

ARA VE Ca BENTONİTLERİN
SODA VE MgO İLE AKTİVASYONU

Tan ÇETİNEL

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık - 2008

ARA VE Ca BENTONİTLERİN
SODA VE MgO İLE AKTİVASYONU

Tan ÇETİNEL

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL
Yardımcı Danışman: Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

Aralık - 2008

KABUL ve ONAY SAYFASI

Tan ÇETİNEL'in YÜKSEK LİSANS/DOKTORA tezi olarak hazırladığı "Ara ve Ca bentonitlerin soda ve MgO ile Aktivasyonu" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

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

(Sınav tarihi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL (Tez Danışmanı)

Üye : Prof Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (Tez Yardımcı Danışmanı)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail BENTLİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gürsel YANIK

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

Prof.Dr.M.SabriÖZYURT.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ARA ve Ca BENTONİTLERİN SODA VE MgO İLE AKTİVASYONU

Tan ÇETİNEL

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Yardımcı Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

ÖZET

Yüksek katyon değiştirme özellikleri nedeniyle endüstriyel süspansiyonların stabilitelelerinin kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılan bentonitler, alkali (Na- bentonit), yarı alkali (Na-Ca bentonit), toprak alkali (Ca- bentonit) olarak sınıflandırılmaktadırlar. Na bentonitler mevcut teknolojik özellikleri (Viskozite, şişme, filtrasyon kaybı vb.) ile sondaj sıvısı olarak kullanılırken, yarı alkali ve toprak alkali bentonitlerin bu sektörde kullanımı sınırlı olmaktadır.

Ülkemizde ve Dünyada Na bentonit rezervleri oldukça sınırlı olup, sınırsız miktarda Na-Ca ve Ca-bentonit rezervleri mevcuttur. Orta ve düşük şişme, viskozite ve yüksek filtrasyon kayıpları veren bu bentonitlerin sondaj sektöründe kullanımlarını güçleştirmektedir. Bu bentonitlerden API ve TSE standartlarında sondaj çamuru elde edilebilmesinin tek yolu ise çeşitli katkı maddeleri ile aktivasyon işlemine tabi tutulmasıdır. Rekabetin yüksek olduğu bu sektörde bu tür bentonit yataklarının elde edilecek yeni teknolojik bilgilerle değerlendirilmesi ülke ekonomimiz açısından da büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, Na-Ca ve Ca-bentonitlerin MgO, NaCO₃ ve MgO+NaCO₃ kombinasyonu ile yaş ve kuru olarak aktivasyonu yapılarak viskozite, şişme, filtrasyon kaybı gibi teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Na ve Mg iyonlarının süspansiyonun fiziksel özelliklerine etki mekanizmasını araştırmak için ise zeta potansiyel ve pH ölçümleri yapılmıştır. Bu karışımların iyon adsorpsiyonu ve iyon değişimi yolu ile bentonit tabakalarının yüzeyleri veya kenarları ile etkileşimi montmorillonitlerin reolojik özelliklerini modifiye etmektedir. Elektrokinetik özellikler bentonit süspansiyonlarının formülasyonunu optimize etmekte kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonunda, ara tipteki bentonitlerin kuru aktivasyon yöntemi ile soda ve MgO kombinasyonu kullanılarak aktive edilmeleri neticesinde, sondaj sektörüne uygun olduğu görülmüştür. Ca bentonitin ise şişme ve viskozite açısından sondaj bentonitine uygun hale getirilebileceği ancak filtrasyon kaybının fazla olması dolayısı ile CMC ile de aktive edilmesi gerektiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Aktivasyon, Bentonit, Filtrasyon Kaybı, Kuru Aktivasyon, Montmorillonit, Sondaj Bentoniti, Şişme, Viskozite, Yaş Aktivasyon, Zeta Potansiyeli.

ACTIVATION of MIXED TYPED and Ca BENTONITES WITH SODA and MgO

Tan ÇETİNEL

Mining Engineering, M.S. Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Cengiz KARAGÜZEL

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

SUMMARY

Bentonites which are widely used in controlling the stability of industrial suspensions due to their high cation exchange capacity may be classified as alkaline (Na bentonite), semi alkaline (Na-Ca bentonite), alkaline earth (Ca bentonite). While Na bentonites are used as drilling fluid for their existing technological properties, semi alkaline and alkaline earth bentonites have limited use in this industry.

Although reserves of Na bentonites are limited both in our country and in the world, there is unlimited reserves of Na-Ca and Ca bentonites. It is generally difficult to use these bentonites in their natural form in drilling industry because of their average and low swelling capacity, viscosities and high filtration losses. The only way to obtain drilling mud in compliance with the API and TSE standarts is to activate bentonite by adding various additives. Using new technological developments with these type of bentonites, will be highly competitive and highly important for our national economy

In this study, via wet and dry activation with MgO, Na₂CO₃ and MgO+ Na₂CO₃ with Na-Ca and Ca Bentonites, technological properties such as viscosity, swelling and filtration loss are investigated. As investigating the effects of Na and Mg ions on the suspansions physical properties, zeta potential and pH measurements have been done. The interaction of these compounds with the edges or surfaces of bentonite platelets through ion exchange or ion adsorption modify swelling and rheological properties of montmorillonite. Electrokinetic properties can be utilized to optimize the formulations of bentonites suspensions.

At the end of this study , it has been observed that mix-typed bentonites are useful in drilling industry when activating them with soda and MgO combination via dry activation. It is also possible to make Ca bentonites suitable for drilling but it needs activation with CMC due to their high filtration loss.

Keywords: Activation, Bentonite, Drilling Muds, Dry Activation, Filtration Loss, Montmorillonite, Swelling, Wet Activation, Viscosity, Zeta Potential.

TEŞEKKÜR

Tezimle ilgili her türlü konuda bana sonuna kadar güvenen, destek veren, görüş ve önerileri ile beni yönlendiren, Tez Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cengiz KARAGÜZEL'e Sonsuz Teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı yapmam konusunda İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Yüze Kimyası Laboratuvarının kapısını bana açan, TÜBİTAK 1007 TARAL 106G106 no'lu projenin yürütücüsü Sayın Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK hocama, projenin tüm imkanlarını kullanmamı sağlaması, tezim konusunda bilimsel fikir ve görüşlerini yansıtması ve tezimin oluşmasında büyük katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Yine aynı projede görev yapan, tez çalışmamda bana her türlü desteği sunan, laboratuvar çalışmalarını öğreten, deneysel çalışmaların yapılmasında yol gösteren, deneysel verilerin yorumlanmasında bana destek olan Dr. Feridun BOYLU'ya, aynı destekleri benden esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Kenan ÇİNKU'ya, çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇINAR'a, fikişel yardımlarından dolayı Yüksek Müh. M. Fatih CAN'a, çalışmalarım anında bana destek olan arkadaşlarım Araş. Gör. Yüksek Müh. İlker ERKAN, Gafure ERSEVER, Günser GÜLDAN, Ömer KURULU'ya çok teşekkür ederim.

TARAL 106G106 no'lu Projenin TÜBİTAK MAM yürütücüsü Dr. Hayrettin YÜZER ve ekibine, MTA yürütücüsü Dr. Serdar KARAHAN ve ekibine teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında bana manevi olarak destek olan, Annem Hesna ÇETİNEL ve babam Alp ÇETİNEL'e, aynı zamanda tezimin her aşamasında, her türlü desteği ile yanımda olan biricik eşim Seher ÇETİNEL'e sonsuz teşekkürler ederim

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Killer Hakkında Genel Bilgiler.....	2
1.1.1.Bentonit.....	3
1.1.2.Kil Minerallerinin Kristal Yapısı.....	4
1.1.3.Bentonitin Kristal Yapısı.....	5
1.1.4.Killerin Karakteristik Özellikleri.....	7
1.1.4.1.Yüzey Alanı.....	7
1.1.4.2.Yüzey Yüğü.....	7
1.1.4.3.Kasyon Değiştirme Kapasitesi.....	8
1.2.5.Bentonitlerin Karakteristik Özellikleri.....	8
1.2.5.1.İyon Değiştirme Kapasitesi.....	8
1.2.5.2.Viskozite.....	9
1.2.5.3.Tiksotropi.....	9
1.2.5.4.Plastiklik.....	9
1.2.5.5.Tane Boyutu.....	9
1.2.5.6.Elektriksel Özellik.....	9
2.BENTONİTLERİN JEOLojİSİ ve MİNERALojİSİ.....	11
2.1.Mineralojisi.....	11
2.2.Oluşumu.....	11
2.2.1.Vulkanik Kökenli Bentonit Yatakları.....	11
2.2.2.Magmatik (Hidrotermal) Bentonit Yatakları.....	11
2.2.3.Sedimanter Bentonitik Kil Yatakları.....	12
3.HAMMADDE TANIMI VE BENTONİTLERİN KULLANIM ALANLARI.....	13
3.1Bentonitin Tarihçesi ve İsimlendirilmesi.....	13
3.1.1.Bilimsel Açıdan Bentonit.....	13
3.1.2.Ticari Açıdan Bentonit.....	13
3.1.3.Genel Anlamda Bentonit.....	14

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.Bentonitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları.....	15
3.2.1.Döküm Kumu ve Peletleme.....	15
3.2.2.Sondaj Alanında Kullanımı.....	15
3.2.3.Gıda Sanayinde Kullanımı.....	15
3.2.4.Berraklaştırma İşleminde Kullanımı.....	16
3.2.5.Ağartma İşlemlerinde Kullanımı.....	16
3.2.6.İlaç Sanayinde Kullanımı.....	16
3.2.7.Seramik Sanayinde Kullanımı.....	17
3.2.8.Çimento Sanayinde Kullanımı.....	17
3.2.9.Kâğıt Endüstrisinde Kullanımı.....	18
3.2.10.Lastik Endüstrisinde Kullanımı.....	18
3.2.11.İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı.....	19
3.2.12.Sabun ve Temizlik Maddelerinde Kullanımı.....	19
3.2.13.Gübre Yapımında Kullanımı.....	19
3.2.14.Yangın Söndürücülerde Kullanımı.....	20
3.2.15.Boya Endüstrisinde Kullanımı.....	20
3.2.16.Petrol Rafinasyonunda Kullanımı.....	20
3.2.17.Hayvan Yemi Yapımında Kullanımı.....	21
3.2.18.Adsorban Olarak (Kedi Kumu) Kullanımı.....	21
3.2.19.Nem Alıcı Kil (Desiccant Clay) Üretiminde Kullanımı.....	21
4.BENTONİTİN SONDAJ SIVISINDA KULLANIMI.....	23
4.1.Sondajın Tarihçesi.....	23
4.2.Sondaj Sıvısı Hakkında Genel Bilgiler.....	23
4.2.1.Sondaj Akışkanlarının Görevleri.....	24
4.2.1.1.Kuyu Tabanının Temiz Tutulması.....	24
4.2.1.2.Kesintilerin Yeryüzüne Taşınması.....	24
4.2.1.3.Kesintilerin Çökmesini Önleme.....	25
4.2.1.4.Matkabın ve Boruların Soğutulması ve Yağlanması.....	25
4.2.1.5.Göçme ve Oyuk Oluşumunu Önleme.....	25
4.2.1.6.Geçirimsiz Bir Pastanın Oluşumu.....	25
4.2.1.7.Yüksek Formasyon Basınçlarını Kontrol Etme.....	25
4.2.1.8.Korozyona Karşı Koruma.....	26
4.2.2.Çamur Türleri.....	26
4.2.3.Sondaj Akışkanlarının Temel Özellikleri.....	28
4.2.3.1.Yoğunluk.....	28
4.2.3.2.Filtrasyon Kaybı.....	28
4.2.3.3.Viskozite.....	28
4.2.3.4.Jel Kuvveti ve Tikotropi.....	29
4.2.3.5.Kum ve Katı Madde İçeriği.....	30
4.2.3.6.pH Değeri.....	30
4.2.4.Çamura Katılan Koruyucu ve Yardımcı Maddeler.....	30
4.2.4.1.Viskozite Düşürücüler.....	30
4.2.4.2.Su Kaybı Azaltıcılar.....	31

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.2.4.3.Ağırlaştırıcılar.....	31
4.2.5.Montmorillonitlerin Jelleşme Mekanizması ve Reolojik Özellikleri.....	31
4.3. Bentonitlerin Kullanım Alanına Göre Dağılımı ve Sondaj Bentonitinin Ulusal ve Uluslar Arası Standartları.....	34
4.4.Fiyatlar.....	35
5.DÜNYADA VE TÜRKİYE’DEKİ ÖNEMLİ BENTONİT YATAKLARI VE TÜRKİYE’DE REZERV VE ÜRETİM MİKTARLARI.....	36
5.1.Dünya Bentonit Yatakları Rezerv ve Üretimi.....	36
5.2.Türkiye’deki Önemli Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları.....	40
6.BENTONİTİN AKTİVASYONU.....	45
6.1.Alkali Aktivasyon.....	45
6.2.Asitle Aktivasyon.....	46
6.3.Karboksi Metil Selüloz İle Aktivasyon (CMC).....	47
6.4.Organik Aktivasyon.....	47
6.5.Kuaterner Amonyum Tuzları İle Organik Aktivasyon.....	47
6.6.Silan Bileşikleri İle Organik Aktivasyon.....	47
6.7.Yüzey Aktif Maddeler ve Diğer Bileşiklerle Aktivasyon.....	48
6.8.Su Bazlı Sistemlerde Bentonitlerin Aktivasyonu.....	48
7.MALZEME YÖNTEM.....	51
7.1.Malzeme.....	51
7.2.Yöntem.....	58
7.2.1.Karakterizasyon Testleri ve Teknolojik Testler.....	58
7.2.1.1.Tane Boyut Dağılımlarının Belirlenmesi.....	58
7.2.1.2.Nem/Rutubet Analizleri.....	59
7.2.1.4.Şişme Testi yöntemi.....	60
7.2.1.5.Katyon Değiştirme Kapasitesi (KDK-Metilen Mavisi Testi) Yöntemi (ASTM-837C).....	61
7.2.1.6.Viskozite Ölçümleri.....	63
7.2.1.7.Filtrasyon Kaybı.....	64
7.2.2.Aktivasyon Testleri.....	67
7.2.2.1.Yaş Aktivasyon.....	67
7.2.2.2.Kuru Aktivasyon.....	68
7.2.2.3.Zeta Potansiyeli Ölçümleri.....	69

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

8.DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	71
8.1.Yaş Aktivasyon Deneyleri.....	71
8.1.1.Bekleme Süresinin Tayini.....	72
8.1.2.Bentonit Süspansiyonuna Eklenecek MgO Miktarının Belirlenmesi.....	72
8.1.3.MgO Katkısı Varlığında Optimum Karıştırma Süresi.....	74
8.1.4.Bekleme Süresinin MgO İlave Edilmiş Bentonit Sistemleri Üzerine Etkileri.....	75
8.1.5.Sıcaklığın MgO İlave Edilmiş Bentonit Sistemleri Üzerine Etkileri.....	77
8.1.6.Na, Mg, K Türevi Katkıların Bentonit Üzerindeki Etkileri.....	78
8.1.7.Bentonitin Buffer Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi.....	79
8.2.Kuru Aktivasyon Deneyleri.....	80
8.2.1.Çankırı Gri Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları.....	82
8.2.2.Çankırı Sarı Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları	89
8.2.3.Silivri Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları.....	96
9.SONUÇLAR.....	105
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	107
EKLER	
1. Karıştırma Hızı ve Karıştırma Süresinin Viskoziteye Etkisi	
2. Karıştırma Süresinin ve Karıştırma Hızının Viskoziteye Etkisi	
3. Bekleme Süresinin Viskoziteye Etkisi	
4. MgO'in Viskozite (brookfield) ve pH Üzerine Etkileri	
5. MgO'in Viskozite ve pH Üzerine Etkileri	
6. MgO Varlığında Optimum Karıştırma Süresi	
7. MgO Varlığında Optimum Karıştırma Süresi	
8. MgO Varlığında Optimum Bekleme Süresi	
9. Sıcaklığın Viskozite Üzerindeki Etkileri	
10. MgO, MgOH ve MgCl ₂ 'ün pH'ya Bağlı Viskoziteleri	
11. Bentonitin Buffer Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi	
12a. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Sonuçları I	
12b. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Sonuçları II	
13a. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları I	
13b. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları II	
13c. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları III	
14a. Silivri Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları I	
14b. Silivri Tüvenan Bentonitin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları II	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tek Oktahedral Hücre.....	4
1.2. Tek Tetrahedral Hücre.....	5
1.3. Montmorillonitin Kristal Modeli.....	6
1.4. Montmorillonitin Suda Şişmesi.....	6
1.5. Montmorillonitin Moleküler Yapısı.....	6
1.6. Montmorillonitin SEM Görüntüsü.....	7
1.7. Montmorillonitin TEM Görüntüsü.....	7
3.1. Bentonit.....	13
4.1. Viskozitenin Akış Hızı İle Değişimi.....	29
4.2. Montmorillonitte Cart-House Yapı Oluşumu.....	32
5.1. Türkiye Bentonit Yatakları.....	41
7.1. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitin XRD Analizi Sonucu.....	52
7.2. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitin DTA-TG Analizi Sonucu.....	53
7.3. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitin XRD Analizi Sonucu.....	53
7.4. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitin DTA-TG Analizi Sonucu.....	54
7.5. Silivri Tüvenan Bentonitin XRD Analizi Sonucu.....	54
7.6. Silivri Tüvenan Bentoniti DTA-TG XRD Analizi Sonucu.....	55
7.7. Fritsch Marka Boyut Ölçüm Cihazı.....	60
7.8. Precisa XM60 Halojen Kurutucu.....	60
7.9. Şişme Testi.....	61
7.10. Metilen Mavis Testi (Kasyon değiştirme Kapasitesi Tayini) Düzeneği.....	63
7.11. Metilen Mavis Örneği.....	63
7.12. Arçelik Marka Blender.....	64
7.13. FANN 35SA Model Viskozimetre.....	65
7.14. Brookfield RV DV-II Plus Model Viskozimetre.....	65
7.15. FANN Filtrasyon Kaybı Ölçüm Cihazı.....	66
7.16. Filtrasyon Kaybı Ölçüm Cihazı Silindir İçi Kullanılan Yardımcı Ekipmanların Görünüşü.....	66
7.17. Çankırı Sarı Tüvenan Numunesinin Yaş Aktivasyon Akım Şeması.....	67
7.18. Kuru Aktivasyon Akım Şeması.....	69
7.19. Orion Digital pH/mV metre.....	70
7.20. Zeta Meter 3.0.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.1. Bekleme Süresinin Viskozite Üzerindeki Etkileri.....	72
8.2. MgO Katkısının Viskozite Üzerine Etkileri.....	73
8.3. Bentonit Süspansiyonlarında MgO miktarının, pH Üzerindeki Etkisi.....	74
8.4. MgO ile Yaş Olarak Aktive Edilmiş Bentonitin Mikser’de Karıştırma Süresine Bağlı Viskozite Değişimi.....	75
8.5. MgO İlavesinin Bentonit Süspansiyonunun Viskozitesi Üzerine Olan Etkisinin Zamana Bağlı Olarak Değişimi.....	76
8.6. MgO’in Bekleme Süresinin pH Üzerine Etkileri.....	76
8.7. Süspansiyonun Sıcaklığının Viskozite Üzerine Etkisi.....	77
8.8. Çankırı Sarı Bentonitinin MgO, MgOH ve MgCl ₂ ile Yaş Aktivasyonu Sonucunda Elde Edilen pH’ya Bağlı Viskozi Değişimleri.....	78
8.9. Bentonitin Buffer Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi.....	80
8.10. Yaş ve Kuru Aktivasyonun Karşılaştırılması.....	81
8.11. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Ara Bentonitine MgO İlavesinin Viskozite Üzerine Etkileri.....	84
8.12. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin Viskozite Üzerine Etkileri.....	84
8.13. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO ilavesinin Şişme İndeksi Üzerine Etkileri.....	85
8.14. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin Filtrasyon Kaybı Sonuçlarına Etkisi.....	85
8.15. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin pH Etkisi.....	86
8.16. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO ilavesinin Elektriksel İletkenlik Etkisi.....	86
8.17. %3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	87
8.18. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	88
8.19. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	88
8.20. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	89
8.21. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Viskozite Üzerindeki Etkileri.....	91

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.22. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Viskozite Üzerindeki Etkileri.....	91
8.23. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Filtrasyon Kaybı Üzerindeki Etkileri.....	92
8.24. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Şişme Üzerindeki Etkileri.....	92
8.25. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin pH Üzerindeki Etkileri.....	93
8.26. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Zeta Potansiyeli Üzerindeki Etkileri.....	93
8.27. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	94
8.28. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	95
8.29. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	95
8.30. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	96
8.31. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO İlavesinin Viskozite Üzerine Etkileri.....	98
8.32. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO İlavesinin Filtrasyon Kaybı Üzerine Etkileri.....	98
8.33. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO ilavesinin Şişme Özelliği Üzerine Etkileri.....	99
8.34. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO İlavesinin pH Etkisi.....	99
8.35. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO İlavesinin Zeta Potansiyeli Üzerindeki Etkileri.....	100
8.36. % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	100
8.37. % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	101
8.38. % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi.....	101
8.39. %1 Soda ve Değişik Oranlarda MgO ile Aktive Edilmiş 3 Bentonit Numunesinin Elektrokinetik Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	102

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.40. %1 Soda ve Değişik Oranlarda MgO ile Aktive Edilmiş 3 Bentonit Numunesinin pH Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	103
8.41. Çankırı Bölgesi Ara Bentonitleri ve Silivri Bölgesi Kalsiyum Bentonit Örneği İçin, Sondaj Bentoniti Özelliklerine Ulaşmak İçin Çalışılması Gereken Katkı Oranları Grafikleri.....	106

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Smektit Grubundaki Bazı Mineralleri Kimyasal Formülleri.....	3
3.1. Başlıca Bentonit Gruplarının Ortalama Kimyasal Analiz Değerleri.....	15
4.1. Çamur Türleri.....	26
4.2. Dünyada Bentonit Kullanım Alanları.....	34
4.3. Sondaj Bentoniti İçin Uluslar arası Standartlar.....	35
4.4. Dünya Sondaj Çamuru Kaliteli Bentonit Fiyatları.....	35
5.1. Dünya Bentonit Rezervleri.....	37
5.2. 1995 – 2001 Yılları Dünya Bentonit, Ağartma Toprağı Üretim Miktarı.....	37
5.3. 2002 – 2007 Yılları Dünya Bentonit, Ağartma Toprağı Üretim Miktarı.....	38
5.4. Yıllara Göre Ülke Bazında Dünya Bentonit Üretimi.....	38
5.5. Yıllara Göre Ülke Bazında Dünya Fuller's Earth Üretimi.....	39
5.6. Dünya Bentonit Ticaret Verileri Özeti.....	39
5.7. Türkiye Bentonit Rezervleri.....	42
5.8. Yıllara Göre Türkiye Bentonit Ağartma Toprağı Üretimi.....	43
5.9. Yıllara Göre Bentonit İhracatının Ülkeler Bazında Dağılımı.....	43
5.10. Yıllara Göre Türkiye Bentonit İthalatının Ülkeler Bazında Dağılımı.....	44
6.1. Bentonit Süspansiyonlarına İnorganik Katkılar İle İlgili Literatür Özeti.....	49
7.1. Bentonit Numuneleri ve Ticari Ürünlerin Mineralojik Analiz Sonuçları.....	52
7.2. Çankırı Gri, Çankırı Sarı, Silivri Bentonit Numunelerinin Kimyasal Analizleri.	57
7.3. Çankırı Gri, Çankırı Sarı, Silivri Bentonitlerinin Karakterizasyon Sonuçları.....	57
7.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Kimyasal Malzemeler ve Özellikleri.....	58
7.5. Numunelerin Boyut Dağılımları.....	59

SİMGELER ve KISALTMALAR**Simgeler**

A°	Angstron
μ_a	Görünür Viskozite
μ_b	Plastik Viskozite

Açıklama**Kısaltmalar**

API	American Petroleum Institute
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
AIPEA	Association International Pour L'etude des Argiles
USGS	United States Geological Survey
MTA	Maden Tetkik Arama Enstitüsü

Açıklamalar

1. GİRİŞ

Bentonit, $Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot n(H_2O)$ teorik formülü bilinen volkanik kökenli bir kildir. Feldspat, volkanik kül ve tuf gibi camsı volkanik malzemelerin ayrışması ve bozuluşu ile oluşmuştur. Simektit grubu kil minerallerinden olup, %80'den fazla montmorillonit içeren bentonit üç tabakalı bir kristal yapıya sahiptir. Tabakaları arasında bulundurduğu katyona göre alkali (Na- bentonit), yarı alkali (Na-Ca bentonit), toprak alkali (Ca- bentonit) ve toprak yarı alkali olarak sınıflandırılmaktadırlar. Büyük ölçüde koloidal silisten meydana gelen bentonit, yumuşak, şekillenebilir, gözenekli ve açık renkli bir kildir.

Bentonit, su içerisinde şişme, pilastisite, koloidal özellik ve yüksek iyon değiştirme kapasitesi göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle sondaj çamuru, ağartma toprağı, su ve sovent bazlı reolojik katkılar, kedi althığı, desikant kil ve hayvan yemi katkılarının kullanıldığı tüm endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Ülkemizde bolca bulunuşu, düşük üretim maliyeti ve gelişen teknoloji ile artan bentonit talebi günümüzde bu kile olan ilgiyi artırmıştır. Dünya bentonit üretiminin % 40'ı sondaj sektöründe tüketilmekte olup, belirli bir viskozite elde edilene kadar su ile karıştırılan bentonit; derin kuyu, petrol ve su sondajları sırasında matkap uçlarını ve borularını soğutma ve yağlama görevini yapar ve sondaj kırıntılarının yeryüzüne çıkmasını sağlar. Ancak sondaj sektöründe kullanılacak bentonitin ülkemizde ve dünyada kullanımı için Türk Standartları Enstitüsünün TS 13500 standardı ve API (American Petroleum Institute) standartlarında belirtilen şişme, viskozite ve filtrasyon kaybı özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Standartlarda belirtilen özelliklere sadece alkali bentonitler sahip olup, yarı alkali (ara tip) ve toprak alkali bentonitlerin bu sektörde kullanılması için zenginleştirme ve aktivasyon işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de alkali bentonit rezervleri sınırlı olup, özellikle yarı alkali bentonit rezervleri sınırsızdır. Bu rezervlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisine ve istihdamına önemli katkı sağlayacaktır.

Bu tez çalışmasında, Çankırı bölgesine ait Çankırı gri ve Çankırı Sarı olmak üzere 2 adet ara tip (Na-Ca) bentonitleri ile İstanbul Silivri bölgesinde bulunan Ca tip bentonitler Na_2CO_3 ve MgO ile aktive edilerek, sondaj çamuru içerisinde viskozite artırıcı olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Tez kapsamında, şişme, viskozite, pH, filtrasyon kaybı ve zeta potansiyeli ölçümleri yapılarak test edilmiştir.

1.1. Killer Hakkında Genel Bilgiler

AIPEA (Association International Pour L'etude des Argiles) terimler komitesine göre kil ve kil mineralleri toprağın doğal olarak meydana gelmiş, ince taneli minerallerden oluşmuş kısmıdır [1]

Genel olarak kil, büyüklüğü 2 mikrondan küçük olan taneciklerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan, yapısında su molekülleri bulunan alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil genellikle silikat tabakaları arasında çok miktarda su tutabilen fillosilikat mineralleri ve kil olmayan kuvars, mika ve demiroksit gibi minerallerden oluşur. Kil mineralleri genellikle alümina ve silikat tabakalarının üst üste binmesi ile oluşan yapılardır. Kil mineralleri genellikle kile plastik özellik kazandırır, kurutulması ve fırınlanması durumunda katılaştır [2].

Killer genellikle belirli şartlar altında, feldspatların ayrışması veya volkanik kayaçların çözünmesinden meydana gelmiştir. Hiçbir zaman saf bir şekilde bulunmayan kilin içerisinde alüminyum silikatlarla beraber demir, magnezyum, potasyum, kalsiyum, sodyum, kuvars gibi kil olmayan mineraller olarak adlandırılan safsızlıklar da bulunmaktadır [3]

Kil mineralleri genellikle 4 grupta incelenir. Bunlar; Kaolinit grubu, Simektit grubu, İllit grubu, Klorit grubu ve Paligorskit türü killerdir.

Kaolinit grubu; Kaolinit, dikit, halloysit ve nakrit olup genel formülü $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ şeklindedir. Doğada saf kaolinit yatakları bulunmaz. Genellikle demir oksit, silisyum oksit, silika türünde mika gibi yabancı maddeler içerirler. Seramiklerde kullanılan boya, kauçuk ve plastiklerde dolgu maddesi olarak ve kâğıt endüstrisinde parlak kâğıt üretiminde çok büyük kullanım alanı vardır.

Simektit grubu; Bu gruba giren killerin mineral yapılan kaolinit gibi alüminyum silikat olmalarına karşılık çok farklı bir görünüm içerisindedirler. Yapılarında magnezyum, kalsiyum, demir, sodyum gibi elementler içerirler. Simektit grubu, piropillit, talk, vermikülit, saulorit, saponit, nontronit, beidellit ve montmorillonit minerallerinden oluşur. Genel formülü $(Ca, Na, H) (Al, Mg, Fe, Zn)_2 (SiAl)_4 O_{10} (OH)_2 \cdot xH_2O$ dur. Örneğin talk $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ iken montmorillonit $Na_{0,2} Ca_{0,1} Al_2 Si_4 O_{10} (OH)_2 (H_2O)_{10}$ dur. Bentonit terimi ise daha çok montmorillonit mineralinin saflaştırılmadan önceki hali için kullanılan ticari bir addir. Boya ve kauçuklarda, elektriğe, ısıya ve aside dayanıklı porselenlerde dolgu maddesi olarak diğer materyaller ile kumun kalıplanmasında plastikleştirici olarak kullanılırlar.

Volkanik kökenli bir kil olan ve feldspat, volkanik kül veya tuf gibi camsı volkanik malzemenin ayrışması ve bozuluşu ile oluşan bentonit, simektit grubu kil minerallerinden olup %80'den fazla montmorillonit içerir ve üç tabakalı bir kristal yapıya sahiptir [4,5].

Çizelge 1,1. Simektit Grubundaki Bazı Mineralleri Kimyasal Formülleri [6].

Montmorillonit	$M^+(Al, Mg)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$
Nontronit	$M^+Fe_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$
Sponit	$M^+Mg_3(Si, Al)_4(O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O)$
Hektorit	$Na_{0,3}(Mg, Li)_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Beidellite	$M^+Al_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$

İllit grubu; Simektit grubu killerden farklı olarak potasyum içermektedir. Bu gruba mika grubu da denir. Bu grup su içeren mikroskobik muskovit mineralidir. Katmanlarına ayrılabilen kayaların oluşum minerallerinden sayılır. Genel formülü $(K, H)Al_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot xH_2O$ ' dir. Grubun yapısı silikat tabakalı montmorillonit grubuna benzer. Dolgu maddesi olarak ve sondaj çamurunda kullanılırlar.

Klorit grubu; Klorit grubu killeri ince taneli ve yeşil renklidir. Bu grup killeri bol miktarda, magnezyum, demir (II), demir (III) ve alümina içerir. Klorit grubu mineraller genellikle fillosilikatlar içinde aynı grup olarak bulunabilen ve genellikle killerin bir parçası olarak kabul edilmeyen gruplardır. Bu grubun amesit, nimit ve dafnit, panantit ve peninit gibi pek çok üyesi vardır. Genel formülü $X_4-6Y_4O_{10}(OH, O)_8$ dir. Burada X; Al, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Zn ve nadiren Cr elementlerini Y ise; Al, Si, B, Fe elementlerini göstermektedir. Bu grubun endüstriyel kullanım alanı yoktur.

1.1.1. Bentonit

Alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması ve bozunmasıyla oluşmuş çok küçük kristallere sahip kil minerallerinden (başlıcası montmorillonit) oluşan ve ağırlıklı olarak koloidal silis yapıda, yumuşak, gözenekli ve kolayca şekil verilebilir açık renkli bir kaya olarak tanımlanır.

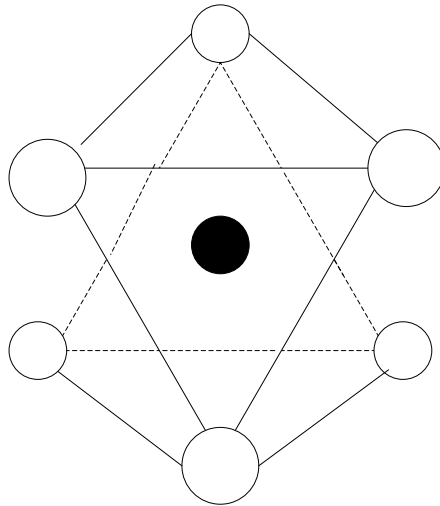
Bir kayaç adı olan Bentonit kelimesi ilk kez 19.yüzyılda, Wyoming'in doğusunda, Rock Creek bölgesinde Kretase yaşlı Benton Formasyonuna ait Benton Şeyli'ne verilen isimle

kullanılmaya başlanmıştır. Aslında, simektit grubu kil minerallerinden oluşan bir kil grubu olarak tanımlamak gerekir. Ana yapıcısı montmorillonit olup, bazı tür bentonitler Simektit grubu üyeleri olan saponit ve hektorit minerallerince zenginleşmiş durumdadır. Simektit kelimesi ise eski Yunancada sabun anlamına gelen “smektos” kelimesinden alınmıştır.

Yumuşak, plastik, poroz, açık renkli yapıdadır. Çok geniş yüzey alanına sahip olan bentonit, asit ile aktive edilebilme özellikleri ile karakterize edilmektedir. Bentonit su ile karıştırıldığında kolloidal özellik göstermesi, su içerisinde şişmesi, yüksek plastisite ve iyon değiştirme kapasitesine sahip olması gibi özellikleri nedeni ile sondaj çamuru eldesi, yemeklik yağların ağartılması, su-solvent bazlı reolojik katkı maddesi eldesi, atık suların temizlenmesi, kedi altlığı ve nem alıcı kil üretimi, hayvan yemi katkısı, nükleer atıkların depolanması, nanokompozit üretimine kadar uzanan geniş bir yelpazede kullanılmaktadır [7, 8, 9, 10].

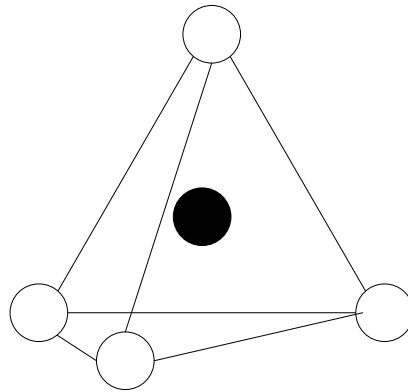
1.1.2. Kil Minerallerinin Kristal Yapısı

Kil minerallerinin yapısı oktahedral ve tetrahedral olmak üzere iki tip atomik kristal yapı ile oluşur. Oktahedral yapıda katyon atomları (Al, Fe, Mg) üçer oksijen ya da hidroksilden oluşan iki tabaka arasında kapanmış durumda konumlanmıştır ve bu yapı ünitesi gipsit olarak isimlendirilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Tek Oktahedral Hücre

Tetrahedral yapıda ise bir silikon (Si) atomu kenarlarında dört oksijen atomu bulunan bir düzgün dört yüzlünün ortasına yerleşmiştir ve silika olarak adlandırılır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Tek Tetrahedral Hücre

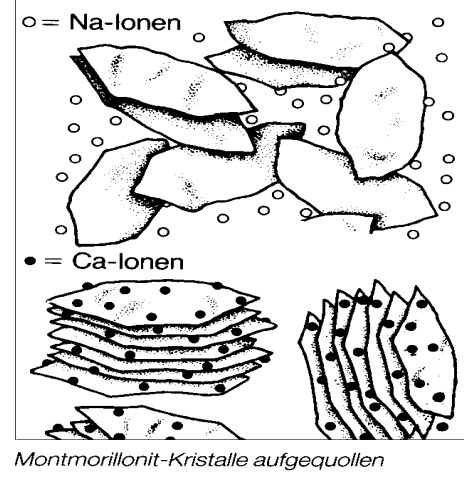
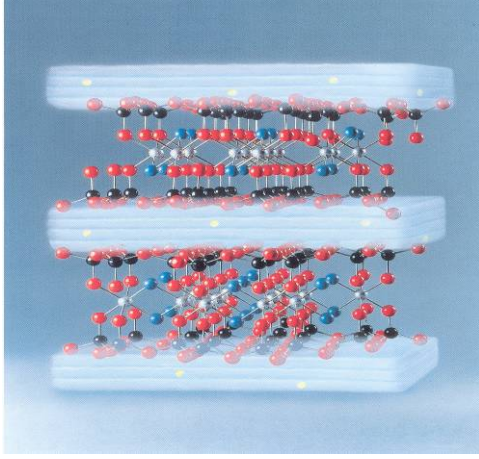
Kil mineralleri bu iki temel ünitenin oluşturduğu bağlı tabakaların farklı dizilimlerle üst üste gelmeleri sayesinde oluşur. Örneğin tabakalanma bir tetrahedral, bir oktahedral şeklinde ise 1:1, iki oktahedral, bir tetrahedral ve bir oktahedral ise 2:1+1 tabakalı olarak tanımlanır

Montmorillonitin kristal yapısına göre simektit grubundaki killerin teorik formülü; $[Al_4Si_8O_{20}(OH)_4].nH_2O$ şeklindedir. Jeolojik zaman içerisinde TETRAEDRAL yapraktaki Si^{4+} yerine Al^{3+} ve OKTAEDRAL yapraktaki Al^{3+} yerine Mg^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} veya Li^+ iyonları gelebilir. İyon değişimleri, yapının elektriksel dengesinin bozulmasına ve pozitif yük eksikliğine neden olmaktadır ki bu pozitif yük eksikliği birim tabakalar arasına alkali veya toprak alkali iyonların girmesi ile giderilmektedir. Negatif yüklü durumda olan bentonitik kil mineralleri, yapılarını elektriksel bakımdan yüksüz duruma getirebilmek amacıyla; H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Al^{3+} gibi katyonları adsorblarlar. Bu katyonlar kilin temel Si-Al yapı ünitesinin dışında bulunurlar, zayıf elektriksel kuvvetlerle tutulurlar ve kil mineralinin bir çözelti içerisinde bulunması durumunda çözeltideki diğer bazı katyonlarla yer değiştirebilirler [11, 12, 13]

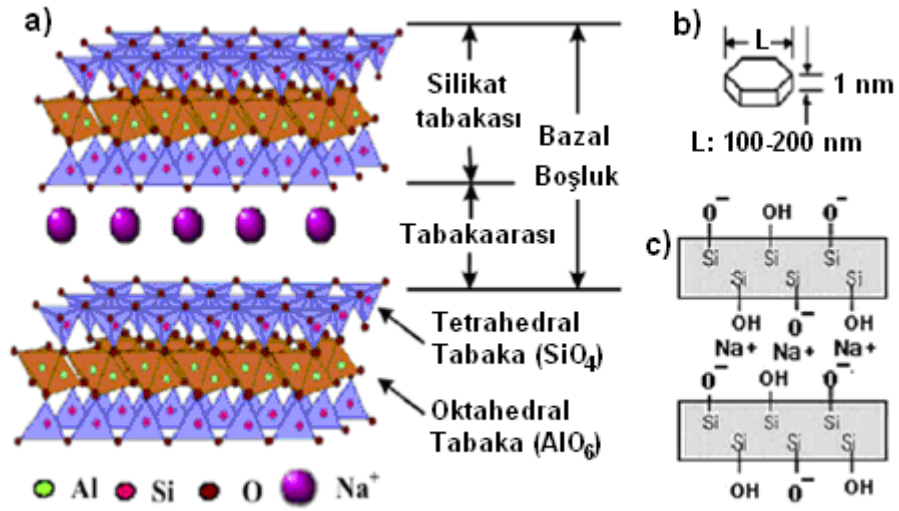
1.1.3. Bentonitin Kristal Yapısı

Simektit grubu killere dâhil olan montmorillonitler 2:1 tabakalı yapıya sahiptirler. Montmorillonitin kristal yapısı, silisyum-oksijen (Si-O) tetrahedral tabaka ile iki Si- oktahedral tabaka tarafından ortak kullanılır. Montmorillonitte bir alümina tabakası oksijen atomlarını iki tetrahedral tabaka ile paylaşır. Bu tip killer üç (2:1) tabakalı mineral olarak adlandırılır. Böylece bir oktahedral ve iki tetrahedral tabakadan oluşan yapı bir birim hücre olarak tanımlanır. Bu tabakalar birbirine iyonik bağlarla her bir birim hücre ise birbirine zayıf Van der Waals kuvvetleri

ile bağlıdır. Yüzlerce birim hücrenin üst üste gelmesi ile montmorillonit minerali meydana gelir [14, 15, 16, 8, 17, 18, 19] Şekil 1.3., 1.4. ve 1.5. bunu yansıtmaktadır.

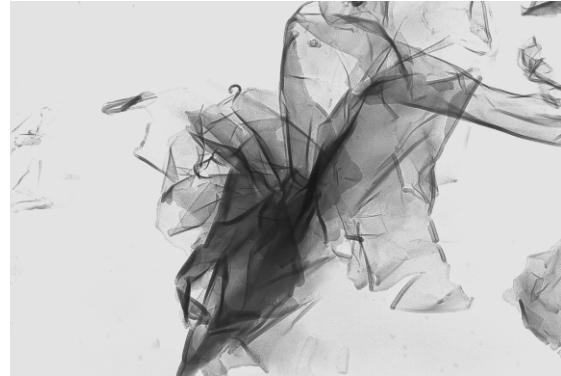
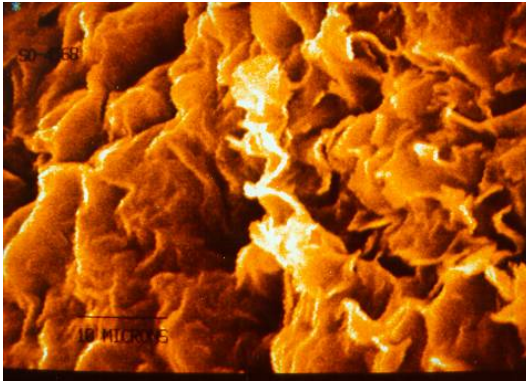


Şekil 1.3. Montmorillonitin Kristal Modeli [8] Şekil 1.4. Montmorillonitin Suda Şişmesi



Şekil 1.5. (a) Değişebilen katyon olarak Na iyonu içeren Montmorillonitin moleküler yapısı, (b) birim tabaka (c) tabakalar arası enine kesit şematik gösterimi. [8]

Montmorillonitin SEM (Şekil 1.6) ve TEM (Şekil 1.7) görüntüleri de aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.6. Montmorillonitin SEM Görüntüsü

Şekil 1.7. Montmorillonitin TEM Görüntüsü

Şekil 1.5. (a)'da gösterilen basal boşluğun genişlemesinin büyüklüğüne bağlı olarak montmorillonitlerde iki tip şişme olur. Bunlar kristalsi ve ozmotik şişmedir. Kristalsi şişme su moleküllerinin birim tabakalar arasına girmesi sonucunda oluşur [88, 64] Değişebilir katyon olarak Na^+ , Li^+ gibi hidratlı katyonlara sahip olan montmorillonitler $30\text{--}40 \text{ \AA}$ 'a kadar şişerler hatta bu bazen yüzler mertebesine kadar çıkabilir. Bu tip şişme ozmotik şişme olarak adlandırılır [22].

Montmorillonitler ayrıca polar ya da iyonik karakterdeki organik karışımların da tabakalar arasına girmesine olanak tanırlar. Organik karışımların adsorpsiyonu organo-kompleks montmorillonitlerin oluşmasına neden olur [23]

1.1.4. Killerin Karakteristik Özellikleri

1.1.4.1. Yüzey Alanı

Kil mineralleri tek T-O-T (Tetrahedral – oktahedral – tetrahedral) ya da T-O tabakaları arasında iç ve dış kristal yüzeylerine sahiptirler. Sadece simektit ve vermikülitler su moleküllerinin içine girebileceği iç yüzeylere sahiptirler. Saf bir simektit için teorik yüzey alanı yaklaşık $800 \text{ m}^2/\text{g}$ dır [24].

1.1.4.2. Yüzey Yükü

Pek çok kil minerali net negatif tabaka yüküne sahiptir. Bu net negatif yük tabakalardaki elementlerin daha düşük değerlikli başka elementlerle yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Oktahedral tabakada Al^{3+} , Mg^{2+} ile tetrahedral tabakadaki Si^{4+} , Al^{3+} yer değiştirir. Bunun sonucunda da pozitif yük eksikliği ya da diğer bir deyişle negatif yük fazlalığı doğar. Bu

negatif yük fazlalığı Na^+ ve Ca^{2+} gibi katyonların tabaka yüzeyine adsorplanması ile karşılaşılır [25].

Negatif tabaka yükü, montmorillonitte çoğunlukla oktahedral tabakadaki $\text{Al}^{3+}/\text{Fe}^{3+}$ 'ün $\text{Mg}^{2+}/\text{Fe}^{2+}$ ile yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Düşük pH değerlerinde kenarlar pozitif yük taşırlar. pH arttıkça yük azalır. Yüzeylerdeki yük pH' a bağımlı değildir [26, 27].

1.1.4.3. Katyon Değişirme Kapasitesi

Kil mineralleri bazı iyonları çekme ve onları tekrar geri verebilme özelliğine sahiptir. Bu olay sırasında iyonlar birbirinin yerini alabilmektedir. Örneğin montmorillonitteki tetraeder katmanında Si^{+4} 'ün yerini Al^{+3} ; oktaeder katmanında Al^{+3} 'ün yerini de Mg^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Li^{+1} alabilmektedir.

1.1.5. Bentonitlerin Karakteristik Özellikleri

Bentonitler; iyon değişirme kapasitesi, viskozite, tiksotropi, plastiklik, büzülme, bağlama, yırtılma, suya direnç gibi önemli özellikleri, değişen katyonların cinsine bağlı olarak değişiklikler gösterebilir. Bentoniti tanımlayıcı olması bakımından sayılan fiziksel özellikler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

1.1.5.1. İyon Değişirme Kapasitesi

Montmorillonitin tetraedr katmanındaki Si^{+4} 'ün yerini Al^{+3} ; oktaedr katmanındaki Al^{+3} 'ün yerini Mg^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Li^{+1} iyonları alabilmektedir. Katyon değişimi sonunda artı yük eksikliği ortaya çıkar. Bu yük eksikliği ise Na^+ , K^+ veya Ca^{+2} iyonlarının su fazından kristal kafesine bağlanmalarıyla giderilir. Katyon değişim kapasitesi; 100 gr kildeki mili eşdeğer Na_2O miktarı olarak ifade edilir. Killerdeki değişebilir katyonlar H^+ , Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'dır. Bir araştırmaya göre montmorillonit' in katyon değişim kapasitesi 80 -150 mili eşdeğer olarak bulunmuştur. Aynı araştırmaya göre; Kaolin: 3–15; İllit: 10–40; Vermikülit 100–150 ve Sepiyolit-atalpuljit: 20–30 mili eşdeğer katyon değişirme kapasitesine sahiptir.

Kil minerallerindeki değişebilen katyonların miktarları ve cinsi kilin bağıl nem, pH, spesifik iletkenlik, geçirgenlik, gözeneklilik, suda şişme kapasitesi, rehidrasyon hızı, disperse olabilme derecesi, partikül dağılımı gibi özelliklerini etkiler [1, 28].

1.1.5.2. Viskozite

Sıvının akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak ifade edilir. Dışarıdan bünyeye alınan su, dışarıdaki serbest suyun azalması ile bentonit-su karışımı çamurun akmaya karşı bir iç sürtünme ve direncine neden olur. 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 santipuz (cp)'dir. Bentonitlerin ortalama viskoziteleri 15 cp civarındadır.

1.1.5.3. Tiksotropi

Su-kil karışımı sonucu oluşan jel-sıvı sisteminin kendi içinde tersinir dönüşümüne bağlı olarak ortaya çıkar. Her basınç veya sallantıda jel sıvıya dönüşebilir. Tiksotropi ve viskozite iyon değişimi ile ilintilidir.

1.1.5.4. Plastiklik

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. Sodyum simektitlerde plastik limit 75, likit limit 500; Ca-bentonitlerde plastik limit 90, likid limit ise 160 değerlerindedir.

Yukarıda ana hatlarıyla tanımlanan kil özelliklerine ek olarak; kil bünyesindeki suyun uzaklaştırılması ile büzülme (shrinkage), bünyeye su alarak şişme (swelling), kilin taneleri bağlayıcılığı (bonding strength) ve kırılma, kayma ve şekil değiştirmeye karşı gösterdikleri direnç (shear strength) gibi özellikleri de kullanım amacına göre önemli olmaktadır.

1.1.5.5. Tane Boyutu

Sulu ortamda killer tabakaları arasında büyük miktarda su tutabildikleri için tane boyutları değişiklik gösterir. Bentonit için genel olarak ölçüm sonuçları 0,002 µm ile 2 µm arasında değişir [4].

Killerin tane boyutu ve şekli endüstrideki kullanım alanları için önemli değişkenlerdir. Küçük tane boyutlu killer daha viskoz karışımlar oluşturduklarından daha kullanışlıdır

1.1.5.6. Elektriksel Özellik

Bentonit partiküllerinin yüzey yükleri negatiftir. Kenarları kırılmalar nedeni ile pozitif yüklüdür. Bentonit özellikle bir elektrolit çözeltisine atıldığında yüzey ve kenarları yüzeyden

difüze olma eğiliminde olan sıvı içindeki zıt yükler ile çevrenir. Böylece çözelti içindeki iyonların bazılarının konsantrasyonu katı yüzeyi civarında artar, bazılarınınki azalır. Yüzey yakınında yani katı-sıvı ara yüzeyinde toplanan bu iyonlara dengeleyici iyonlar (counter ions) adı verilir. Kimyasal dengeye erişildiğinde, mineral yüzeyi potansiyeli sıfıra iner. Oluşan bu farklı yüklü karşılıklı iki tabaka elektriksel çift tabaka olarak adlandırılır

2. BENTONİTLERİN JEOLojİSİ ve MİNERALojİSİ

2.1. Mineralojisi

Bentonitler, içerisinde bol camsı malzeme bulunan volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal yolla ayrışması sonucu meydana gelirler. Bentonit içerisinde montmorillonit minerali hakim olup camsı malzemenin duraysız oluşu onun hidroliz yoluyla Montmorillonite dönüşmesine neden olmaktadır. Dönüşüm aşamaları kalan silis-alüminyum yapısının ayrışması, yapının montmorillonit minerali halinde yeniden oluşması, katyonca zengin eriyiklerin gözeneklerde zeolit oluşturması ve fazla silisin atılması ya da çökeltilmesidir.

Ham bentonit kaolin kıvamında, yumuşak ve parçaları kırılmaya elverişlidir. Ele sürülünce yağsı bir görünüşle yayılır ve yüzeye yapışır. Kuru bentonitin özgül ağırlığı 2,7–2,8 gr/cm³ iken, toz haline getirildiğinde yoğunluğu 1,6–1,8 gr/cm³ değerlerine kadar düşmektedir.

2.2. Oluşumu

Feldspatların asit eriyiklerle kaolinleşmesi sırasında devamlı olarak alkali iyonların ortaya çıkması, bu eriyiklerin zamanla bazik özellik kazanmasına, böylelikle kaolinin yanı sıra montmorillonitin de oluşmasına yol açmaktadır. Kaolin ve diğer killerin genellikle bir miktar montmorillonit içermelerinin nedeni budur. Yüksek pH değerine sahip bazik eriyiklerin ve buna bağlı olarak montmorillonit ve bentonit oluşumunun başka şekilleri de vardır. Bunlar göz önüne alınarak bentonit yataklarını oluşumlarına göre üç gruba ayırmak mümkündür.

2.2.1. Volkanik Kökenli Bentonit Yatakları

Camsı volkanik malzeme içinde, volkanik küllerde ve tüflerde, yeşil kayalarda ve özellikle bazik kayalarda ve bilhassa gabroik tüflerde sirküle olan suların pH derecesi oldukça yüksektir. Bu yeraltı ve yerüstü suların özellikle volkanik olaylar sırasında daha sıcak ve daha aktif oldukları muhakkaktır. Bazik tuf ve volkanik küllerde çok ince öğütülmüş bir halde bulunan feldspatların bu eriyiklerde bozularak montmorillonite dönüşmeleri bentonit oluşumunun en yaygın şeklidir. Volkanik oluşumlu bentonit yatakları bazı hallerde nispeten daha asit özellikte andezit, dasit, trakit, riyolit ve liparitler üzerinde de oluşabilir.

2.2.2. Magmatik (Hidrotermal) Bentonit Yatakları

Derinlerde ayrılmakta olan bir magmaya bağlı olarak oluşan ve başlangıçta asit özellikte bulunan hidrotermal eriyiklerin çeşitli reaksiyonlar sonucu alkali elementler bakımından zenginleşerek bazik özellik kazandıkları sık görülür. Bu bazik eriyiklerin etkisine

maruz kalan feldspatlar montmorillonite dönüşerek damar ve filon halindeki bentonit yataklarını oluştururlar. Asit ve bazik kayaç kontağında yükselen asit hidrotermal eriyikler ise kaolin ve bentonit yataklarının bir arada oluşumuna yol açabilir.

2.2.3. Sedimanter Bentonitik Kil Yatakları

Gerek volkanik olaylar sırasında gerekse daha sonra dış alterasyon sonucu volkanik kül, tuf, piroklastik camsı malzeme, bazik gabroik tuf, yeşil kayaçlar, liparit, riyolit ve andezitlerden oluşan bentonitler aşınma ve taşınma olayları sonucu tatlı su havzalarına ulaşır, buralarda sedimantasyona uğrayabilirler. Bu yatak değiştirme sırasında bentonitler bünyelerindeki bazı yabancı unsurlardan kurtulup, bazı yeni unsurlar kazanarak bentonitik kilere dönüşürler. Sedimanter bentonitik killer ile volkanik ve post volkanik alterasyona bağlı olarak oluşan bentonitler doğada en yaygın yataklaşma şeklidir.

3. HAMMADDE TANIMI VE BENTONİTLERİN KULLANIM ALANLARI

3.1. Bentonitin Tarihçesi ve İsimlendirilmesi

Bentonit, alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması ve bozunmasıyla oluşmuş çok küçük kristallere sahip kil minerallerinden (başlıcası montmorillonit) oluşan ve ağırlıklı olarak koloidal silis yapıda, yumuşak, gözenekli ve kolayca şekil verilebilir açık renkli bir kaya olarak tanımlanır. (Şekil3.1.)



Şekil 3.1. Bentonit

3.1.1. Bilimsel Açıdan Bentonit

Yumuşak, plastik, poroz, açık renkli özellikle ana mineral olarak simektit grubu minerallerden oluşan, içinde koloidal silis bulunan ve camsal magmatik kayaların, genellikle volkanik kül ve tüflerin kimyasal ayrışmasına bağlı olarak devitrifikasyonu sonucu oluşmuştur. Kayacın renkleri taze örneklerde beyazdan açık yeşil ve açık maviye kadar değişebilir, açık krem renk zaman içinde sarı, kırmızı veya kahveye dönüşebilir. Kayaç elde ufalandığında yağlı ve sabunumsu bir his verir. Kayaçtaki simektit grubu minerallerin saflığına ve di- veya tri-oktahedral kristal yapısına bağlı olarak, çeşitli türlerinde orijinal hacminin 8 katı genişleyecek kadar fazla suyu emebilir.

3.1.2. Ticari Açıdan Bentonit

Bentonit çeşitli renklerde, ana mineral olarak simektit grubu mineralleri içeren bir kil türüdür ve çok geniş yüzey alanına sahip, suda üstün şişme yeteneğinde, asit ile aktive edilebilme özelliği ve petrol sondajlarında sondaj çamuru olarak kullanılabilme özellikleri ile karakterize edilmektedir.

3.1.3. Genel Anlamda Bentonit

Fiziksel özellikleri simektit grubu mineraller tarafından kontrol edilen ve simektit grubu kil minerallerinin hakim olduğu bir kil oluşumu olarak tanımlanır.

Ülkemizde çeşitli yörelerde kullanılan “baş kili”, “çamaşır kili”, “bebe toprağı” ve “pekmez toprağı” gibi killer de genellikle bentonittir. ABD’de ticari olarak kullanılan bazı bentonit deyimleri ise aşağıda verilmektedir:

Subbentonit: Orta-düşük şişme özellikli bentonit.

Güney bentoniti: Meksika körfezi kıyılarında bulunan, düşük şişme özellikli, kalsiyum bentonit.

Batı bentoniti(hektorit): Yüksek şişme kapasiteli, lityumlu bir simektit.

Potasyum bentonit (metabentonit): İllit ve karışık kil mineralleriyle az oranda simektit içeren, hafif metamorfizma ve diyajenez geçirmiş bentonit.

Ağartma toprağı: emici ve renk giderici özelliklerle yağ artırılması ve petrol rafinasyonunda kullanılan bentonit.

Asit killer: kalsiyum bentonitin, kalsiyumunun bir bölümü hidrojen iyonuyla ornatılmış kil.

Organofilik bentonit: organik moleküllerle kaplanarak su itici özellik kazanmış bentonit.

Bentonitlerin kimyasal bileşimleri hangi tip bentonit oldukları konusunda kesin bir bilgi vermemekle birlikte, yaklaşım sağlamak üzere tahmin yapmaya yardımcı olabilir. Bentonit gruplarına ait ortalama kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre; $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} / \text{CaO}+\text{MgO}$ oranı 1 ve daha büyükse sodyum; 1’den küçük $1/3$ ’e kadar olanlar ara tip; $1/3$ ’den küçükse Ca-bentonit olarak adlandırılabilir. Bentonitler asit, soda (Na_2CO_3), polimer ve benzeri reaktiflerle reaksiyona sokularak “katkılı” veya “aktifleştirilmiş bentonit” sınıflaması da yapılabilir. Katkı maddesinin türüne bağlı olarak, “sodyum aktif bentonit”, “aktif ağartma toprağı”, veya “polimer katkı bentonit” olarak adlandırılır.

Çizelge 3.1. Başlıca Bentonit Gruplarının Ortalama Kimyasal Analiz Değerleri

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

3.2. Bentonitlerin Endüstriyel Kullanım Alanları

3.2.1. Döküm Kumu ve Peletleme

Bentonit koloidal özelliği ve plastisitesi nedeniyle dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcılık özelliği kazandırır. Kalıp kumlarına %2 den % 50 e kadar değişik oranlarda bentonit katılır. Bu alanda bentonitte aranan en önemli özellik minimum miktarda kille yüksek bağlama mukavemeti ve kum kalıplarında yüksek gaz geçirgenliği sağlamasıdır. Ülkemizde döküm kumu nitelikli bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS-5360 standardı kullanılmaktadır [29, 8, 30, 31, 32, 33]

3.2.2. Sondaj Alanında Kullanımı

Belirli bir viskozite elde edilene kadar su ile karıştırılan bentonit ile elde edilen sondaj çamurunun akış özellikleri, su kaybı ve ağırlığı oldukça önemli parametrelerdir. Bentonit derin kuyu, petrol ve su sondajları sırasında matkap uçlarını ve borularını soğutma ve yağlama görevini yapar ve sondaj kırıntılarının yeryüzüne çıkmasını sağlar. Bu alanda kullanılan bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS 13500 standardı kullanılmakta olup tüm Dünya’da yaygın olarak API (American Petroleum Institute) standartları (1985’e kadar OCMA) kullanılmaktadır [11, 12, 3, 34, 35]

3.2.3. Gıda Sanayinde Kullanımı

Gıda sanayinde kullanılan bentoniti, genel olarak, berraklaştırma işlemlerinde kullanılan bentonit ve yağ sanayinde kullanılan (ağartma işlemlerinde kullanılan) bentonit olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bentonit berraklaştırma ve ağartma işlemleri dışında, un ve undan yapılan gıdalara %0.025–1.25 oranlarında katılarak bayatlamayı geciktirmede kullanılmakta

ayrıca bazı sütlere karışmış kanserojen Aflatoksin M1'in uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır.

3.2.4. Berraklaştırma İşleminde Kullanımı

Şarap, bira ve meyve suyu yapımında bazı yabancı maddeler bu içeceklere bulanıklık verir. Bentonitler su, meyve suyu ve benzeri içilebilir sıvı ortamlarda hidrata olur ve (-) yüklü bentonit tanecikleri bulanıklığa neden olan hammadde (meyve, tahıl gibi) posası, tortu gibi tanelerle birleşerek flokül olur ve böylece ortamın berraklaşmasını sağlar. Berraklaştırma işlemleri için özellikle düşük şişme özelliği olan Ca-Bentonitler kullanılır, değişebilen katyon olarak Na⁺ içeren ve demir miktarı fazla olan bentonitler tercih edilmezler. Bu alanda bir Türk Standardı bulunmamakta olup Na-bentonitlerin kullanılması uygun değildir.

3.2.5. Ağartma İşlemlerinde Kullanımı

Yağların rengini gidermekte yani rafinasyon işleminde kullanılan ve ağartma toprağı olarak bilinen killer bentonitin asit aktivasyonu adı verilen kimyasal işlemler sonucu bazı özellikleri geliştirilmiş şeklidir. Rafinasyon olarak bilinen, bitkisel ve hayvansal yağların (ayçiçeği, soya, kanola, mısırözü v.b.) ağartılması işlemlerinde bentonitin; ksantofil, klorofil, karoten, gasipol gibi renk veren pigmentler, oksidatif etkiyle oluşun hidroksi ya da poliketanic asitlerin yanı sıra diğer renk verici maddeleri adsorbe etme özelliğinden yararlanır.

Birçok bitkisel ve hayvansal yağlar içerisindeki safsızlıklar yağların rafinasyonu ile giderilmektedir. Alkali rafinasyon işleminin sonucu elde edilen yağlar, yağın türüne ve yapısına bağlı olarak %0,3–1,5 oranında ağartma toprağı ile karıştırılıp 90-95°C ısıda 30 dakika süre ile vakum altında rafinasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu alanda HCl veya H₂SO₄ gibi asitlerle muamele edilerek aktifleştirilmiş (değişebilir katyonları hidrojen ile yer değiştirilmiş) ya da doğal olarak aktif olan bentonitler kullanılmaktadır. Ağartma toprağı olarak kullanılan bentonitler şişme özelliği düşük olan Ca-Bentonitlerdir. Oktahedral durumdaki Al⁺³ ile yer değiştirmiş olan Mg⁺²'lu bentonitler asitle aktifleştirmede kullanılabilen en uygun killerdir. Lovibond Tintometresi ile yapılan ölçümlerde renk ağartma özelliğinin kıyaslamalı incelemelerinde maksimum olması gerekmektedir [36, 37, 38, 39, 12, 3, 40, 41, 42]

3.2.6. İlaç Sanayinde Kullanımı

Alkali bentonitler merhemlerde dolgu maddesi olarak ve çok kuvvetli ilaçların seyreltilmesinde kullanılır. Bentonit iç organların röntgeninin çekilmesinde kullanılan baryum sülfatın süspansiyon halinde kalmasını sağlayan en önemli maddelerden biridir. Bentonit aynı

zamanda yapışkan özelliği olan çeşitli ilaç hammaddelerine katılarak öğütölmelerine yardımcı olur.

Alkali bentonitler, çeşitli sıvılarla karıştırıldığında plastik ve homojen, temizleyici ve iyileştirici özelliği olan süspansiyonlar oluşturur. Kolloidal özellikleri nedeniyle tıpkı deterjanlar gibi rutubeti, tuzları, zehirli maddeleri vücut yüzeyinden uzaklaştıran bentonit, derideki gözenekleri açarak derinin daha kolay temizlenmesini sağlar. Bu özellikleri nedeniyle bentonit kozmetik sanayinde de önemli bir yere sahiptir.

İlaçlarda dolgu, süspansiyon, temizleme gibi işlevleri olan bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS 10252 numaralı “Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan” başlıklı standardı kullanılmaktadır. [29, 31, 43]

3.2.7. Seramik Sanayinde 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 arttırmaları. Sırlara öğütme sırasında ilave edilen bentonit, sırrın dibe doğru çökmesini engelleyerek süspansiyon halinde kalmasını sağlar.

Seramik çamuruna Bentonit ilavesi: Çamurun homojen karışmasını sağlaması, kuruma çatlaklarını azaltması, kuru mukavemeti arttırması ve piştikten sonrası kırılabilirliği azaltması şeklinde verilebilir.

Seramik sanayinde kullanılan bentonitlerde aranan özellikler genel olarak; bağlayıcı özelliğinin fazla olması, piştikten sonra renginin beyaz olması, %5 MgO ve hacimce 25 katı su ile karıştırılıp 24 saat bekletildiğinde yapışkan bir jel meydana gelmesi ve pH' ın en az 10 olmasıdır. Seramik sanayinde kullanılan bentonit için Türk Standartları Enstitüsünün TS 11136 “Bentonit-Seramik Sanayinde Kullanılan” başlıklı standardı kullanılmaktadır.[8, 44]

3.2.8. Çimento Sanayinde Kullanımı

Portland çimentosuna %1 oranında bentonit ilavesinin mekanik mukavemeti arttırdığı ve donma müddetini azalttığı görölmüştür. Çeşitli betonlarda mineral yağlarla muamele edilmiş olan bentonit su geçirmeyi önleyici dolgu maddesi olarak kullanılır. Alkali bentonitler, kuruma sırasında meydana gelen hacimce fazla küçölme nedeniyle bu alanda fazla kullanılmazlar. Bununla birlikte Portland ve magnezyum çimentosu ile alçı karışımında gözenekleri doldurmak için az miktarda kullanılan bentonit, çimentoyu su geçirmez hale getirir.

Bentonit beton ve harçlara ilave edildiği zaman plastisiteyi ve işleme kabiliyetini artırır, çakıl ve kumun ayrılıp bir yerde toplanmasını önler. 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.

3.2.9. Kâğıt Endüstrisinde Kullanımı

Kâğıt hamuruna az miktarda ilave edilen bentonit, katranın, reçinelerin ve balmumunun bir yerde toplanmasını önler ve renk verici olarak bilinen pigmentlerin homojen olarak dağılımını sağlar, boya maddelerini adsorbe ederek üstün bir lak meydana getirir.

Bentonit çok ince taneli olduğundan kâğıt makinelerine zararı olmadan dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Alkali bentonit kâğıda aynı zamanda kayganlık vermekte ve sakızlı maddelerle emülsiyon yaparak kâğıt üretiminde kullanılan eleklerin tıkanmasına, makinelerin kâğıt hamurundaki reçinelerin etkisi ile kirlenmesine engel olmaktadır. Bentonit, gerek emülsiyonlaştırma özelliği ve adsorpsiyon gücü, gerekse negatif (-) yüklü olması nedeni ile pozitif (+) yüklü karbonu elektriksel kuvvetler nedeniyle çekmesinden yararlanarak eski gazete kâğıtlarının yeniden işlenmesinde (mürekkep çekme özelliği nedeniyle) kullanılır.

Ülkemizde kâğıt sanayinde kullanılacak bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS-11441 nolu standardı temel alınmıştır. Gelişmiş ülkelerde, kâğıt üretiminde uzun yıllardan beri dolgu malzemesi olarak kalsitin yerine, modifiye bentonitler de kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılacak bentonitlerin beyazlık derecesinin ISO 85'in üzerinde olması, yüksek şişme özelliğine sahip olması, serbest yığın yoğunluğunun (bulk) ise 0,2-0,3 kg/l değerlerinde olması gerekmektedir. Ayrıca bentonitin kademeli olarak 200 °C'de kalsine edilmiş olması da gerekmektedir. [5, 45]

3.2.10. Lastik Endüstrisinde Kullanımı

Lastik sanayinde bentonit gibi nötr özellikteki maddelere dolgu malzemesi olarak ihtiyaç duyulur. Bu alanda bentonitin ince taneli olması, su ile jel ve koloidal süspansiyon meydana getirmesi, koyulaştırma ve dehidratasyon etkilerinden yararlanılmaktadır. Kalınlaştırıcı ve stabilizatör olarak Lateks'e ilave edilen bentonit viskoziteyi de artırır. Lastik sanayinde kullanılan bentonitlerde aranan genel özellikler şöyledir: Safsızlıklarından (kuvars, feldspat v.b.) tamamı ile arındırılmış olması, 200 mesh elekten tamamının geçmesi, rutubetinin maksimum %4-5 olması, 1000 °C'de ateş kaybının maksimum %8,5 olması ve malakit yeşili

boyasını fazla absorbe etmesi şeklinde verilebilir. Ülkemizde lastik sanayinde kullanılacak bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS-11442 nolu standardı mevcuttur.

3.2.11. İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı

Bentonitin fazla miktarda su absorblaması, jel meydana getirerek suyu geçirmemesi gibi özelliklerinden yararlanır. Bu alanda kullanılan bentonitte aranılan genel özellikler, çok ince taneli, plastisitesinin yüksek ve tiksotropi özelliğinin olmasıdır.

Şişme ve jel oluşturma özellikleri nedeniyle bentonitten, baraj yapılırken su kaçaklarını önlemede yararlanır. İnşaat mühendisliğinde kullanılacak bentonitin çok ince taneli, plastikliğinin ve tiksotropisinin yüksek olması gerekir. Bu alanda kullanılacak bentonitler üç kısım kum veya çakıla bir kısım olarak katılır.

Killi sahalarda yapılacak inşaatların planlanmasında ve inşasında kil gereçlerinin özelliklerini bilmek çok önemlidir. İnşaat işlerinde çok etkili olan bentonitlerin fiziksel özelliklerinin bilinmesi inşaat mühendislerince önem taşır.

3.2.12. Sabun ve Temizlik Maddelerinde Kullanımı

Bentonitlerin deterjan etkisi bulunmakta olup yağları absorbe etmeleri nedeniyle ellerin ve kumaşların temizliğinde kullanılır. Eskiden “çamaşırcı kili-lekeci kili-sabun kili” olarak bilinir ve temizlikte kullanılırdı. Sabunların deterjan özelliği bentonitler sayesinde geliştirilmektedir. Kolloidal bentonit, sabun imalatında süspansiyonun yüzey gerilimini azaltmakta ve sabunun daha iyi dağılıp köpürmesini sağlamaktadır. Suyun sertliğini de gideren bentonit bu sayede sabun sarfiyatını da azaltmaktadır.

Alkali bentonit, kirleri emer ve hidrolize olarak yağlı maddelerin sabunlaşmasını sağlar, böylece kirlerin eski yüzeye dönmesine engel olur. Süspansiyon halindeki kolloid bentonit tanelerinin negatif (-) yüklü olması, emülsiyon ve süspansiyon özellikleri, yağları adsorbe etmesi, katyon değişim kapasitesi gibi özellikler bentonitin temizlik malzemesi olarak kullanılmasının başlıca nedenleridir. Ülkemizde bu alanda kullanılan bentonitlerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsünün TS 11326 nolu “Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan” başlıklı standardı bulunmaktadır.

3.2.13. Gübre Yapımında Kullanımı

Bentonit, kolloidal özelliği ve katyon değişim kapasitesi nedeniyle toprağın gübrelenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bitkilerin büyümesi için gerekli olan rutubeti sağlaması ve bunu uzun süre koruması, gübredeki çözünebilen tuzların ortamdaki çabuk

uzaklaşmasına engel olması (bu tuzları adsorplaması-absorblaması nedeniyle), bentonitin gübreye kazandırdığı önemli özelliklerdir. Bentonit sayesinde bitkiye suyun dengeli verilmesi, toprağın havalanması ve gübrenin sulama periyodunda homojen olarak bitkiye verilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bentonit, sıvı veya süspansiyon halindeki gübrelerin yapımında stabilizatör olarak da kullanılmakta olup bu alanda kullanılan bentonitle ilgili herhangi bir standart bulunmamaktadır.

3.2.14. Yangın Söndürücülerde Kullanımı

Bentonit, bünyesinde fazla miktarda su tutması nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Yangın söndürücülerde kullanılan bentonitlerde de bu özellikten faydalanılmaktadır. Özellikle orman yangınlarıyla mücadelede en uygun söndürücü bentonittir. Süspansiyon haline getirilen bentonit havadan püskürtülerek yanan bölgelerin hava ile teması kesmekte böylece yangının daha kolay sönmesi sağlanmaktadır.

3.2.15. Boya Endüstrisinde 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, emayelerde, matbaa mürekkeplerinde ve yağlı boyalarda kullanılırlar. 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. Ülkemizde boya sanayinde kullanılan bentonit için herhangi bir standart bulunmamaktadır.[29, 46, 13]

3.2.16. Petrol Rafinasyonunda Kullanımı

Ağır petrol fraksiyonlarının katalitik parçalanmasında kil katalizlerinin önemli bir yeri bulunmaktadır. Ağır petrol ürünlerinin parçalanarak ince petrol ürünlerinin elde edilmesinde kataliz olarak kullanılan bentonitler asitle aktifleştirilir. Aktivasyonda bentonit asitle kaynatıldıktan sonra yıkanır ve uygun boyutlara (hareketli yataklar için 1,3-3mm, akışkan yataklar için ise 20–150µm) öğütülür. Asitle aktive olmuş bentonitin ısıya dayanımını artırmak için 500-600°C’de kalsinasyon işlemi uygulanır. Asit aktivasyonu ve kalsinasyon sonucu elde edilen kataliz bentonitin demir içeriğinin çok düşük olması gerekmektedir, demir içeriğinin yüksek olduğu durumlarda kataliz oda sıcaklığında seyreltik HCl ile yıkanarak demir içeriği %0.15’e kadar indirilebilir.

3.2.17. Hayvan Yemi Yapımında Kullanımı

Hayvan yemi sanayinde bentonit özellikle tavuk ve benzeri kümes hayvanlarının yemlerine ilave edilerek büyüme hızlarının ve yumurta verimlerinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Büyük baş hayvanların yemleri içerisinde bentonit ilavesi sayesinde büyüme hızlandırılmasının yanında hayvan dışkılarının kötü kokularını da giderilmektedir. Yemler içerisinde bentonit ilavesi, sindirimi kolaylaştırmakta, sulu yemlerde bulunan yüksek konsantrasyonlu amonyumun toksik etkisini azaltmakta, yemin tüketilme hızını azaltarak besinlerin daha kolay özümlemesini sağlamaktadır.

Hayvan yemi katkı maddesi olarak sodyum bentonit kullanılmakta olup katkı miktarı %1–1,5 arasında değişmektedir. Yem içerisinde %1–1,5 oranında bentonit ilavesi ile tavuk ve benzeri kümes hayvanlarında canlı ağırlıkta %35 artış, yumurta veriminde ise %15'lik artışlar meydana gelmektedir.[8, 47, 48, 49]

3.2.18. Adsorban Olarak (Kedi Kumu) Kullanımı

Sepiyolit, bentonit, atapulgit gibi adsorban özelliğe sahip killer için en önemli kullanım alanlarından biri de kedi kumu pazarıdır. Kedi kumu olarak kullanılan killer yüksek yoğunluklu killer (bentonit) ve düşük yoğunluklu killer (Sepiyolit, atapulgit) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sektörde daha çok düşük yoğunluklu killer kullanılmakla beraber bentonitin payı da %25 kadardır. Adsorban olarak kullanılacak bentonitin absorpsiyon kapasitesi yüksek, ufalanma oranı düşük ve 1-6 mm arasında granül boyutuna sahip olması gerekmekte olup bu alanda Ca bentonit kullanılmaktadır. [29, 50, 51, 52]

3.2.19. Nem Alıcı Kil (Desiccant Clay) Üretiminde Kullanımı

Killer, özellikle simektit ve Sepiyolit grubunda yer alan killer nem alıcı (Desiccant) üretiminde kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılacak olan bentonitler çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve böylece nem adsorplama-absorplama yetenekleri artırılmaktadır. Modifiye işleminde bentonit, çeşitli nem alıcı bileşikler yardımıyla aktive edilmekte olup bu işlemler esnasında Ca(OH)_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 , CaSO_4 , aktif alümina, MgCl_2 , NaCl , LiCl , CaCl_2 ve odun talaşı gibi bileşikler kullanılmaktadır.

Killer nem absorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmakta olup, simektit grubu killer olan; Sepiyolit, atapulgit ve fuller earth olarak bilinen ağartma toprağı yani Ca bentonit yaygın olarak kullanılan adsorban ve absorban killerdir. Nakliye ve depolaması yapılan neme karşı hassas eşyaların, gerek paketlerinde gerekse bu paketlerin yer aldığı konteynır gibi taşıyıcı ortamların ve depoların nem kontrolü için Ca bentonit kullanılmakta olup bu iş için en uygun

desiccant oktahedral tabakada çok az miktarda demir içeren ve %5'ten daha fazla MgO içeren bentonittir. Nem alıcı kil olarak kullanılan bentonit için herhangi bir Türk standardı bulunmamaktadır [4, 53]

4. BENTONİTİN SONDAJ SIVISINDA KULLANIMI

4.1. Sondajın Tarihçesi

Gerçek anlamda sondaj çalışmalarına Çin’de dört bin yıl kadar önce içme suyu ve tuz üretimi amacıyla açılan kuyular ile başlanmıştır. İlk sondaj sıvısı kullanımı ise bu kuyularda formasyonu yumuşatmak amacıyla kuyuya kovalarla su dökme şeklinde olmuştur.

Sondaj yapmakta kullanılmış ilk donanımlar basit bir kaldırıcı andıran “Esnek Çubuklu Donanımlar”dır. Bunlar 6-15 m uzunluğunda esnek bir çubuğun (ağaç, bambu vb.) bir ucuna ağırlık konulmakta, diğer ucuna ise halat ve bir askı bağlanmaktadır. Araya konulan bir destekle çubuğun kalkık durması sağlanmakta, askı aşağı çekilerek halata bağlı kesici uç tabanda kayacı parçalamaktadır

1845 yılına kadar mekanik ekipmanlarda ilerlemeler olmasına karşın çamur açısından hiçbir gelişme olmamıştır. 1845 yılında ise Fauvelle borular içinde su akıtarak başarılı bir sondaj yapmıştır. Takip eden yıllarda pompanın da devreye girmesiyle dövme borularla sondaj yapmak kolaylaşmıştır. İlk zamanlar delme durdurulup borularla su verilmiş daha sonraları sondaj sırasında su devamlı olarak verilmiştir.

Bir sondaj sıvısı olarak çamurun kullanılmasının önemi ilk olarak 1880’lerde farkedilmiştir. M. T. Chapman 1887’de plastik bir malzeme ve bol suyla yapılan sondajlarda kuyu duvarlarında geçirimsiz bir pastanın oluştuğunu fark etmiştir. 1889’da da ilk defa ABD’de çamur patenti alınmıştır

4.2. Sondaj Sıvısı Hakkında Genel Bilgiler

Sondaj sıvısı yeryüzünde yapılan sondajlarda kayacın parçalanmasına ve kırıntıların kuyu dibinden yeryüzüne çıkarılmasına yardımcı olan her türlü akışkan olarak tanımlanır. Sondaj sıvıları genel olarak, temel bileşen olarak kullanılan akışkan türüne göre sınıflandırılır. Temel bileşen su, petrol ya da gaz olabilir

Sondaj sıvıları döner sondaj yöntemi ile birlikte 1901 yılında teknolojiye girmişlerdir. Zamanla, sondaj sırasında geçilen formasyonlardan suya karışan killere oluşan süspansiyonların sondajı olumlu yönde etkilediği görülmüş ve böylece “Sondaj Çamurları” ortaya çıkmıştır. Önceleri killi tabakalardan çözünen killerin suya karışmasıyla kendiliğinden oluşan ve adına “Killi Su” denilen çamurlar, daha sonra yeryüzünde kille suyu karıştırarak elde edilmeye başlanmıştır.

Modern anlamda sondaj çamuru 1921 yılında çamura özelliklerini kontrol etmek amacıyla başka maddeleri katarak elde edilmiştir. İlk katılan maddeler ağırlaştırıcılar olmuştur. 1929 yılında viskozite düşürücüler kullanılmaya başlanmış, 1937’de geliştirilen bir aletle ilk kez çamurun su kaybı değeri ölçülmüştür. 1944 yılında ise su kaybını kontrol edici maddeler çamur teknolojisine girmiştir

Sondaj akışkanları su, gaz ve petrol akışkanları olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan ikisi hatta üçü birarada bileşim şeklinde kullanılabilirler. Akışkan su veya petrol gibi bir sıvı olduğunda; bu sıvı içindeki katkılarla birlikte oluşan karışıma “Çamur” adı verilir.

Su; İçinde çözülmüş halde birçok madde bulunur. Bunlar; bazlar, tuzlar, yüzey aktif maddeler, tanecik haldeki organik polimerler ve karışmış halde petrol damlacıklarıdır. Kullanılacak çamur bileşimi, hazırlama suyunda çözünebilir maddeler veya delinen formasyonlardaki çözünen maddeler gözönünde tutularak en ekonomik biçimde belirlenir.

Petrol; Kullanılan petrol genelde dizel yağı olmakla birlikte ham petrol de olabilir. Değişik kıvamlaştırıcı ve barit gibi askı maddeleri eklenebilir.

Gaz; Gazlar sondaj akışkanı olarak kuru gaz, buğu ve köpük olarak üçe ayrılır. Buğu su veya çamur taneciklerinin hava içinde akmasıyla olur. Metan gibi doğal gaz veya egzoz gazları kullanılsa bile hava en çok kullanılan gaz türü sondaj akışkanıdır (Karakaya Bentonit Sanayi ve Ticaret A.Ş.).

4.2.1. Sondaj Akışkanlarının Görevleri

4.2.1.1. Kuyu Tabanının Temiz Tutulması

Matkap dişleri tarafında kayaçtan koparılan parçaların buldukları yerden hemen uzaklaştırılarak dişlerin sürekli olarak parçalanmamış kayaç yüzeyine basmalarını sağlamak sondaj ilerleme hızının artması yönünden önemlidir. Sondaj ilerleme hızı arttıkça, koparılan parça miktarı artacağından dolaşacak çamur miktarını da arttırmak gerekir. Bu nedenle kesintilerin taşınması ile sondaj hızı arasında yakın ilişki vardır.

4.2.1.2. Kesintilerin Yeryüzüne Taşınması

Yeraltında matkap tarafından kayaçlardan koparılan kesintilerin yeryüzüne çıkarılması çamur dolaşımı ile sağlanır.

4.2.1.3. Kesintilerin Cökmesini Önleme

Kesintiler kuyuda taşınırken ağırlıkları etkisiyle aşağı doğru çöker. Sondaj durduğunda kesintilerin dibe çökmemesi istenir. Fakat kesintiler yeryüzüne geldiğinde çamur tanklarında kolayca çökmeli ve çamurdan ayrılmalıdır. Çamurun özellikleri buna göre ayarlanır.

4.2.1.4. Matkabın ve Boruların Soğutulması ve Yağlanması

Sondaj sırasında matkap kayaca, sondaj boruları da delik yüzeyine sürtündükleri için ısınır. Özellikle matkapta oluşan ısınma fazladır ve soğutulmaması halinde artan ısı ile matkabın dişleri körlenerek sondaj yapamaz hale gelir. Çamur sürtünme ile oluşan ısıyı alarak matkap ve boruları soğutur.

Çamurlar sürtünen yüzeyler arasına girdiklerinde yağlayıcı bir etki gösterirler. Sürtünme katsayısını düşürdüklerinden sürtünme kuvveti dolayısıyla ısınma azalır. Soğutma ve yağlama etkisi elde etmek için yabancı madde katkısına gerek yoktur ancak bazı özel yağlı maddeler katılarak sürtünme kayıpları azaltılabilir.

4.2.1.5. Göçme ve Oyuk Oluşumunu Önleme

Tabakalar içine kuyu açıldığında delik yüzeyindeki kayalar üzerlerindeki yükün etkisiyle delik içine doğru göçme eğilimindedirler. Gevşek ve çimentolanmamış kumlar, şişen killer, plastik tuzlar, kırıklı çatlaklı kayaların olduğu yerler delik içine doğru göçmenin olabileceği yerlerdir. Göçmeyi önlemek için, delik dolu olmalı ve deliği dolduran sıvının delik yüzeyine etki ettireceği hidrostatik basınç formasyondan gelecek basınçları karşılamalıdır.

4.2.1.6. Geçirimsiz Bir Pastanın Oluşumu

Sondaj sırasında delikte dolaşan çamur delik yüzeyinde ince bir sıva tabakası oluşturur ve buna “Çamur Pastası” denir. Çamurdaki suyun bir kısmı çamur sütununun hidrostatik basıncı etkisi altında formasyona süzülerek girer ve delik yüzeyinde ince bir tabaka kalır. Bu tabaka çamurun formasyon gözeneklerine sızmasını önler. Çamur pastanın kalınlığının az olması istenir; bozulmuş çamurun pasta kalınlığı artar.

4.2.1.7. Yüksek Formasyon Basınçlarını Kontrol Etme

Yeraltında bazı formasyonların gözeneklerinde yüksek basınç altında bulunan akışkanlar mevcuttur. Sondaj bu formasyonlara geldiğinde delikteki çamurun hidrostatik basıncı formasyondaki basınçtan düşük ise akışkanlar deliğe akmaya başlar. Akışkan gaz ise delikteki

çamuru yeryüzüne fişkırtır (Blow – Out) ve hasara neden olur. Bu gibi durumlar formasyon basınçlarının kontrolü ile ilgilidir ve çamur ağırlığı artırılarak önlem alınır.

4.2.1.8. Korozyona Karşı Koruma

Korozyon özellikle sondaj borularında yorulma kopmalarını artırır. Çamura katılan tuzlar korozyonu artırırken sodyum karbonat ve sodyum nitrit korozyon önleyici maddeler olarak kullanılır.

4.2.2. Çamur Türleri

Sondaj çamurları, Su bazlı ve Petrol bazlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Çizelge 4.1 de Çamur türleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çamur Türleri

Doğal Çamurlar	
Sepiyolit Çamurları	
Emülsiyon Çamurları (Su + %15 Petrol)	
Ters Emülsiyon Çamurları (Petrol +%20-70 Su)	
Petrol Bazlı Çamurlar	
Polimer Çamurlar	
Düşük Katı Madde İçerikli Çamurlar (<%7)	
Tatlı Su Çamurları	Düşük pH-Fosfat Çamurları Kostik-Quebracho Çamurları Lignosülfonatlı Çamurlar
Kalsiyum Çamurları (Ca<%0,12)	Kireç Kalsiyum Lignosülfonat Çamurları Düşük Kireçli Çamurlar Jips-Spersen Çamurları Kalsiyum Klorür, Baryum Tuzları Çamurları
Tuzlu Su Çamurları (NaCl > %1)	Formasyon Suları ile Yapılan Çamurlar (%1-3,5) Deniz Suyu Çamurları (%3,5) Doymuş Tuzlu Su Çamurları (%30)

Doğal Çamurlar; Su ile sondaj yapılırken geçilen formasyonlarda bulunan kilin karışması ile kendiliğinden oluşur.

Tatlı Su Çamurları; Bentonit ve tatlı su ile yapılan bu çamur NaCl, jips, anhidrit ve çimento gibi katıların karışması halinde özelliklerini koruyamaz. Viskozite ve su kaybını azaltmak için bazı katkı maddelerine ihtiyaç duyulur. Bu durum masrafları arttırır.

Kalsiyum Çamurları; Sodyum bentonit çamurlarına kalsiyum çözeltileri eklenerek elde edilirler. Sondaj sırasında sık rastlanan jips, anhidrit tabakalarından veya çimentodan çamura karışan kalsiyum iyonları, kilin hidrotasyonu ve dispersiyonunu düşürür ve viskozite artışına neden olur.

Kalsiyumlu çamurlar, Kireç, Zayıf Kireç, Jips-Krom Lignosülfonat, CaCl₂-Kireç-Kalsiyum Lignosülfonat ve CaCl₂ Çamuru olmak üzere beşe ayrılır. Bu çamurlar tatlı su çamurlarına kıyasla deliğe akacak tuzlu sulara karşı daha dayanıklı, akma sınırları ve jel kuvvetleri daha düşüktür.

Tuzlu Su Çamurları; Kendiliğinden oluşan veya özel olarak hazırlanan içinde %1'den fazla NaCl bulunan çamurlardır. Geçilen formasyonlardan gelen etkilere karşı duyarsızlardır.

Tuz tabakalarından geçildiği durumlarda tabakalar arasındaki tuzun çamur tarafından çözülmesi söz konusu olur ve formasyonda sondaj yönünden tehlike arz eden boşluklar oluşur. Bunu engellemek amacıyla çamur tuza doyurulur.

Sepiyolit Çamurları; Sepiyolitle yapılan çamurlar elektrolit etkisine ve yüksek sıcaklığa dayanıklı çamurlardır. İçlerine tuz, su kaybı azaltıcılar, ağırlaştırıcılar ve incelticiler katılır.

Emülsiyon Çamurları; Çamura ham petrol, motorin veya gaz yağı katılarak yapılırlar. Ham petrolün kullanıldığı durumlarda çamurdaki tuzun az olması gerekmektedir.

Ters Emülsiyon Çamurları; İçinde %20'den fazla su bulunan su-petrol karışımlarıdır. Yüksek viskoziteye sahip olan ters emülsiyon çamurları petrollü zonu kirletmez, şeylli formasyonlarda kilin şişmesine neden olmazlar.

Polimer Çamurlar; Düşük katı maddeli ve katı maddesiz çamurlara polimer katılarak yapılan yüksek sıcaklığa dayanıklı çamurlardır. Polimerler bentonit yüzeyine yapışarak yüksek sıcaklık ve tuz etkisinde flokülasyonu önlerler.

4.2.3. Sondaj Akışkanlarının Temel Özellikleri

4.2.3.1. Yoğunluk

Çamur yoğunluğu içindeki maddelerle ilintilidir. %6–7 oranında kil ile hazırlanan çamurun yoğunluğu 1,125 kadardır. Bu yoğunluk sondaj sırasında çamura karışan kesintilerle, gazlarla ve basınç farklılıkları ile değişir. Çamur yoğunluğu “Çamur Terazisi” ile ölçülür.

4.2.3.2. Filtrasyon Kaybı

Çamurda kil tarafında tutulan serbest su Sondaj sırasında sondaj deliğinin yüzeyindeki gözenekli formasyonlardan süzülerek içlerine girer. Formasyon su ile şişen kil, şeyl, marn v.b. içeriyorsa filtrasyon suyunun az olması istenir.

Filtrasyon sırasında suyun süzülmesi ile oluşan pastanın kalınlığının 1-2mm, yüzeyinin pürüzsüz olması gerekir. Bozulmuş çamurlarda pasta kalınlığı fazla, yüzeyi kırıklı ve pürüzlüdür. Sondaj çamurunun filtrasyon ve duvar yapım özellikleri sondaj ve kuyu tamamlama operasyonları için çok önemlidir. Kil süspansiyonunun süzüntü hacmi, cm^3 cinsinden, aşağıdaki gibi hesaplanır:

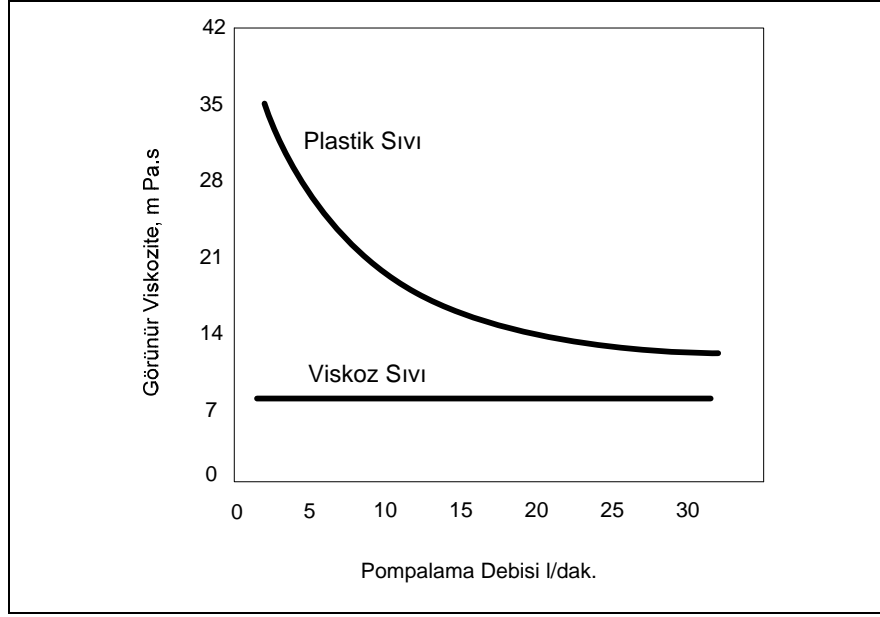
Filtrasyon kaybı 98 psi’lik basınç altında yapılan filtrasyon işlemi sonunda ml cinsinden elde edilen sıvı miktarı olup, 7,5 dakika ve 30 dakika için ölçülmektedir. Süzüntü hacmi ise 30 dakika ve 7.5 dakikalarda belirlenen sıvı miktarları farkının iki katıdır.

$$\text{Süzüntü Hacmi} = 2 \times V_c$$

Burada, V_c : 7,5 dakika ve 30 dakika arasında toplam süzüntü hacmidir

4.2.3.3. Viskozite

Viskozite her sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Sondaj çamurlarında “Görünür Viskozite (μ_a)” ve “Plastik Viskozite (μ_b)” olmak üzere iki tip viskozite mevcuttur. Şekil 4.1.’de akış hızına göre viskozite değişimi grafiği verilmekte olup, viskoz sıvı ile plastik sıvı arasındaki fark verilmiştir.



Şekil 4.1. Viskozitenin Akış Hızı İle Değişimi

Görünür viskozite akışkanın belli bir kuvvet altında veya belirli bir hızla akışı sırasındaki viskozitesidir ve

$$\mu_a = \cot g \beta = \frac{\tau_1}{D_1}$$

$$D_1 = \text{Hızın akış aralığında azalımı}$$

$$\tau_1 = \text{Kayma gerilmesi}$$
(4.1)

Bağıntısı ile belirlenir.

Plastik viskozite, akış grafiğinin doğrusal kısmı ile belirlenen plastik akış bölgesini karakterize eden sabit bir değerdir ve

$$\mu_b = \cot g \alpha = \frac{\tau_2 - \tau_1}{D_2 - D_1}$$
(4.2)

Bağıntısı ile saptanır.

4.2.3.4. Jel Kuvveti ve Tikotropi

Sondaj çamurlarını diğer akışkanlardan ayıran en önemli özelliği jelleşebilmesidir. Çamurun, sondaj sırasında çöküntüleri önleyen ve kesintilerin yeryüzüne taşınmasını sağlayan en önemli özelliği tiksotropik olmasıdır.

Tiksotropi akışkanın dinlenmede iken jelleşmesi, karıştırılmaya başlandığında ise tekrar akış haline geçme özelliğidir. İyi bir çamurun iyi bir tiksotropisi olmalıdır. Genelde az miktarda tuz, çimento veya anhidrit karışmış kil çamurları ile ağırlığı artırılmış çamurların jel kuvveti yüksektir.

4.2.3.5. Kum ve Katı Madde İçeriği

Sondaj sırasında çamura karışan kum taneleri ve kesintiler pompa ve borularda aşınmalara neden olur ve çamurun katı madde içeriğini arttırarak viskozitesini yükseltir.

4.2.3.6. pH Değeri

Viskozitenin minimum olduğu pH değerleri 8–9 civarındadır. Bunun dışındaki değerlerde viskozite artar. Bu nedenle çamurun pH'ı sık sık kontrol edilmelidir.

4.2.4. Çamura Katılan Koruyucu ve Yardımcı Maddeler

Çamurun bozulmasını, viskozite ve su kaybının artmasını önlemek için bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bunlar kullanılış amaçlarına göre genel olarak;

- a. Viskozite Düşürücüler
- b. Su Kaybı Azaltıcılar
- c. Ağırlaştırıcılar
- d. Kaçak Önleyiciler

Olarak sınıflandırılabilir.

4.2.4.1. Viskozite Düşürücüler

Artan viskozite ve jel kuvvetinin azaltılması, tabakalardaki ve kırık köşelerdeki elektrik yüklerini sıfıra indirerek, parçaların yeniden dağılmasını sağlamakla elde edilir. Bu amaçla dispersanlar kullanılır. Bunlar genel olarak;

- Susuz fosfat ve polifosfatlar
- Tannatlar
- Hüminatlar
- Lignosülfonatlar

Olarak sınıflandırılabilir.

4.2.4.2. Su Kaybı Azaltıcılar

Fazla su kaybını azaltmak amacıyla kullanılan maddeler aynı zamanda çamurun kolloidal yapısını dışarıdan gelecek etkilere karşı korurlar. Kolloid koruyucu olarak kullanılan maddeler,

- Doğal maddeler
- Yarı sentetik maddeler
- Sentetik maddeler
- Diğer maddeler

Olarak gruplanır.

4.2.4.3. Ağırlaştırıcılar

Sondaj sırasında geçilen tabakalarda yüksek basınçlı akışkanlara rastlanması veya tabakaların plastik deformasyonla kuyu içine akma eğilim göstermesi halinde çamur ağırlığının artırılması söz konusu olur. Bu amaçla,

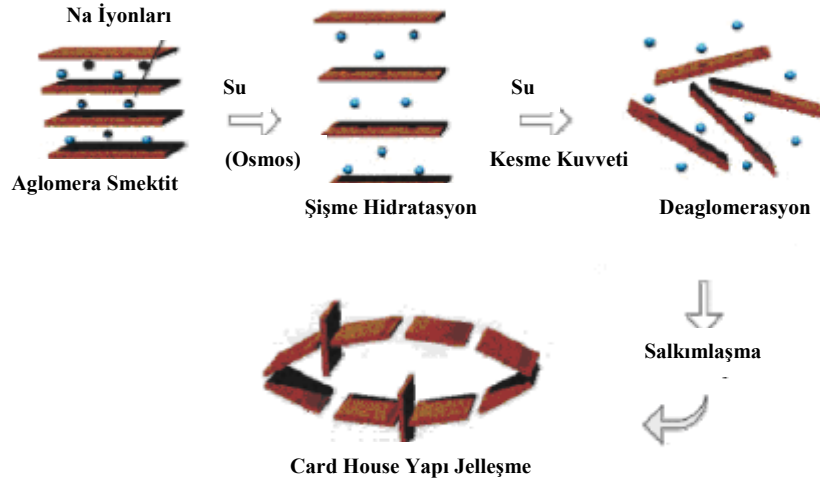
- Tebeşir
- Barit
- Baryum karbonat
- Hematit
- Kurşun oksit

Kullanılmaktadır

4.2.5. Montmorillonitlerin Jelleşme Mekanizması ve Reolojik Özellikleri

Montmorillonit ve Sepiyolit gibi tabakalı yapıdaki silikatların jelleşme mekanizmaları kristal yapıları ve fiziko-kimyasal özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle birbirine benzemez. Üç tabakalı kristal yapısına sahip bir kil minerali olan montmorillonitin, kristal kafesindeki düşük değerlikli katyonik izomorfik yer değiştirmeden dolayı tabaka yüzeyleri negatif yüke sahiptir. Bu net negatif yük ara tabaka katyonlarının adsorplanmasıyla karşılanmaktadır. Ara tabaka katyonu Na⁺ olması durumunda montmorillonit düşük elektrolit konsantrasyonlarındaki sulu çözeltilere daldırıldığında ozmotik şişme meydana gelir. Katyonların hidrasyon enerjisi kil

tabakalarının elektrostatik çekimini yenmek için yeterli büyüklüktedir. Kil tabakaları ozmotik şişmeyle birbirlerinden ayrılır ayrılmaz kil parçacıklarının asimetrisinden dolayı düşük kil konsantrasyonlarında jelleşme meydana gelir. Kil tabakalarının negatif yüklü yüzeylerinin pozitif yüklenmiş kenarları çekmesiyle CARD-HOUSE yapı (Şekil 4.2) oluşur. Montmorillonitteki jelleşme sulu düşük elektrolit konsantrasyonlarında gerçekleşmekte ve bunun içinde Na^+ katyonu ile tabaka ayırımının yapılması gerekmektedir.[52, 54] Montmorillonit kristallerinin etrafında yer alan değişebilir katyonların sulu ortamda hidrate olması nedeniyle silikat tabakaları arasında kolaylıkla girebilen su, tabakalar arası mesafeyi büyütür ve şişmeye neden olmaktadır. Ayrıca tabakalar arasında giren su nedeni ile plakalar arasındaki bağ zayıfladığından, tabakalar belirli bir hareket kabiliyeti kazanmaktadır.



Şekil 4.2. Montmorillonitte Cart-House yapı oluşumu [54]

Montmorillonitlerin bu yapısından kaynaklanan özellikleri;

- * Büyük yüzey alanı olan çok küçük plakalar halinde katmanlı esnek kristal yapı,
- * Kristallerin etrafındaki negatif yük ve buna bağlı olarak tabakalar arasında değişebilen katyonların bulunması,

Değişebilen katyonlara bağlı olarak montmorillonitin şişmeye olan yatkınlığı şeklinde özetlenebilir [55]

Küçük tane boyutu, geniş yüzey alanı, yüzey yükü ve değişebilir katyonlara sahip olması nedeniyle kil mineralleri sulu ortamda kolloidal bir davranış gösterir. Kil

süspansiyonları; kil taneleri, su molekülleri, katyonlar, anyonlar olarak dört bileşenden ibaret bir sistem şeklinde düşünülebilir. Bu bileşenler, kil süspansiyonlarının yapısal, elektriksel ve diğer fiziksel karakteristiklerine bağlı olarak, reolojik ve kolloidal davranışını belirler [56, 57, 58]

Kil süspansiyonlarının koagülasyonu Kenar-Yüzey (EF) ve Kenar-Kenar (EE) birleşmelerinin sonucunda oluşmakta, montmorillonit kil süspansiyonlarındaki sürekli jel tipi yapı buna neden olmaktadır. Süspansiyonların reolojik özelliklerinin bilinmesi endüstriyel uygulamalar açısından oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarda, viskozitenin tane boyutu ile ters orantılı olduğu ve boyut dağılımının da süspansiyonun viskozitesine etki ettiği görülmüştür. [29, 59, 60, 61, 58, 62, 63]

Süspansiyonların reolojik özellikleri hidrodinamik ve hidrodinamik olmayan şeklinde sınıflandırılabilir iki ana faktörden etkilenmektedir. Süspansiyon ortamı ve taneler arasındaki etkileşimlerin tamamı hidrodinamik etkiler olup hidrodinamik etkiler süspansiyon içerisindeki tanelerin 10 mikrondan iri olması durumunda etkindir ve tanelerin şekli, boyutu, miktarı ve boyut dağılımı ile süspansiyon ortamının reolojisine bağlıdır. Hidrodinamik olmayan faktörler ise, süspansiyonların kolloidal özelliklerini ve katı tanelerin birbirini çekmesi ile oluşan ağ yapısını içerir.[64, 65, 66, 67, 68, 69,70, 71]

Killer tane boyutu 2 mikrondan küçük (kolloidal boyut) malzemeler olarak tanımlanmakta olup kolloidal boyuttaki tanelerin süspansiyon içerisindeki dağılımı, tanelerin birleşmesi, islanması, aglomere tanelerin çökmesi ve koagülasyonunu içeren birçok unsuru kapsar. Düşük kil konsantrasyonlarında bile nihai ürünün içeriği akışkan ortamdan farklı olmaktadır. Eğer katı konsantrasyonu yeterince düşük olursa teorik denklemler yardımıyla tane-sıvı sistemlerinin reolojisi açıklanabilir. Ancak uygulamada birçok sistem seyreltik değildir, dolayısıyla yüksek katı konsantrasyonlarının söz konusu olduğu durumlarda; taneler arasındaki etkileşimin sıvı ile taneler arasındaki etkileşimle birlikte değerlendirildiği anlamına gelir ve bu durum alınan verileri yarı kantitatif hale getirir. Bununla beraber, salkım yapısı ve dolayısıyla da sistem özelliklerinin kesme kuvvetinden önemli ölçüde etkilendiği düşük salkımlaşmalı sistemler genellikle kolay elde edilir. Bu tür sistemler yukarıda bahsedilen kuvvetlerin azalmasında etkin olabilir ve nihai özellikler, tane şekli, boyutu, tabaka yükü, değişebilir katyonlar v.b. tane karakteristiklerinin yanı sıra karıştırıcı kesme oranı ile süresi, daha sonra kesme kuvveti uygulanıp uygulanmaması, ısı, pH gibi daha sonraki ayar ve uygulanan işlemlere bağlıdır .[72]

Bentonit gibi tabakalı yapıli killerin polar bir ortam içerisinde dağıtılması sonucunda oluşan yapısal değişikliklerin açıklanması için kil tanelerinin yüzey ve kenarları arasındaki

karşılıklı etkileşim ve yüzey-yüzey etkileşimlerinin sebep olduğu salkımlaşma veya heterosalkımlaşma olmak üzere iki farklı mekanizma tanımlanmıştır [73]

Viseras ve diğ., (1999) tarafından yapılan çalışmada kil-su sitemlerinde karıştırma şartlarının reolojiye etkisi ortaya konmuş ve bentonit süspansiyonlarında görünür viskozitenin karıştırma enerjisi (karıştırma hızı ve süresi) ile lineer bir ilişki içerisinde olduğu belirtilmiştir.

4.3. Bentonitlerin Kullanım Alanına Göre Dağılımı ve Sondaj Bentonitinin Ulusal ve Uluslar Arası Standartları

Türkiye’de ve dünyada bentonitin en çok tüketildiği alan sondaj sanayidir. Belirli bir viskozite elde edilene kadar su ile karıştırılan bentonit, sondaj sırasında matkap uçlarını ve borularını soğutma ve yağlama görevini yaptığı gibi sondajdan çıkan ince atık maddelerin yeryüzüne çıkmasını sağlar. Çizelge 4.2’de Dünyada kullanılan bentonitlerin kullanım alanlarına göre dağılımları verilmiştir. Çizelge 4.3’te ise sondaj bentoniti için kullanılan uluslar arası standartlar verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dünyada Bentonit Kullanım Alanları (Çelik, 2006)

Kullanım Alanı	% Oranı
Sondaj Çamuru	40
Döküm kumu bağlama	30
Yağ ağartma	15
Diğer alanlar	15

Çizelge 4.3. Sondaj Bentoniti İçin Ulusal ve Uluslararası Standartlar (TS 13500 UDK 622.36)

ÖZELLİKLER	TSE (13500)	API (1974)	OCMA (1973)
Nem	max. % 10	max. % 10	max. % 13
Katı madde miktarı +74 µm	max. % 2.5	max. % 4	max. % 2.5
Katı madde miktarı – 149 µm	min. % 98	--	min. % 98
Filtre kaybı, cm ³	max. 13.5	max. 15	max. 16
Görünür viskozite (minimum)	30 teta	30 teta	--
Akma noktası/Plastik viskozite		3/1	6/1

4.4. Fiyatlar

Dünya sondaj bentoniti fiyatları ambalaj biçimi, teslim yeri ve bentonit cinsine bağlı olarak yedi grupta belirlenmektedir. Buna göre 1995 ve 2001 yılları arası uluslararası piyasada bentonit fiyatları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Dünya Sondaj Çamuru Kaliteli Bentonit Fiyatları

Yıl	API Kalite-Wyoming, Vagonda, Torbalı, FOB, £ / ton	OCMA Kalite, Bulk, İşlem Görmüş UK, £ / ton	API/Bölüm 6, Bulk, \$/s.ton
1995	30 – 40	80 – 85	55 – 60
1996	30 – 40	75 – 85	52 – 67
1997	30 – 40	75 – 87	62 – 67
1998	30 – 40	80 – 90	62 – 67
1999	35 – 42	80 – 90	55 – 60
2000	43 – 50	90 – 100	50 – 72
2001	43 – 50	90 – 100	50 – 72

5. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ ÖNEMLİ BENTONİT YATAKLARI VE TÜRKİYE' DE REZERV VE ÜRETİM MİKTARLARI

5.1. Dünya Bentonit Yatakları Rezerv ve Üretimi

Dünya'nın en önemli ve kaliteli bentonit yatakları; Wyoming-ABD, Tokat-Reşadiye, Ponza-Sardunya-İtalya, Milos-Yunanistan, Bavyera-Almanya ve Almeria-İspanya'da bulunmaktadır.

Bentonit rezervleri Dünyanın her yerinde geniş bir şekilde görülmektedir. Yataklar oldukça geniş ve sonsuzdur. Dünya bentonit rezervlerinin toplam miktarını belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak terminoloji ve hesaplama yöntemlerindeki farklılıklar, ülkelerin verileri ile üretici firmaların verileri arasındaki farklılıklar, kil yataklarının kalite ve bileşen yönünden karşılaştırılmasının zor olması gibi nedenlerle güvenilir ve net bir sonuç ortaya koyulamamıştır. Aşağıda Çizelge 5.1'de Roskill 2005 ve USGS (2008) verilerinden yola çıkarak hazırlanmış ve tahmini rezerv bazına dayalı Dünya bentonit rezervleri özetlenmiştir. Çizelge 5.2'de görüldüğü gibi dünyanın en büyük rezervleri ABD'de bulunmaktadır.

Dünya Bentonit ticaretine bakıldığında ise (Roskill ve USGS verileri birlikte) Fuller's Earth olarak adlandırılan doğal ağartma toprağının bentonitten ayrı olarak verildiği görülmektedir. Aşağıda Çizelge 5.3. ve 5.4'de 1995 ile 2007 yılları arasındaki Bentonit ve Fuller's Earth üretim miktarları ayrı ayrı görülmektedir.

Bentonit ve Fuller's Earth üretiminin ülkeler bazında yıllara göre üretim verileri ise sırası ile Çizelge 5.5. ve Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelge 5.7'de ise Dünya bentonit ithalat ve ihracat verileri özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Dünya Bentonit Rezervleri (USGS 2008)

ÜLKE	REZERV (x10 ⁶ ton)	ÜLKE	REZERV (x10 ⁶ ton)
ABD	4400	Hindistan	593
Almanya	100	İran	14,6
Avustralya	70	İspanya	100
Arjantin	6	Macaristan	30
Azerbaycan	200	Meksika	400
Brezilya	78	Özbekistan	25
Bulgaristan	12	Romanya	83
Cezayir	12,5	Rusya	173
Çek Cumhuriyeti	313	Slovakya	41,7
Çin	2500	Suudi Arabistan	10
Danimarka	120	TÜRKİYE	350
Ermenistan	30	Türkmenistan	16
Etiyopya	170	Ukrayna	40
Fas	2,8	Vietnam	34
Gürcistan	12	Yeni Zelanda	12
Güney Kıbrıs	10	Yunanistan	50
Güney Kore	13,4	Diğer	11,13
		TOPLAM	10.032,24

Çizelge 5.2. 1995 – 2001 Yılları Dünya Bentonit, ağartma toprağı üretim miktarı (x1000 ton) (Rosskill, 2005)

KİL	YILLAR						
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Bentonit	11.598	11.186	11.778	11.856	11.930	12.079	12.587
Ağartma Toprağı	4.254	4.210	4.013	4.056	4.203	4.473	4.600

Çizelge 5.3. 2002 – 2007 Yılları Dünya Bentonit, ağartma toprağı üretim miktarı (x1000 ton)
(Rosskill, 2005; *USGS 2008)

KİL	YILLAR					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bentonit	12.721	12.615	11.500*	11.700*	11.700*	11.800*
Ağartma Toprağı	5.520	6.280	5.290*	5.610*	3.980*	4.020*

Çizelge 5.4. Yıllara göre ülke bazında Dünya bentonit üretimi (x1000 ton) (Rosskill, 2005)

ÜLKE	YILLAR								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2001	2003
Arjantin	111	135	114	131	129	123	136	120	128
Avustralya	238	65	73	104	180	180	180	200	200
Brezilya	130	186	230	220	275	274	160	175	175
Çin	1.250	1.250	1.250	1.330	767	1.124	1.290	2.000	2.000
Almanya	529	491	511	509	477	465	448	495	450
Yunanistan	1.115	974	943	1.148	1.050	1.149	1.259	950	950
Hindistan	430	440	446	413	456	500	513	500	500
İtalya	591	475	513	592	500	500	500	500	500
Japonya	478	469	496	444	428	415	406	400	400
Rusya	635	660	655	650	650	650	650	650	650
İspanya	172	151	197	193	190	90	224	225	225
Türkiye	606	482	521	566	900	663	674	559	550
Ukrayna	300	300	300	300	300	300	300	300	250
ABD	3.820	3.740	4.020	3.820	4.070	3.760	3.970	3.970	3.940
Zimbabwe	170	186	186	136	140	140	-	-	-
Diğer	897	980	1.152	1.124	1.186	1.414	1.557	1.466	1.447
TOPLAM	11.598	11.186	11.778	11.856	11.930	12.079	12.587	12.721	12.615

Çizelge 5.2 ve 5.3’de görüldüğü üzere Dünya Bentonit üretimi yıllık 11,5 milyon ton ile 12,5 milyon ton arasında değişmektedir. Çizelge 5.4’teki Dünya Bentonit üretiminin ülkelere göre dağılımına bakıldığında ise Bentonit rezervleri açısından ilk sırada yer alan ABD’nin

üretimde de ilk sıraya yerleştiği (ağartma toprağı üretiminde de olduğu gibi), Çin, Yunanistan ve Türkiye'nin ABD'yi takip ettiği görülmektedir.

Çizelge 5.5 Yıllara göre ülke bazında Dünya Fuller's Earth üretimi (x1000ton) (Rosskill, 2005)

ÜLKE	YILLAR								
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Almanya	529	491	511	500	500	500	500	500	500
Hindistan	109	29	27	70	138	-	-	-	-
İtalya	24	34	27	30	30	30	30	30	30
G. Kore	28	22	25	29	35	28	38	19	-
Meksika	16	42	51	48	48	52	148	147	153
Fas	15	17	25	31	22	31	41	43	15
Namibya	-	-	-	-	-	-	-	40	100
Pakistan	15	12	12	15	16	15	15	15	15
Senegal	81	79	83	110	139	149	121	177	177
İspanya	629	696	687	667	599	625	698	751	750
Türkiye	-	4	11	7	20	18	10	-	-
İngiltere	132	143	135	94	75	65	52	44	34
ABD	2.640	2.600	2.370	2.420	2.560	2.910	2.890	2.730	3.144
Diğer									
Toplam	4.254	4.210	4.013	4.056	4.203	4.473	4.592	4.520	4.928

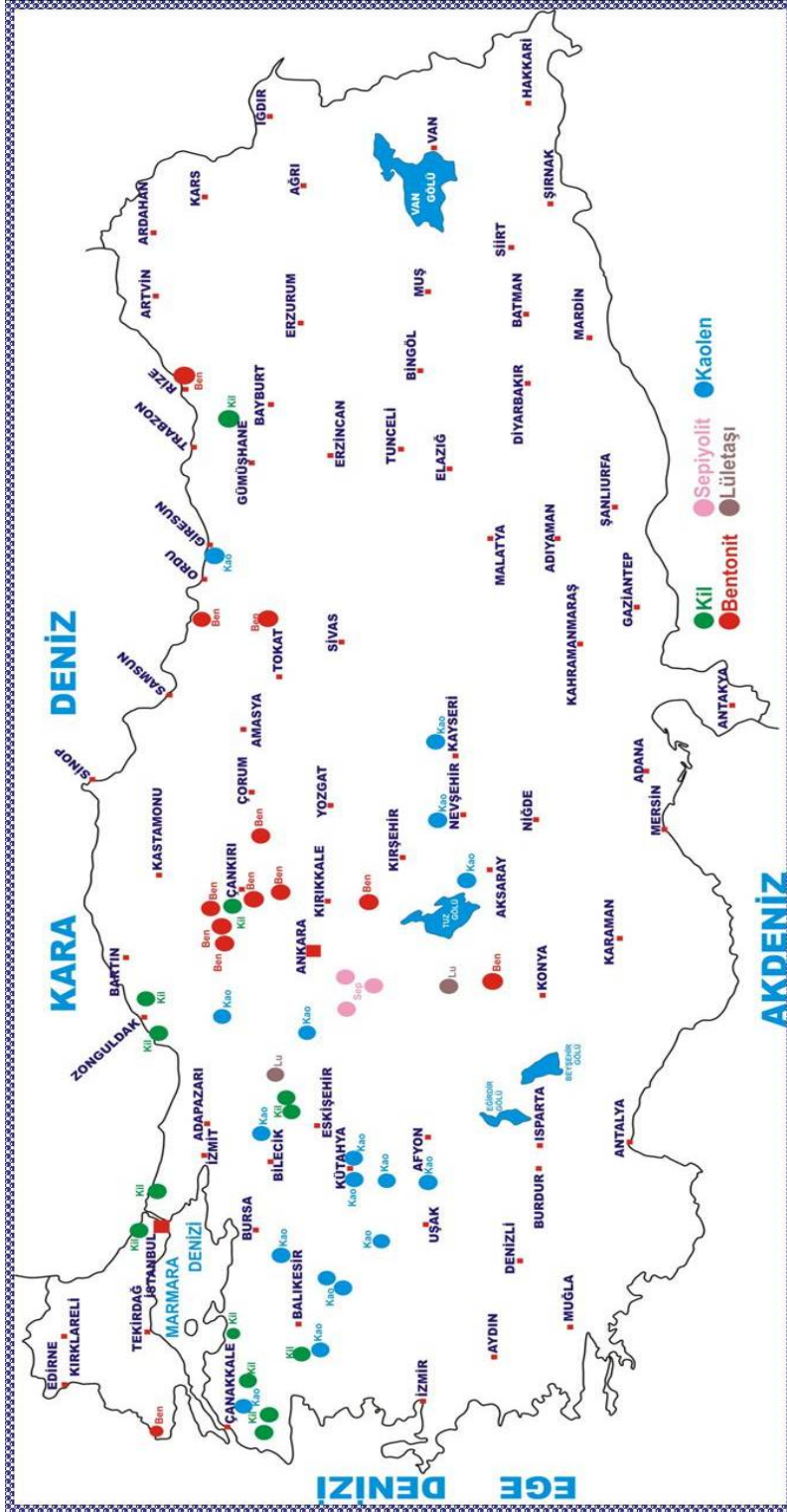
Çizelge 5.6. Dünya bentonit ticaret verileri özeti (x1000ton) (Rosskill, 2005)

Ticaret Türü	YILLAR					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Üretim	11.856	11.941	12.088	12.611	12.074	12.615
İhracat	2.385	2.396	2.430	2.383	2.471	2.312
İthalat	2.714	2.892	2.989	2.586	2.661	2.635

5.2. Türkiye'deki Önemli Bentonit Yatakları ve Üretim Miktarları

Türkiye'nin önemli bentonit yatakları Çanakkale, Edirne, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çankırı, Konya, Çorum, Tokat ve Ordu illerinde bulunmaktadır. Bu yataklardan Ankara ve Tokat' ta bulunan rezervler sondaj sanayi, Çankırı, Çorum, Çanakkale'de bulunan rezervler döküm sanayine, Edirne, Ordu, Balıkesir, Kütahya ve Eskişehir illerinde bulunan rezervler ise kâğıt ve deterjan ile yağların ağartılmasına uygun nitelikli bentonitlerdir. Türkiye'nin toplam potansiyel bentonit rezervi 280.800.000 ton'dur. Bu yatakların dışında henüz ayrıntılı incelemesi yapılmamış irili ufaklı yataklar da bulunmaktadır.

Yukarıda belirtilen yatakların dışında Malatya-Elazığ yöresi bentonitleri yer yer büyük rezervlere sahip olmakla beraber yağların ağartılmasında ve yalnız iki yatak soda ile aktive edildikten sonra peletlemede kullanılabilir. Doğu Karadeniz bölgesinde Trabzon (Arsın), Giresun (Tirebolu); İç Anadolu'da Konya yörelerine ağartma toprağı nitelikli bentonit yataklarının varlığı bilinmektedir. Şekil 5.1. 'de Türkiye bentonit yatakları haritası verilmiştir.



Şekil 5.1. Türkiye Bentonit Yatakları (http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/kil_bentonit.htm)

Roskill (2005) raporlarına göre 2001 yılı itibarıyla Ülkemizin Bentonit rezervleri sepiyolit ile birlikte tahmini olarak 350 milyon ton civarındadır. Beyaz Bentonit rezervlerimiz Kepsut-Balıkesir, Ünye-Ordu ve Kütahya'da bulunmaktadır. Kaliteli Na-bentonit yataklarımızdan olan REŞADIYE-Tokat sahasının bentonit rezervleri 10 milyon tonun üzerinde olup diğer önemli yataklarımız Kurşunlu-Çankırı, Şark'ı Karaağaç-Isparta, Mihaliççik-Eskişehir, Enez-Edirne'dedir. (rezervinin 50 milyon tonun üzerinde olduğu tahmin edilmektedir.)

Çizelge 5.7. Türkiye Bentonit Rezervleri

YER	REZERV (TON)
Ankara-Kalecik-Hancılı	19.000.000 (1+2)
Ankara-Keskin-Besler	240.000 (1+2)
Artvin-Derinköy	800.000 (k)
Çankırı-Çerkes-Bayındır	43.000 (1+2)
Çankırı-Eldivan-Küçük Hacıbey Köyü	300.000 (1+2)
Çankırı-Eldivan-Büyük Hacıbey Köyü	100.000 (1+2)
Çankırı-Ilgaz-Kızılibrik	200.000 (1+2)
Çankırı-Eskipazar-Başpınar	800.000 (T)
Çorum-Sungurlu-Mecitözü	400.000 (1+2)
Edirne-Enez	50.000.000 (1+2)
Giresun-Tirebolu	4.000.000 (1+2)
İstanbul-Şile-Kızılcağöl-Çamaşırdere	180.000 (3)
Konya-Sağlık	2.400.000 (1+2)
Konya-Sille	24.000 (1+2)
Ordu-Fatsa-Ünye	2.564.000 (3)
Tokat-Reşadiye-Akdoğan-Kaşpınar	200.000.000 (k)
Trabzon-Araklı-Arsın-Yolüstü	60.000 (2)
Bentonit Rezervi	79.000.000 (R)
	800.000 (T)
Toplam Bentonit Rezervi	280.800.000

1: Görünür Rezerv 2: Muhtemel rezerv 3: Mümkün Rezerv, T: Potansiyel K: Kaynak (VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK raporu)

Çizelge 5.8'de yıllara göre bentonit üretim miktarları verilmiş olup görüldüğü gibi Türkiye bentonit üretimi; 1976'da 23.600 ton seviyelerindeyken 2007 yılında 1.000.000 tona kadar çıkmıştır. Çizelge 5.9'da ise ülkemizin ihracat verileri ülkeler bazında, çizelge 6.10'da ise ithalat verilerimiz verilmiştir.

Çizelge 5.8. Yıllara göre Türkiye bentonit ağartma toprağı üretimi (x1000ton) (USGS, 2008)

YIL	Bentonit Üretimi	Ağartma Toprağı Üretimi	YIL	Bentonit Üretimi	Ağartma Toprağı Üretimi
1976	23.6	-	1992	439.1	-
1977	4.4	-	1993	456.6	-
1978	8.3	-	1994	546.2	-
1979	14	-	1995	605.5	-
1980	20	139.7	1996	482.1	4
1981	30.7	119.8	1997	521.2	11.3
1982	31	127.2	1998	565.7	7.2
1983	31	-	1999	899.6	19.9
1984	22	-	2000	663.3	18.3
1985	42	-	2001	674.2	10.3
1986	62.4	-	2002	559.2	-
1987	89.3	-	2003	550	-
1988	80.2	-	2004	850	-
1989	93.3	-	2005	900	-
1990	97.5	-	2006	950	-
1991	123.9	-	2007	1000	-

Çizelge 5.9. Yıllara göre bentonit ihracatının ülkeler bazında dağılımı (Rosskill, 2005)

ÜLKE	Miktar (ton)					Değer (x1000 USD)				
	1999	2000	2001	2002	2003	1999	2000	2001	2002	2003
Almanya	56.135	63.478	56.181	45.962	60.546	1.656	1.700	1.554	1.438	2.403
Fransa	15.265	10.981	7.086	14.598	24.115	475	399	833	981	1.688
İtalya	9.457	9.038	10.843	3.338	22.959	980	742	627	488	894
İngiltere	4.951	18.112	18.924	21.644	14.670	254	824	837	888	745
Endonezya	3.090	2.000	2.390	2.440	7.018	113	64	79	106	509
Hollanda	300	-	2.200	2.118	3.131	9	-	92	92	114
Tunus	-	-	1.100	2.625	2.650	-	-	41	100	104
ABD	2.313	5.008	2.352	2.160	2.118	554	900	607	572	623
Finlandiya	647	546	1.100	1.318	1.806	53	35	56	67	130
G. Kore	8.000	8.000	1.750	4.000	1.660	238	203	36	86	164
İsveç	2.294	2.401	605	1.478	1.626	76	60	34	114	106
Suriye	200	636	271	1.034	1.469	19	52	13	130	132
Diğerleri	1.173	3.658	3.905	2.997	6.869	199	483	450	564	827
Toplam	104.4	123.8	108.7	106.7	150.6	4.6	5.5	5.3	5.6	8.4

Çizelge 5.10. Yıllara göre Türkiye bentonit ithalatının ülkeler bazında dağılımı (Rosskill, 2005)

ÜLKE	Miktar (ton)					Değer (x1000 USD)				
	1999	2000	2001	2002	2003	1999	2000	2001	2002	2003
Yunanistan	155	600	-	1.150	1.200	36	66	-	148	156
İran	-	2	4	255	147	-	2	3	32	9
İtalya	54	103	93	219	118	55	110	78	112	121
Hollanda	4	12	69	20	77	15	4	25	7	33
Almanya	8	29	31	39	76	3	9	19	26	54
Diğerleri	25	182	1.016	32	84	24	66	71	38	104
Toplam	246	928	1.213	1.715	1.702	133	257	196	363	477

6. BENTONİTİN AKTİVASYONU

Bentonit oldukça geniş kullanım alanlarına sahip olup kullanım alanlarındaki çeşitlilikten dolayı kullanım amacına uygun olarak önceden bazı teknolojik işlemlere tabi tutulmaktadır. Yeryüzünde kaliteli doğal bentonit yataklarının giderek azalması, düşük kaliteli bentonitlerin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

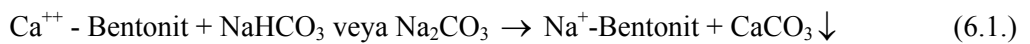
Bentonit kalitesini yükseltmeye yönelik ürün hazırlama teknolojileri;

- Alkali Aktivasyon
- Karboksi metil selüloz (CMC) ile aktivasyon,
- Asit aktivasyonu,
- Organik aktivasyon,
- Yüzey aktif maddeler ve diğer bileşiklerle aktivasyon, şeklinde sınıflandırılabilir.

6.1. Alkali Aktivasyon

Kalsiyum ve diğer toprak alkali bentonit grubu içerisinde yer alan, şişme oranı yüksek sodyum-bentonit üretimi alkali aktivasyon adı verilen ve iyon değiştirme esasına dayanan işlem ile gerçekleştirilir. Aktivasyon işleminde alkali olarak soda (Na_2CO_3) veya hafif soda (NaHCO_3) kullanılmakta olup bu işlem genel olarak yüzey alanı yüksek, kalsiyumlu bentonit ve karışık (mix-aratip) bentonitlere uygulanmaktadır.

Aktivasyon işlemi genel olarak ocaktan çıkarılan ham bentonite, toz soda veya soda solüsyonu karıştırılarak yapılmaktadır. İyon değişimi esasına dayanan işlem sırasında oluşan aktifleştirme reaksiyonu;



Şeklinde ifade edilebilir. Aktifleştirme reaksiyonu sadece tek yönlü olarak oluşturulduğu için Na-bentonit sonradan Ca-Bentonit formuna dönmez ve oluşan CaCO_3 ' ta 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. Soda ile aktivasyon kısaca;

kurutulan bentonitin boyut küçültme işlemi sonrası %2–5.5 oranında $\text{NaHCO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$ 'ın ilave edilmesi, nemin %35–45 seviyelerinde tutulması ve karıştırılarak sıkıştırılması şeklinde özetlenebilir. Bu işlemler sonrasında aktif bentonit 150 °C'den daha düşük bir ısıda kurutulularak öğütülür (-80 mikron) ve kullanıma hazır hale gelir.

6.2. Asitle Aktivasyon

Yemeklik yağların renginin giderilmesinde kullanılan doğal bentonitlerin ağartma gücü genelde düşüktür. Bu nedenle özellikle Ca-Bentonitler asit ile aktifleştirilerek ağartma gücü artırılır ve yağ sanayinde kullanılır. Killerin asitle aktifleştirilmesi kilin kristal yapısında Al, Mg, Fe ve diğer katyonların uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bunun sonucu olarak da kilin yapısı bozulmaksızın yüzey alanı artar, porozitesi gelişir ve kimyasal aktivitesi artar. Kısaca asit ile aktifleştirme, kil mineralinin (montmorillonitin) sahip olduğu özelliklerin mineralin tabakalı kristal yapısını bozmadan artırılması işlemidir. Aktifleştirme sırasında bentoniti oluşturan montmorillonit mineralinde önemli fiziksel değişiklikler de meydana gelir. Yüzeydeki gözenek çapları ve asit uygulamasının belirli bir miktarına kadar yüzey alanı artar. Aktive edilmiş killerin, aktif özellikleri, yani reaksiyonu hızlandırmaları veya renkleri gidermeleri, oktaedral katyonların aşağı yukarı yarısının kilin kristal kafesinden uzaklaştırıldığı zaman yüksek düzeye ulaşır. [74, 75, 76, 77]

Asit ile aktifleştirme işlemi, kuru yöntem ve yaş yöntem olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Yaş yöntemde bentonit, çeşitli derişimlerdeki seyreltilmiş asit içerisine ilave edilmekte, kuru yöntemde ise bentonitin, asit-su karışımı ile hamur kıvamına gelmesi gerekmektedir. Asitle aktifleştirme işlemi, Ca-bentonite uygulanmaktadır. Bu işlem, bentonitin seyreltik, fakat HCl ve H_2SO_4 gibi kuvvetli asitlerle ısıtılmasına dayanmaktadır. Asit, süspansiyon halindeki küçük taneleri geçerek, kristale ulaşır ve muhtemelen kristalin yüzeyinden çok ucunu etkiler. Oktaedral tabakadaki alüminyum, magnezyum ve varsa demir iyonları, aktifleştirme için kullanılan asitle reaksiyona girerek, tuz halinde solüsyona geçer. Hemen hemen aynı anda, kristal tabakaları arasında bulunan değişebilen Ca^{++} iyonları solüsyona geçen bu iyonlarla yer değiştirir. Özellikle Al^{+++} ve H^+ iyonları Ca^{++} ile yer değiştirirler ve açığıtaki Ca^{++} ise sülfat iyonu ile çözünmeyen CaSO_4 şeklinde etkisiz duruma gelir. Yıkama ile solüsyondaki çözünmüş tuzlar ayrılır, kurutulduktan sonra, yığın yoğunluğu düşük halde aktif kil elde edilmiş olur.[36, 91]

6.3. Karboksi Metil Selüloz İle Aktivasyon (CMC)

Sondaj çamurlarının filtre kaybını azaltmak amacıyla düşük viskoziteli sodyum karboksi metil selüloz kullanılır. Aktivasyon işleminin esası soda ile aktivasyonla benzer özellikleri taşımaktadır. Aktivasyon işleminde kullanılan sodyum karboksi metil selülozun bünyesindeki Na^+ iyonları ile Ca-Bentonitin yapısındaki Ca^{2+} iyonları yer değiştirmekte ve viskozite CMC'nin ilave katkısı ile daha da artmaktadır.

6.4. Organik Aktivasyon

Organik aktivasyon iyon değiştirme esasına dayanmakta olup bu işlem sonucunda organik kil (organo clay) adı verilen ürünler elde edilmektedir. İyon değiştirme ile elde edilen organik killer, özellikle solvent bazlı boya, gres ve kaplama malzemelerinin üretimlerinde; viskozite, damla kontrolü, pigment süspansiyonu, boyanın örtme performansında ve yoğunluk özelliğinin sağlanmasında önemli rol oynayan reolojik katkı malzemeleridir.

Organik aktivasyon işlemi Na-bentonitlere uygulanmakta ve silan bileşikleri veya kuaterner amonyum tuzları (QAT) ile gerçekleştirilmekte olup her iki kimyasal malzemenin de geniş bir çeşitliliğe sahip olması nedeni ile çok farklı özelliklerde organik killer elde edilmektedir. [11, 78]

6.5. Kuaterner Amonyum Tuzları İle Organik Aktivasyon

Na-bentonit su ile karıştırıldığında yapısındaki sodyum nedeniyle yüksek oranda şişme göstermektedir. Bu şişme sayesinde değişebilen katyon olan Na^+ , organik bir bileşik olan QAT (Kuaterner Amonyum Tuzları" (Quaternary Ammonium Salts-QAT) yapısındaki organik moleküllerle kolaylıkla ve daha yüksek miktarlarda yer değiştirmektedir. Na-bentonitin iyon değişimi kısaca;



(QAT)

organik kil (organik bentonit)

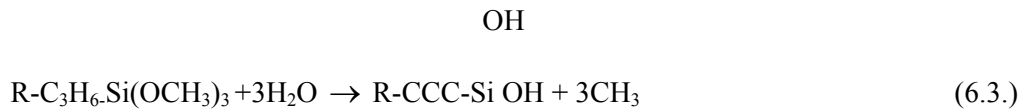
eşitliğinde verilmiştir. Bentonitin yapısına Na ile yer değiştiren organik moleküller nedeniyle elde edilen ürüne organik kil adı verilmektedir.

6.6. Silan Bileşikleri İle Organik Aktivasyon

Silan bileşikleri kullanılarak elde edilen organik aktive killer, boya emülsiyonlarında kıvamlaştırıcı olarak kullanılan, tiksotropik maddelerdir ve su ile reçinenin boya ortamında asılı kalmasını sağlarlar. Şişme kapasitesi yüksek olan Na-Bentonitlerin organik aktivasyonu amacıyla, polar uzun zincirli organik moleküller olan silan bileşikleri ile bentonit kaplanmakta

ve hidrofobik özellik kazanmaktadır. Bu sayede bentonitin kristal tabakaları arasına solvent ve benzerleri organik moleküller kolaylıkla girebilmekte ve buna bağlı olarak elde edilen jel yapılı aktive ürün, organik ortamlarda tiksotropik kalınlaştırıcı olarak kullanılmaktadır.

Silan bileşikleri kullanılarak gerçekleştirilen aktivasyonlarda (silanlama) çoğunlukla alkoksi silanlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Silanlama sırasında oluşan ilk reaksiyon bentonitin yüzeyinde oldukça reaktif olan trisilanol gruplarıdır;



OH

Meydana gelen trisilanol grupları, bentonit yüzeyindeki (OH⁻) gruplarıyla önce kuvvetli hidrojen bağları kurmakta, daha sonra ise bu gruplarla reaksiyona girmektedir. Ayrıca bentonit yüzeyine bağlanan trisilanol grupları kendi aralarında da reaksiyona girerek, bentonit yüzeyi etrafında yüzeye bağlı bir organik tabaka oluşturmaktadır. [78, 79]

6.7. Yüzey Aktif Maddeler ve Diğer Bileşiklerle Aktivasyon

Yukarıda bahsedilen aktivasyon yöntemlerine ilave olarak yapılan ve çok farklı kimyasal bileşiklerin kullanıldığı aktivasyon türleri bulunmakta olup bu bileşikler daha çok su bazlı sistemlerde çalışan ürünlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Su bazlı sistemlerde çalışan bentonit esaslı ürünlerin elde edilmesinde kullanılan başlıca kimyasal bileşikler; magnezyum ve alüminyum tuzları ile oksit ve hidroksitli bileşikler şeklinde sıralanabilirler.

6.8. Su Bazlı Sistemlerde Bentonitlerin Aktivasyonu

Ara tip ve yarı alkali bentonitlerin sulu bir sistem olan sondaj sektörüne uygun özelliklere getirilmesi için yapılan aktivasyon işlemleri genellikle soda ve suda çözünen polimerler ile alkali ve organik aktivasyonu şeklinde yapılmaktadır. 2-4% (w/w) soda ile yapılan aktivasyon 50 yıldır düşük kaliteli bentonitlerin endüstride kullanılmasını sağlamaktadır. [80] Bentonitlerin suda çözünebilen polimerler ve benzeri bileşiklerle modifikasyonu çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmış ve üstün reolojik (viskozite, tiksotropi vb.) özellikler elde edilmiştir. [81, 82, 83, 84, 85, 86] Ancak organik bileşikler ve polimerler ile yapılan çeşitli uygulamalarda yüksek sürtünme ve sıcaklık (>120 C) yapısal bozunmalara sebep olurken, depolama sırasında meydana gelen bakteriyel bozunmalar, inorganic malzemelerin kullanılması gereğini ortaya çıkarmıştır. [55, 78, 87] Bu tez çalışmasında soda ile alkali aktivasyonu ile birlikte magnezyum oksit ve hidroksit bileşikler gibi inorganiklerle aktivasyon

yapılmıştır. İnorganik katkı maddeleri ile yapılan literatür çalışmaları Çizelge 6.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.1. Bentonit Süspansiyonlarına İnorganik Katkılar ile ilgili literatür Özeti

Araştırmacı	İçerik
Yıldız, ve diğ., 1999	Ca-bentonite NaCO ₃ ilavesi yaparak %6 v/w katı konsantrasyonu ile viskoziteyi 21.12cP, filtrasyon kaybını da 14 ml olarak belirlemiştir
Obut ve Girgin (2002)	Çankırı bentonitlerinin reolojik özelliklerini iyileştirmek için MgCl ₂ .6H ₂ O kullanılarak jelleşme ve şişmede %30 ve%34’lük artışlar gözlenmiştir.
Erdoğan ve Demirci (1996)	Çanbansan ve Ceylan bentonitleri bazı inorganik tuzlar, Na ₂ CO ₃ , Na ₂ SO ₄ , Al ₂ (SO ₄) ₃ ve jips, poliakrilamid, poliakrilik ve sodyum karboksimetil selüloz (Na-CMC) gibi katkılara ihtiyaç duyarlar. inorganik tuzlar ile aktive edilmiş bentonitler başarılı olamamıştır örneğin çamur direnci standart değere (90 barrels/ton) ulaşamamış ve filtrasyon kaybı (<15ml/30 dk) mertebelerine inememiştir. Polimerik katkılarda, viskozite ve filtrasyon kaybında önemli gelişmeler sağlanmıştır. Çanbansan bentonitinde optimum viskozite, %3.5 Na-CMC veya %1 poliakrilamid ve %0.2 poliakrilik, ile sağlanmıştır.
La Landre ve Darby (1961)	Kil miktarının %1,3-2,6’sı kadar MgCO ₃ ve %5’i kadar Na ₂ CO ₃ kullanarak 32 cP’lık plastik viskozite değerine ulaşılmıştır.
Burba, Read, ve Hoy (1993)	%1,2 ile %5 arasında değişen miktarlarda sodyum bentonit içeren süspansiyonlara; hidrotalsit (ısı ile aktive edilmiş), NaOH, MgCl ₂ .6H ₂ O ilavesiyle sondaj çamuru olarak kullanılabilir nitelikte plastik viskozitesi 13 cP kopma noktası 42 lb/100 ft ² olan ürünler elde edilmiştir.
Sawyer ve Walter (1966)	Bentonit süspansiyonlarına %0,25 ile %4 arasında değişen oranlarda MgO, Mg(OH) ₂ ’in yanı sıra az miktarda CaO veya CaOH ₂ ve NaOH, Na ₂ CO ₃ kullanarak sondaj çamurunun özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır.
Jackson (1974), Burba ve Barnes (1987), Burba ve Barnes (1993)	MgCl ₂ .6H ₂ O, AlCl ₃ ve NH ₄ OH kullanılarak monodisperse monolayer karışık tabakalı metal hidroksit jeli elde etmiş ve kristal yapısına sahip olan bu jel, sodyum bentonit içerisine katılmış böylece viskozite ve kopma noktası değerleri artırılmıştır.
Lebedenko ve Plee	Na içeriğinin, süspansiyonların optimum reolojik özelliklerin kazanılmasında etkili olan en önemli parametre olduğu gözlenmiştir. Mg/Ca oranı ise değerlendirilmesi gereken 2. dereceden önemli bir parametredir. Ayrıca, dispersiyon içerisinde iyon değişimi yapabilir ölçüde Mg iyonu bulunması da jel dayanımını sağlamak için gerekli olmaktadır.
Chen (2006)	Yüksek şişme kapasitesine sahip sodyum esaslı bentonit elde etmek için kuru proses uygulayıp, bentoniti sodyum tuzu ve üre kullanarak 85-120 oC’de 0,5-5 saat süreyle ısıl işlem yapmıştır. Elde edilen ürünün şişme kapasitesi 40-95 ml/gr seviyelerinde olduğu belirtilmiştir.

Bauer, Hanlon ve Menking (1993)	Kalsiyum bentonitten kuru karışım şeklindeki soda aktivasyonu ile elde edilen ürünlerin viskozitelerinde önemli artışlar sağlandığı görülmekte olup kalsiyum bentonitler için optimum soda miktarının %3-5 arasında olduğu belirtilmiştir
Patel (1996), Kocakuşak ve diğ., (1998)	Bentonit ile MgO, sodyum alüminat, AlCl ₃ .6H ₂ O, NaOH, Ca(OH) ₂ , Al(SO ₄) ₃ .12H ₂ O değişik ısı şartlarda ve farklı karıştırma sürelerinde ve farklı kombinasyonlarda muamele edilerek oldukça yüksek viskozite değerlerine sahip (Fann viskozimetresi ile 300cP'dan daha yüksek) su bazlı bentonit esaslı ürünler elde edilmiştir.
Bleifuss R. L., 1973	Aşamalı olarak Ca ilavesi colloid yapıdaki tanelerin dispersiyonunu % olarak arttırmaktadır.
Çinku, K., 2008	%1MgO ile yapılan aktivasyon neticesinde elde edilen ürünün viskozitesi (11083 cP), Optigel CK (3717 cP) ve Benton EW (9150 cP) ticari ürünlerinden daha yüksek bulunmuştur.
Williams ve diğ., (1953)	maksimum viskozite ve jel kuvvetlerine ulaşmak için Na/Ca oranı çok önemlidir, ve bu oran 60/40 olduğunda maksimum değerlere ulaşılır.
Alther (1986)	Na/Ca/Mg oranı 60/20/20 olan bentonitler diğerlerine göre daha iyidir. Formasyondaki farklı yapılar, pH, Ca/Na oranı ve Ca/Mg oranına bağlıdır.

7. MALZEME YÖNTEM

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler ve özellikleri tanıtılırken, deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler ayrıntılı açıklamalar ile anlatılmıştır.

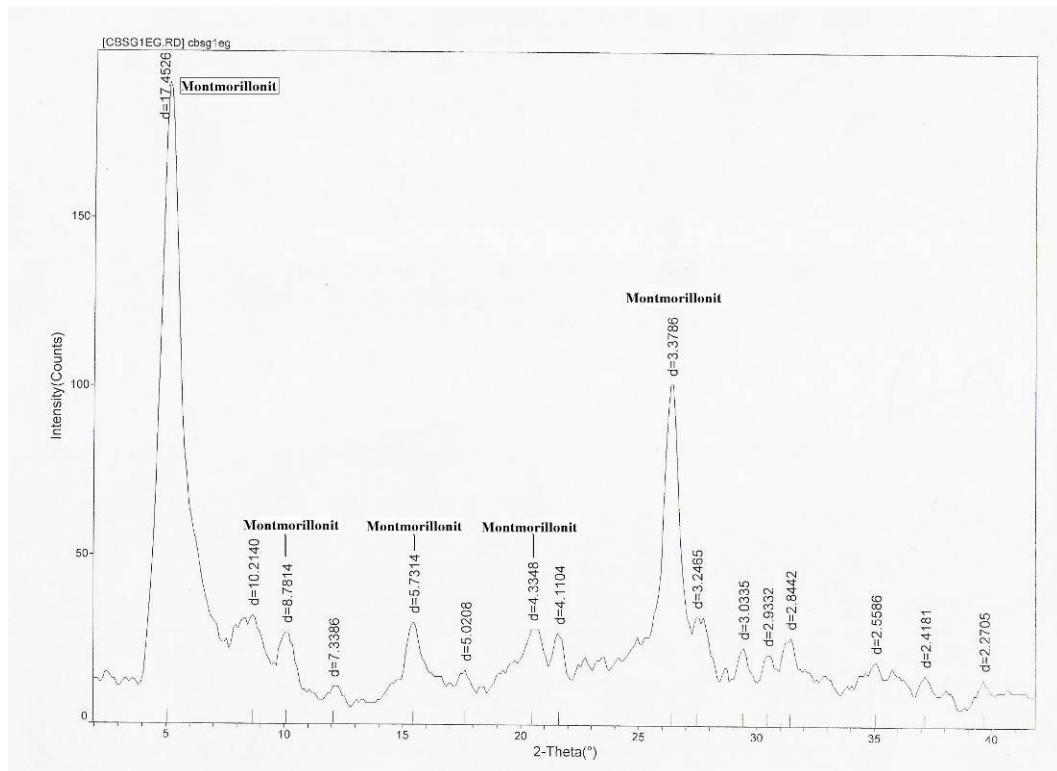
Sondaj sanayinde kullanıma uygun nitelikte çamur elde etmeyi amaçlayan bu tez çalışmasında Çankırı Sarı ve Gri ara tip bentonitleri, ve Silivri Ca- bentoniti kullanılmış olup, API ve TSE'nin sondaj çamurları standartları nedeniyle tüm deney ve ölçümler %6 pülp yoğunluğunda gerçekleştirilmiştir.

7.1. Malzeme

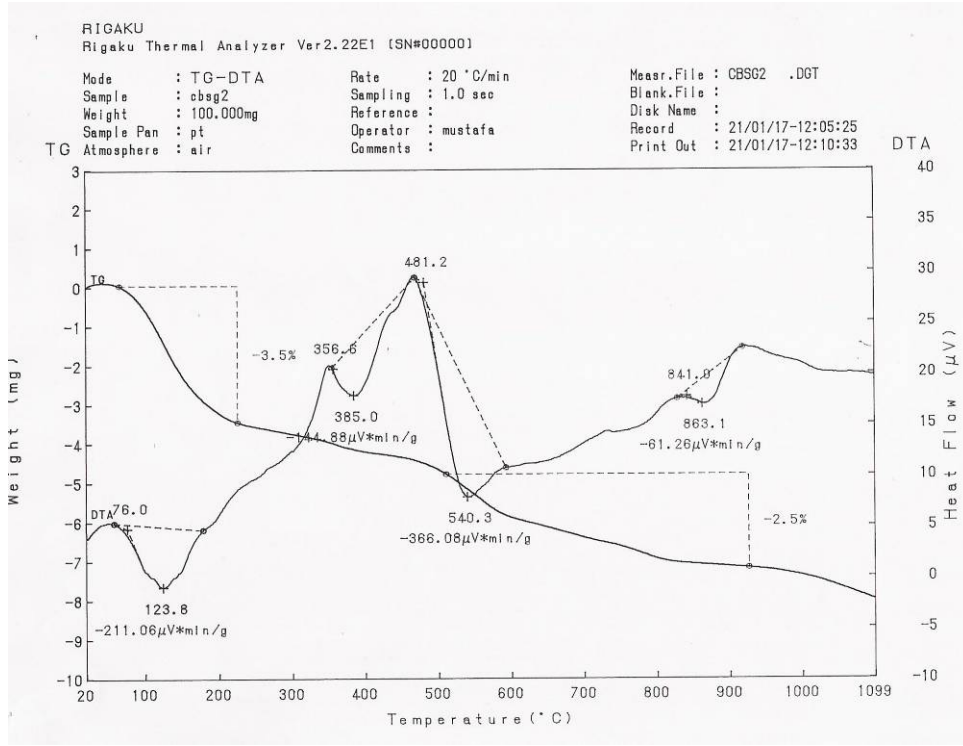
Deneysel çalışmalarda kullanılan ara tip bentonitler Çankırı bölgesinden temin edilirken, Ca- bentonit (SÖMAŞ) İstanbul Silivri bölgesinden temin edilmiştir. Bentonitler ÇANBENSAN SARI, ÇANBENSAN GRİ ve SÖMAŞ bentonitleri olarak temin edildikleri firma adından ve renklerinden faydalanılarak adlandırmışlardır. Deneysel çalışmalar esnasında kullanılan bentonit numuneleri İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı (SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü), MTA/Ankara ve TÜBİTAK/MAM'da X-Işınları kırınımı kullanılarak yapılan mineralojik incelemelerin sonuçları Çizelge 7.1'de verilmiştir. Mineralojik analizlerin gerçekleştirilmesi esnasında optik mikroskopta (CARL ZEISS Jena Citoval 2 binoküler) kullanılmıştır. Çankırı Gri bentonitinin XRD ve TG analiz sonuçları sırasıyla Şekil 7.1 ile 7.2'de, Çanbensan Sarı numunesinin XRD ve TG analiz sonuçları ise sırasıyla Şekil 7.3 ile 7.4'te, Silivri Bentoniti numunesinin XRD ve TG analiz sonuçları ise sırasıyla Şekil 7.5 ile 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.1 Bu çalışmada kullanılan bentonit numunelerinin mineralojik analiz sonuçları

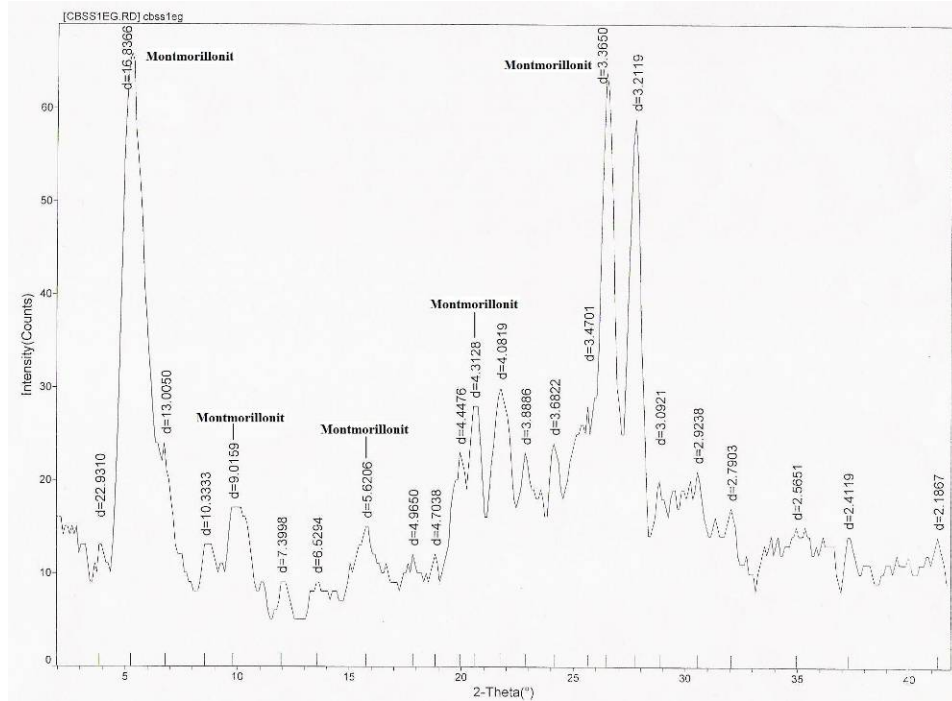
Numune Adı	Mineral Adı	Miktarı %	Genel Kimyasal Formülü
Çankırı Gri	Montmorillonit	55	$\text{Na}_{0,2}\text{Ca}_{0,1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$
	Feldispat	10-15	$(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8/\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Amorf madde	10	-
	Tiridimit	-	-
	Kuvars	10	SiO_2
	Kalsit	5	CaCO_3
	Opal-CT	5-10	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{Al,Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH, F})_2$
Çankırı Sarı	Montmorillonit	50	$\text{Na}_{0,2}\text{Ca}_{0,1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$
	Amorf madde –	10-15	-
	Kuvars	15	SiO_2
	Opal-CT	<5	-
	Feldispat	15	$(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8/\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Jips	5	$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$
	Kalsit	5	CaCO_3
Sömaş	Montmorillonit	70	$\text{Na}_{0,2}\text{Ca}_{0,1}\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_{10}$
	Amorf madde –	5-10	-
	Kalsit	5-10	CaCO_3
	Kuvars	10-15	SiO_2
	Opal-CT	<5	-



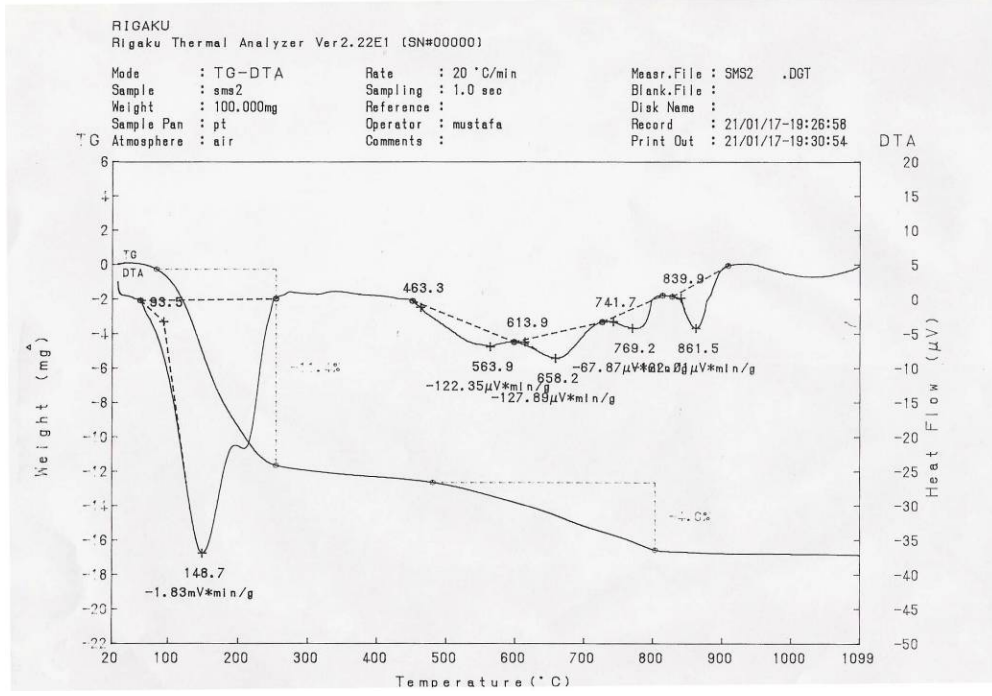
Şekil 7.1 Çankırı Gri Tüvenan Bentonitinin XRD analizi sonucu



Şekil 7.2. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitinin DTA-TG analizi sonucu



Şekil 7.3. Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitinin XRD analizi sonucu



Şekil 7.6. Silivri Tüvenan Bentonitinin DTA-TG analizi sonucu

Örneklerin TG verilerinde; DTA analizindeki ilk endotermik reaksiyona karşılık gelen 25–300 °C arası ağırlık kaybı “dehidrasyon bölgesi” ikinci endotermiğe karşılık gelen 300–800 °C sıcaklık aralığı ise “dehidroksilasyon bölgesi” olarak bilinir. Toplam ağırlık kayıpları genelde % 8–17 arasındadır. Çalışma kapsamında incelenen bentonit örneklerinin DTA verilerinde şu ortak özellikler bulunmaktadır. DTA grafiklerinde ilk endotermik reaksiyonun 130–150 °C arasında olduğu görülmektedir. Çankırı sarı ve gri bentonitlerinde endotermik pik Silivri bentonitine göre daha keskin olarak görülmektedir. Silivri bentonitinde ise endotermik reaksiyon 205–210 °C civarında omuz oluşturmuştur. DTA grafiklerinde görülen bu önemli omuz kalsiyum bentoniti diğerlerinden ayıran en kuvvetli işarettir.

Örneklerin DTA eğrilerinde ilk endotermik pikten sonra, yaklaşık 550 °C’ye kadar belirgin bir iz bulunmamaktadır. Bu sıcaklıktan itibaren yine yaklaşık 700 °C’ye kadar olan sıcaklık aralığında (550–700 °C) örnekler genelindeki ikinci önemli endotermik reaksiyon meydana gelmektedir. Bu reaksiyon; Çankırı Sarı ve Çankırı Gri örneklerinde hemen 550 °C civarında, net ve keskin bir pik olarak belirirken SÖMAŞ örneğinde bu pik 650 °C civarında ve yayvan-düşük şiddetli bir piktir. Örneklerde; 825 °C civarında ekzotermik ve 850–900 °C civarında endotermik reaksiyonlar bulunmaktadır.

Örneklerin genelinde toplam ağırlık kaybı, ortalama %12–24 arasındadır. En yüksek kayıp Silivri bentonitinde iken Çankırı Sarı ve Çankırı Gri Bentonitlerinde daha düşüktür.

TG verilerinde; DTA analizindeki ilk endotermik reaksiyona karşılık gelen ağırlık kayıpları, örnekler arasında, belirgin bir farklılık sergilemektedir. İlk endotermik piklerinin 205–220 °C civarına karşılık gelen bir noktada omuz bulunan Silivri için bu ana endotermik reaksiyona karşılık gelen TG’deki ağırlık kaybı % 11,5–14,5 arasındadır. Oysa bu pikin omuzu bulunmayan diğer örneklerde bu reaksiyon için ağırlık kaybı % 5,9–7,8 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar da TG verilerinin kalsiyum bentoniti diğer tiplerden ayırmakta çok önemli bir belirteç olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

İkinci ana ağırlık kaybı 530–700 °C arasındaki endotermik reaksiyona (reaksiyonlara) karşılık gelmektedir. Bu ikinci endotermiğe karşılık gelen TG’deki kayıp, genellikle % 2,0–4,6 dır. Bu kayıp örneğin, Silivri örneğinde bu endotermik reaksiyon yaklaşık 500–800°C arasına yayılmış ve daha yayvan ve bazıları için birden fazla pik ile kendini göstermektedir. Bu örneklerin TG eğrilerinde de bu kayıplar daha geniş sıcaklık aralığında gerçekleşmiştir. Çankırı Sarı ve Çankırı Gri örnekleri ise bu açıdan iki uç grubun arasındaki özelliktedir. Örneklerde gözlenen, 850-900°C civarındaki endotermik reaksiyonlar için belirgin bir TG-ağırlık kaybı gerçekleşmemiştir.

Çizelge 7.2’de, Çankırı sarı, Çankırı gri ve Silivri bentonitlerinin kimyasal analizleri, ve karakterizasyon sonuçları ise çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Çankırı Gri ve Çankırı Sarı ve Silivri Bentonit Numunelerinin Kimyasal Analizleri.

BİLEŞEN	ÇANKIRI GRİ	ÇANKIRI SARI	SİLİVRİ
	İÇERİK (%)		
	Ham (MTA*)	Ham (MTA*)	Ham (MTA*)
Na ₂ O	2,3	2,5	0,47
MgO	1,9	2,5	3,31
Al ₂ O ₃	17,3	15,6	14,77
SiO ₂	61,9	57,8	51,76
P ₂ O ₅	0,1	0,1	0,16
K ₂ O	0,9	1,1	0,94
CaO	3,0	2,1	3,56
MnO	0,1	0,1	0,11
TiO ₂	0,3	0,7	0,54
Fe ₂ O ₃	3,3	4,9	5,48
A.Z.	7,9	12,5	18,7
Toplam	99,0	99,9	99,9

*MTA Analiz Laboratuvarları, Ankara

Çizelge 7.3. Çankırı Gri, Çankırı Sarı ve Silivri Bentonitlerinin Karakterizasyon Test Sonuçları

Numuneler	Metilen Mavisi Kap. Meq/100 gr	Şişme ml	pH	Fann Viskozite cP (@600rpm) %6 PKO	Su Emme Kap. %
Çankırı Sarı	70,65	15,5	8,73	8,5	154,1
Çankırı Gri	65,20	14,5	9,09	7,0	156,9
Silivri	56,30	7,0	8,62	4,0	142,9

Yapılan kimyasal, mineralojik ve teknolojik testler (viskozite, şişme, katyon değiştirme kapasitesi, su emme kapasitesi) neticesinde deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere alınan, ÇANKIRI SARI ve ÇANKIRI GRİ numunelerinin Ara-Bentonit, SİLİVRİ numunesinin Ca-Bentonit olduğu anlaşılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar ve özellikleri Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri

Kimyasal Adı	Formülü	Mol Ağırlığı (gr/mol)	Safılık	Üretici Firma
Magnezyum Oksit	MgO	40,3	98-100,5	Riedel – de Haen
Magnezyum Hidroksit	MgOH	58,32	>95	Fluka – Chemie
Magnezyum Klorür	MgCl ₂ 6H ₂ O	203,31	99	Fluka – Chemie
Potasyum Klorür	KCl	74,56	>97	Riedel – de Haen
Sodyum Karbonat	Na ₂ CO ₃	124	99,5-100,5	Panreac
Sodyum Hidroksit	NaOH	39,98	99	Fluka – Chemie
Sodyum Klorür	NaCl	58,44	99	Aldrich – Chemie

7.2. Yöntem

7.2.1. Karakterizasyon Testleri ve Teknolojik Testler

7.2.1.1. Tane Boyut Dağılımlarının Belirlenmesi

Tez kapsamında değerlendirilen numuneler üzerinde boyut dağılımı testleri kuru ve yaş olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilmiştir. Ocaktan ya da stoktan getirildiği üzere, orijinal üretim boyutunda olan bentonit numuneleri öncelikle oda sıcaklığında, sonrasında da 60 °C etüv sıcaklıklarında kurutulmuştur. Kuru elek analizi; etüvde kurutulmuş bentonit numuneleri üzerinde, yaş elek analizleri ise, % 6 pülpte katı oranında (PKO) su içerisinde 1 gece boyunca bekletilen ve 2-4 saat pervaneli karıştırıcıda karıştırılan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Karıştırma, numunelerin orijinal boyut dağılımlarının bozulmaması için oldukça düşük hızlarda gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen kuru elek analizi sonucunda saptanan boyut dağılımları Çizelge 7.5’de verilmiştir. Şekil 7.7.’de tane boyut cizhaız görülmektedir.

Çizelge 7.5. Tüvenan Bentonit Numunelerinin Boyut Dağılımları (Kuru Elek Analizi)

BOYUT GRUBU, mm	Silivri	Çankırı Sarı	Çankırı Gri
+19	6,3	3,8	1,1
-19+13	7,5	4,5	3,1
-13+6	19,1	20,3	15,1
-6+3,36	14,1	18,3	15,2
-3,36+2,0	14,5	15,7	16,6
-2,0+1,0	18,1	18,0	22,2
-1,0+0,595	6,3		
-0,595+0,150	11,4	19,4	26,7
-0,15	2,5		
TOPLAM	100,0	100,0	100,0

7.2.1.2. Nem/Rutubet Analizleri

Rutubet, kilin bünyesinde fiziksel olarak tuttuğu ve 100–110 °C 'ye ısıtıldığı zaman bünyeden uzaklaşan suyun % değer olarak ifadesidir. Bentonitin sahip olduğu rutubetin belirlenmesinde kullanılan yöntem farklılıklar göstermekle beraber genel olarak; 100–110 °C 'de 2 saat bekletilme sonrası oluşan ağırlık kaybının % olarak kaydedilmesi şeklindedir.

Nem analizleri aşağıda verilen nem yüzdesi formülü ile belirlenmiştir.

$$Nem, \% = \frac{W_{ilk} - W_{son}}{W_{ilk}} \times 100$$

Burada W_{ilk} , numunenin kurutma öncesindeki ağırlığını (gr), W_{son} kurutma sonrası ağırlığını (gr) ifade etmektedir.



Şekil 7.7. Fritsch Marka Boyut Ölçüm Cihazı

7.2.1.3. Şişme Testi Yöntemi

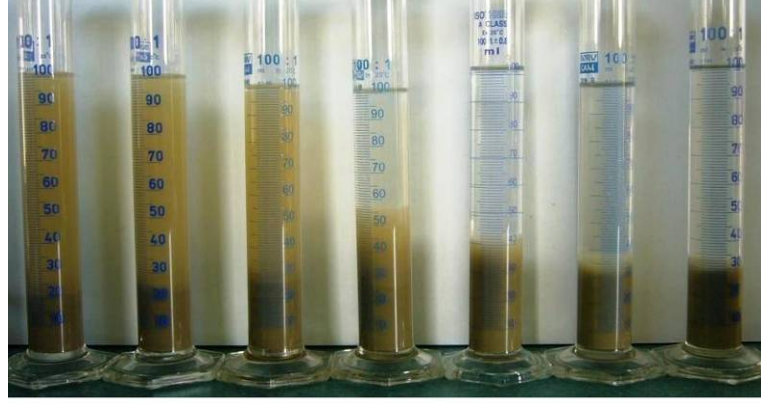
Bentonitin bünyesine fiziksel su alması ve kristal yapısının C ekseninde genişlemesine şişme adı verilir. Bentonit kendi ağırlığının 5–20 katı kadar su adsorbe edebilme özelliği nedeni ile yüksek şişme özelliği göstermektedir. Şişme testi farklı yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bentonit numunesinin şişme özelliğini belirlemek için aşağıdaki yöntem kullanılmıştır.



Şekil 7.8. Precisa XM60 Halojen Kurutucu

Halojen kurutucuda (Şekil 7.8.) 105° C’ de nemi alınmış -150 µm öğütülmüş bentonit numunesinden 2 gr alınarak küçük bir kaba boşaltılır. 100 ml’lik mezür hazırlanarak içerisine

100 ml saf su koyulduktan sonra numune yavaş yavaş beslenir. Burada dikkat edilecek en önemli husus malzemenin bir anda mezürün içine dökülüp topaklanmasını engellemektir. Besleme işi bittikten sonra bentonit numunesinin tipine göre (kolay çöken/çökmeyen) 2–24 saat beklenir ve şişmiş olan bentonitin hacmi okunur (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Şişme Testi

7.2.1.4. Kasyon Değişirme Kapasitesi (KDK-Metilen Mavisi Testi) Yöntemi (ASTM-837C)

Kil mineralleri bazı kasyon ve anyonları absorbe ederek bu kasyon ve anyonları değişebilen durumda tutarlar, bunlar değişebilen iyonlardır. Kilin değişebilir iyonları silika – alümina tabaka yapısının aralarında ve uçlarında yer alırlar, iyon değişimleri silika – alümina yapısına etki etmez. Değişebilen kasyonlar genellikle Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , H^+ , Al^{+3} , NH_4^+ ve Li^+ dir [88].

Kasyon değişim kapasitesi testi için gerekli aletler: 500 ml'lik beher, 3 ml'lik şırınga, % 3'lük H_2O_2 , 5 normal H_2SO_4 , 250 ml'lik erlenmayer, ısıtıcı manyetik karıştırıcı, cam çubuk, Sartorius 392 marka filtre kâğıdı, metilen mavisi ($C_{16}H_{18}N_3SCl.3H_2O$), saf su ve dijital mezürdür.

Bu test için API (American Petroleum Institute)'un standartlarından yararlanılmıştır. Bir şeyl veya çamur numunesindeki aktif kil miktarının belirlenmesi amacıyla yapılır. Test için pülp te katı oranı % 6 olacak şekilde 1,571 gr öğütülmüş bentonit numunesiyle, 25 ml saf su yaklaşık 10 dk karıştırılır. Hazırlanan karışımdan bir şırınga yardımıyla 3 ml çekilir ve önceden içerisine 15 ml % 3'lük H_2O_2 , 0,5 ml 5 normal H_2SO_4 ve 10 ml saf su eklenmiş erlenmayer içine boşaltılır. Erlenmayer içindeki karışım, yaklaşık 10 dk ısıtıcı manyetik karıştırıcı üzerinde sıcaklık çok yüksek olmayacak şekilde ve yavaş devirde karıştırılıp kaynatılır. Kaynadıktan

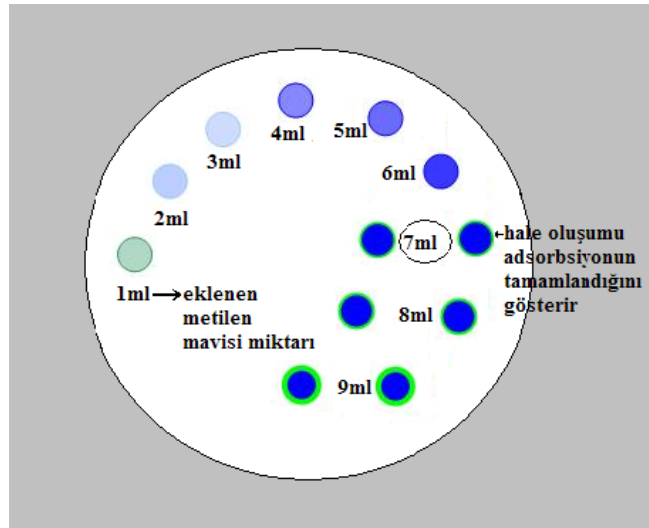
sonra erlenmayer karıştırıcı üzerinden alınır ve oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Sonrasında hacmi 50 ml'ye tamamlanır. Soğumuş karışımın üzerine önceden hazırlanmış metilen mavisi (3,20 gr metilen mavisi ve 1000 ml 10^{-2} mol/lit saf su) karışımından dijital mezur yardımıyla 1 ml eklenir ve karıştırıcı üzerinde 1 dakika karıştırılır. Daha sonra karışımdan cam çubuk yardımıyla 1 damla alınıp Sartorius 392 Filtre kağıdının üzerine damlatılır. Damla etrafında mavi bir hale oluşmamışsa 1 ml daha metilen mavisi karışıma eklenir ve 1 dk daha karıştırılır. Tekrar cam çubukla bir damla alınır ve kağıda damlatılır. Bu işleme damlatılan damlanın etrafında mavi hale oluşana dek devam edilir. Mavi hale oluşuktan sonra harcanan metilen mavisi miktarı bulunup aşağıdaki kation değişim kapasitesi hesabı yapılır. Metilen Mavisi/Kation değiştirme testi deney düzeneği Şekil 7.10'da verilmiştir.

Kation değişim kapasitesi (KDK) 100 gr kuru numune için harcanan metilen mavisine eşdeğer miliequivalent (meq) Na^+ 'dur. 1 ml metilen mavisi de 0,01 meq'e eşittir. Şu halde yapılan deneyde kullanılan bentonit miktarını hesaplamak gerekir.

3 ml'lik numunenin alındığı karışımda 25 ml su ve 1,57 gr bentonit kullanıldı ve bentonitin hacmi yaklaşık yoğunluğu olan $2,4 \text{ gr/cm}^3$ 'e bölünerek 0,654 ml bulunur. Toplam hacim 25,654 ml olur ve 25,654 ml'de 1,571 gr bentonit varsa 3 ml'de $(3 \times 1,57)/25,654 = 0,1836$ gr bentonit olduğu hesaplanır. Deneyde harcanan metilen mavisi miktarı da 100'e bölünerek eşit olduğu meq Na^+ hesaplanır. Bulunan bu meq Na^+ değeri 0,1836 gr bentonit için olduğundan 100 gr bentonit için olan değeri hesaplamak gerekir. Bu da hesaplanan meq Na^+ değerinin 100 ile çarpılıp 0,1836'ya bölünmesiyle bulunur ve bulunan değer numunenin kation değiştirme kapasitesidir.



Şekil 7.10. Metilen Mavisi testi (Kasyon değiştirme Kapasitesi Tayini) Düzeneği



Şekil 7.11. Metilen Mavisi Örneği

7.2.1.5. Viskozite Ölçümleri

Reolojik özelliklerin belirlenmesi aşamasında, Şekil 7.12'de resmedilen Arçelik Blender kullanılarak bentonit-su süspansiyonları hazırlanmış ve hazırlanan karışımların viskoziteleri FANN viskometre (Şekil 7.13) ve Brookfield DV-II (Şekil 7.14) Viskometresi kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçümlerde kullanılan aletler;

- Fann Viskozimetresi
- Brookfield DVII
- pH Ölçer

Ölçüm şartları

- Katı Konsantrasyonu : %6
- Karıştırma Süresi : 10 dakika 11000 d/d

Tek ve çok değerlikli katyonların değişen konsantrasyonlarında toplam 350 cc.'lik pülpte katı oranı %6 olacak şekilde 22,5 gr. Kuru öğütülmüş malzemeye çözelti hazırlanır. Hazırlanan malzeme 11000 rpm hızındaki "Arçelik Blender" ile 10 dakika karıştırıldıktan sonra "Fann" marka viskozimetre yardımıyla önce 600 d/d sonra 300d/d 'da çalıştırılarak viskozite değerleri okunur. Daha sonra aynı numune Brookfield viskozitesine konarak değişik devirlerde viskoziteleri okunur. Değerler okunduktan sonra ise malzemenin pH'sı ölçülür. Malzeme 24 saat bekletilip 5 dakika karıştırma işlemi yapıldıktan sonra tekrar viskozitesi ölçülür. Plastik ve Görünür olmak üzere 2 çeşit viskozite vardır. Görünür viskozite 600 d/d 'da bulunan değer ikiye bölünmesiyle elde edilen değerdir. Plastik viskozite ise; 600 d/d ve 300 d/d değerlerinin farkından hesaplanır.



Şekil 7.12.Arçelik Marka Blender



Şekil 7.13. FANN 35SA Model Viskozimetre



Şekil 7.14. Brookfield RVDV-II Plus Model Viskozimetre

7.2.1.7. Filtrasyon Kaybı

Filtrasyon deneyleri ise Şekil 7.15'de verilen ve yardımcı ekipmanları Şekil 7.16'da gösterilen, 100 psig (yaklaşık 6,8 bar) basınçla çalışan çalışan FANN filtrasyon cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.15. FANN Filtrasyon Kaybı Ölçüm Cihazı

Ölçümlerde kullanılan aletler;

Fann Filtre Presi

Ölçümler viskozite ölçümlerinde kullanılan ve 24 saat bekletilen numune ile yapılmıştır.

Belirtilen şartlarda 24 saat bekletilip viskozite ölçümleri yapılan numune pH'sı tespit edildikten hemen sonra filtre presi hücrelerine yerleştirilir. 100 psi basınç altında 30 dakika beklenerek hücre altından çıkan süzüntü toplanır ve kaydedilir. 7.5 ve 30. dakika sonunda toplanan süzüntü hacmi okunarak kaydedilir ve bunların toplamı su kaybını verir.



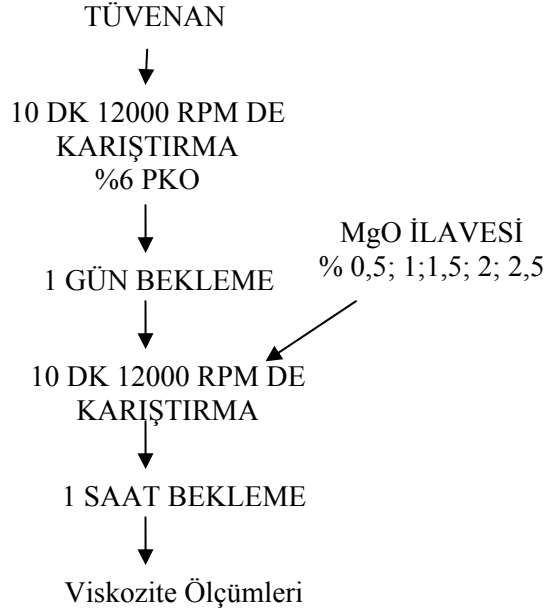
Şekil 7.16. Filtrasyon Kaybı Ölçüm Cihazı Silindir İçi Kullanılan Yardımcı Ekipmanların Görünüşü

7.2.2. Aktivasyon Testleri

Aktivasyon çalışmaları soda ve MgO gibi anorganik katkı maddeleri ile yaş ve kuru olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon testlerinde kullanılan bentonitin boyutu -150 µm dir.

7.2.2.1. Yaş Aktivasyon

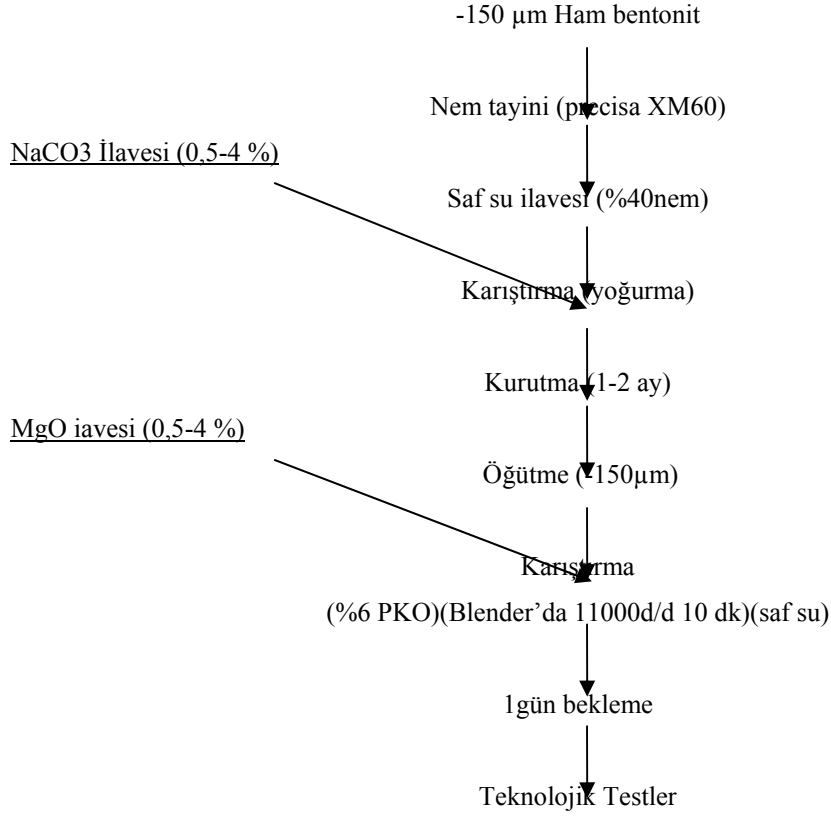
Bentonit numunesi %6 PKO'da hazırlayarak mikser'de 10 dk 11850 d/d karıştırdıktan sonra bir gün bekletilmiştir. Bekletmenin nedeni, bentonit su ile temas ettiği zaman, tabakalar arası mesafenin su moleküllerinin girmesi ile açılarak bentonit tanesinin şişmesini sağlamaktır. Bir gün sonunda değişik miktarlarda MgO ilave edilerek tekrar mikser'de 10 dk 11850 d/d'da karıştırılmış ve viskozite değerleri alınmıştır. Yaş aktivasyon deneylerinde aktive edici olarak hafif MgO kullanılmıştır. Tüm viskozite ölçümleri Brookfield viskozimetre ile 100 rpm'de alınmıştır. Yaş aktivasyon çalışmaları Şekil 7.17' de gösterilen akış diyagramı takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Yaş aktivasyonu takiben teknolojik testlerden sadece viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.17. Çankırı Sarı Tüvenan Numunesinin Yaş Aktivasyon Akım Şeması (Brookfield DV-II 100 rpm S21 Spindle)

7.2.2.2. Kuru Aktivasyon

Orijinal nemi %10 olan bentonit soda ve MgO ile kuru olarak aktive edilmiştir. Kuru aktivasyon işleminde öncelikle bentonit numunesi su spreyleme ve karıştırma yöntemi ile % 40 neme getirilmekte ve daha sonra soda ilave edilerek hamur karıştırma makinesi vasıtasıyla 15-20 dakika süre ile harmanlanmakta, harmanlama sonrasında 1-2 cm'lik topaklar haline getirilmekte ve daha sonra açık havada 2-3 ay süre ile kurumaya bırakılmaktadır. Kuruma sonrasında aktiflendirilmiş numuneler agat havan vasıtasıyla -150 µm boyutuna getirilmekte ve testlere tabii tutulmaktadır (Şekil 7.18). MgO ilavesi ise % 10 neme sahip bentonitlere yapılmakta ve yine aynı süreçte kurutmaya alınmaktadır. Kurutma esnasında numuneler belirli aralıklarla harmanlanmaktadır. Aktivasyon sonucu elde edilen ürünler TS 5360 ve TS 11250 standartlarına göre; şişme, viskozite ve filtrasyon kaybı gibi teknolojik testlere tabii tutulmaktadır. Sondaj bentoniti olarak kullanım açısından bir bentonit/bentonit süspansiyonundan (% 6 PKO) beklenen özellikler; şişme değerinin ve viskozite değerlerinin sırasıyla 22 ml ve 30 teta'nın (okuma değeri: 15 cP) üzerinde olması ve filtrasyon kaybı değerinin ise 15 ml'nin altında olmasıdır. Bunun yanı sıra, plastik viskozite ve akma noktası/plastik viskozite değerinin de belli değerlerde olması gereklidir.



Şekil 7.18. Kuru Aktivasyon Akım Şeması

7.2.2.3. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Aktivasyon işlemi sonunda elde edilen viskozite, şişme ve filtrasyon kaybı sonuçlarının yorumlanması ve soda ile MgO in etki mekanizmasının açıklanmasına yönelik olarak pH ölçümleri ve zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Aktivasyon çalışmalarının her aşamasında Orion Digital pH/mV model pH ölçer (Şekil 7.19) ile süspansiyonların karıştırma sonrası ve bir gün bekleme sonrasında pH ları ölçülmüştür.

Zeta potansiyeli ölçümleri için bentonit süspansiyonu filter press yöntemi ile filtre edilerek 40 – 45 ml supernatant sıvısı elde edilmiş ve içine çok az bir miktarda bentonit parçacıkları atılmış ve ölçümler bu şekilde yapılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümlerinde Zeta Meter 3.0 (Şekil 7.20) kullanılmış ve mikroprocessor ünitesinde yapılmıştır [89]. Bununla beraber zeta potansiyeli ölçümleri öncesi spesifik iletkenlik ölçümleri de yapılmıştır.



Şekil 7.19. Orion Digital pH/mV metre



Şekil 7.20. Zeta Meter 3.0

8. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Bentonitin başlıca kullanım alanlarından birini su bazlı (sondaj çamuru ve boya katkı malzemesi) malzeme üretimi oluşturmaktadır. Sondaj veya boya katkı maddesi olarak en çok

sodyum bentonit kullanılmakta, ara bentonitler ise daha çok uygun katkı maddeleri ile aktiflendirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. Sıkça kullanılan katkı maddeleri arasında soda, MgO ve CMC-Na gibi kimyasallar örnek olarak verilebilir. Her ne kadar su bazlı boya katkı malzemesi olarak bentonit kullanıldığında, hidroksi etil selüloz gibi organik kimyasalların kullanımı yaygın olsa da, sondaj çamuru olarak kullanılacak bentonitte, selüloz tipi organik katkıları, özellikle sıcaklık ve basıncın yüksek olduğu derin sondaj işlerinde kolay bozunmalarından dolayı tercih edilmemektedir. Bu amaçla bu çalışmada daha çok ara bentonitler ve Ca bentonit üzerinde olmak üzere, soda ve MgO ile gerek bireysel ilaveli gerekse bu iki kimyasalın kombinasyonu denenerek, detaylı aktivasyon çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan bentonit numuneleri ve aktivasyon sonuçları ve bu sonuçları destekleyen diğer çalışmalar çalışmanın bu kısmında grafikler ve eklerle verilerek yorumlanmıştır.

Deneyel çalışmalar yaş aktivasyon deneyleri ile başlatılmış, ancak başarılı sonuçlar alınamaması nedeniyle kuru aktivasyon deneylerine geçilmiştir. Yaş aktivasyon sonuçları viskozite ölçümleri ile değerlendirilirken, kuru aktivasyon sonuçları viskozite, şişme testleri ve filtrasyon kaybı gibi teknolojik testlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların yorumlanması ve mekanizmaların aydınlatılması için ise pH ölçümleri ve elektrokinetik ölçümler yapılmıştır.

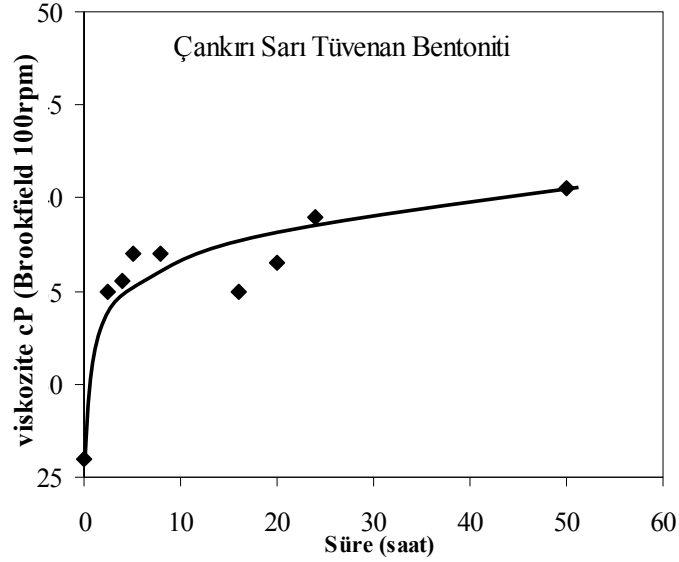
8.1. Yaş Aktivasyon Deneyleri

Yaş aktivasyon deneylerinde Çankırı Sarı bentoniti kullanılırken, aktive edici olarak MgO light kullanılmış ve Şekil 7.17'de verilen akım şemasında görüleceği gibi bentonit süspansiyonu saf su ile %6 PKO'da karıştırılmış, 1 gün bekledikten sonra MgO ilave edilerek aktifleştirilmiş, ve viskozite testleri yapılmıştır. Tüm viskoziteler Brookfield viskozimetre ile 21 numaralı spindle kullanılarak 100 rpm'de ölçülmüştür. Saf su kullanılarak süspansiyon hale getirilen Çankırı – sarı tüvenan bentonitinin karıştırma süresinin ve karıştırma hızının viskoziteye etkileri incelenmiştir (Ek 8.1). Burada karıştırıcı olarak yüksek devirli mikser seçilmiştir.

Ek 8.1.'de yapılan deneyler sonucunda 10 dk. 11850 d/d'nın ideal karıştırma süresi olduğu görülmüştür. Burada sıcaklık 27.5 °C'dir ve daha yüksek devirlere çıkıldıkça, süre de uzadıkça sürtünme kuvveti ve blender motorundan gelen ısı nedeni ile numunelerin sıcaklığının 30 °C'yi geçtiği görülmüştür. Bu deneylerde sıcaklık parametresi incelenmediğinden dolayı yüksek devirlere ve sürelerle çıkılmanın bu bölümde gereksiz olduğu görülmüştür. Düşük devirlerin ve sürelerin viskozite üzerinde istenilen etkiyi yapmadığı görülmüştür. Numuneler 24 saat bekletildikten sonra tekrar viskoziteleri ölçülmüştür. (Ek 8.2.)

8.1.1. Bekleme Süresinin Tayini:

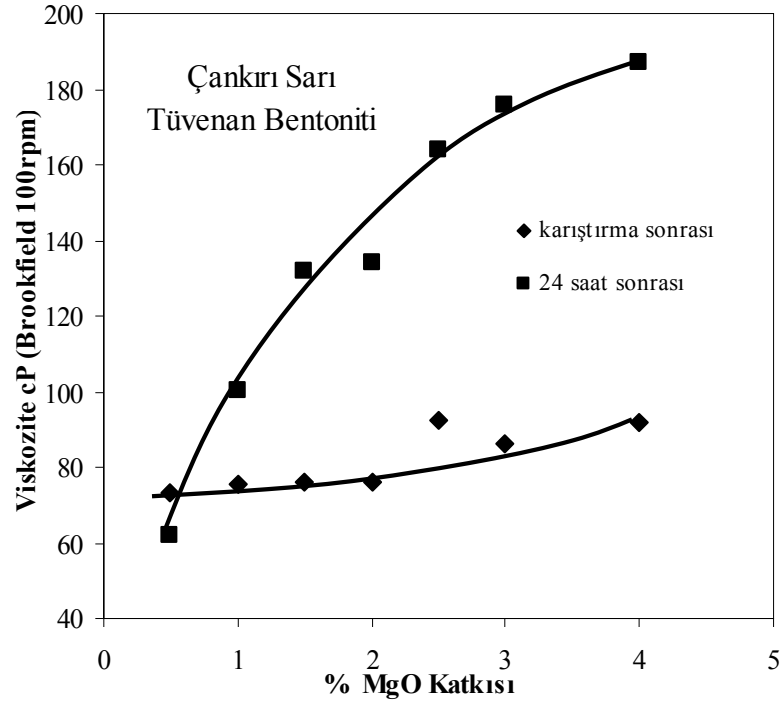
Bentonitin su içerisinde beklediği süre boyunca tabakaları arasına su alması ve zamanla şişmesi, bunun sonucunda da viskozite üzerinde oluşan etkinin ne derece olduğunun gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Bu deneylerde bentonit numuneleri 11850 d/d 'da 10 dakika mikser'de karıştırılmıştır. Ölçümler brookfield viskozimetresi 21 nolu spindle ile 100 rpm'de yapılmıştır. Bekleme süresinin viskoziteye etkisi Ek 8.3 ve Şekil 8.1'de verilmiştir. Ek 8.3 ve Şekil 8.1 incelendiğinde artan bekleme süresi ile viskozitenin arttığı görülmektedir. Özellikle 24 saatlik bekleme sonunda viskozite değeri yaklaşık 40 cP (100 rpm) değerine ulaşmıştır. Bu sonuç aktivasyon için belirli bir bekleme süresinin gerekli olduğunu göstermektedir.



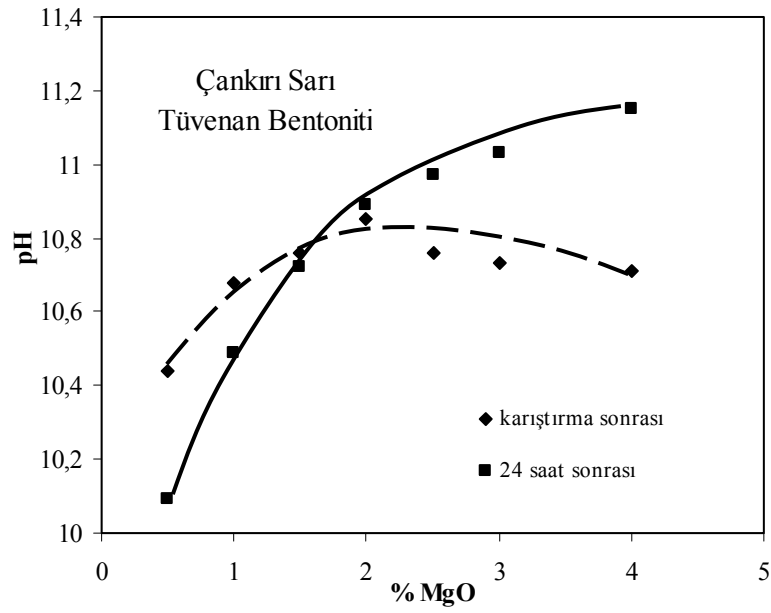
Şekil 8.1. Bekleme Süresinin Viskozite Üzerindeki Etkileri

8.1.2. Bentonit Süspansiyonuna Eklenecek MgO Miktarının Belirlenmesi:

Bekleme süresi çalışmasının neticesinde MgO miktarını tayin etmek için yapılan aktivasyon çalışmaları, Çankırı-Sarı ham numunesi ile %6 PKO'da süspansiyon olarak hazırlanmış ve mikser'de 11850 d/d, 10 dk karıştırıldıktan sonra 1 gün bekletildikten sonra yapılmıştır. Bekleme süresinde etkisinin görülmesi için çalışmalar karıştırma sonrasında ve 1 gün sonunda değişik miktarlar (%0,5-4) MgO ilave edilerek tekrar mikser'de 10 dk 11850 d/d'da karıştırılarak hazırlanan süspansiyonun viskozite ve pH değerleri alınmıştır. (Ek 8.4 - 8.5 ve Şekil 8.2-8.3)



Şekil 8.2. MgO katkısının viskozite üzerine etkileri

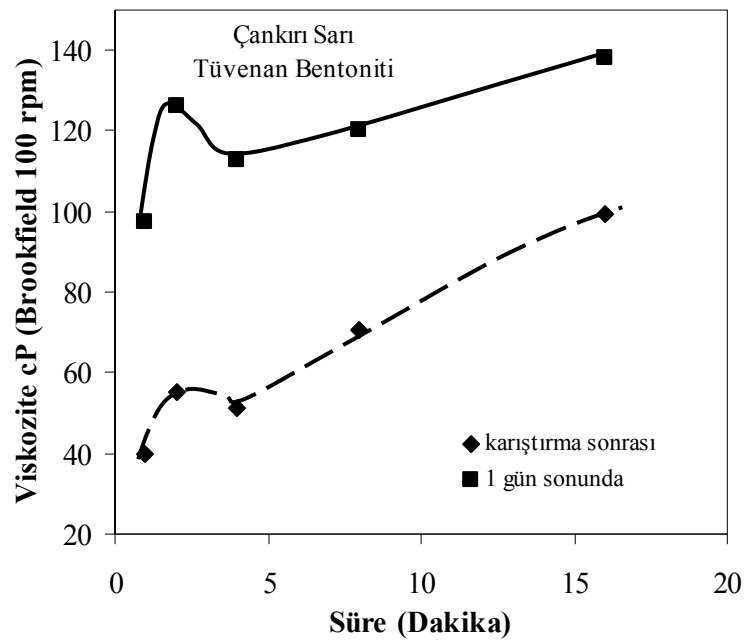


Şekil 8.3. Bentonit Süspansiyonlarında MgO miktarının, pH Üzerindeki Etkisi

Şekil 8.2 ve 8.3'teki verilerden yola çıkarak, %1.5'dan daha küçük oranda MgO ilave edildiğinde 24 saat sonra, bentonitin bufer özelliği göstermesi nedeniyle pH düşmekte ve bu nedenle de viskozitede düşmektedir. Bundan dolayı, bu aşamadan sonra yapılan deneylerde MgO değeri %1.5 olarak alınmıştır.

8.1.3. MgO Katkısı Varlığında Optimum Karıştırma Süresi:

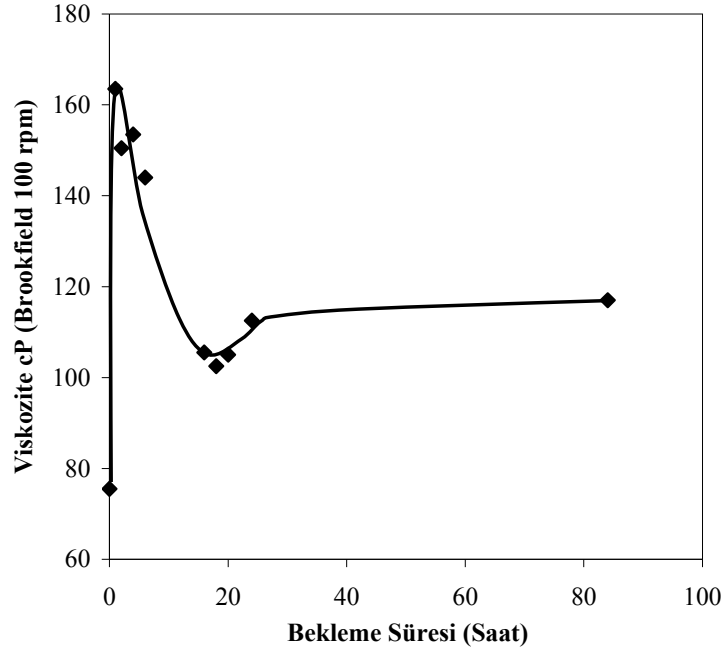
Suda açılarak bir gün bekletilen bentonit – su süspansiyonuna %1.5 MgO ilavesi ile optimum karıştırma süresi tespit edilmiştir. Karıştırmanın ilk dakikalarında viskozite üzerinde etkisi görülmemiş ancak, karıştırma süresi arttıkça bentonit tanelerinin suda daha iyi dağıldığı ve mikser'in kesme etkisinden dolayı bentonit tanelerini parçalayarak ortamdaki serbest tabaka sayısı artışı nedeni ile ve buna bağlı olarak ağ yapıdaki artış nedeni ile tanecikler arasında hapsedilen su artışına paralel olarak viskozitede artış görülmüştür [90].



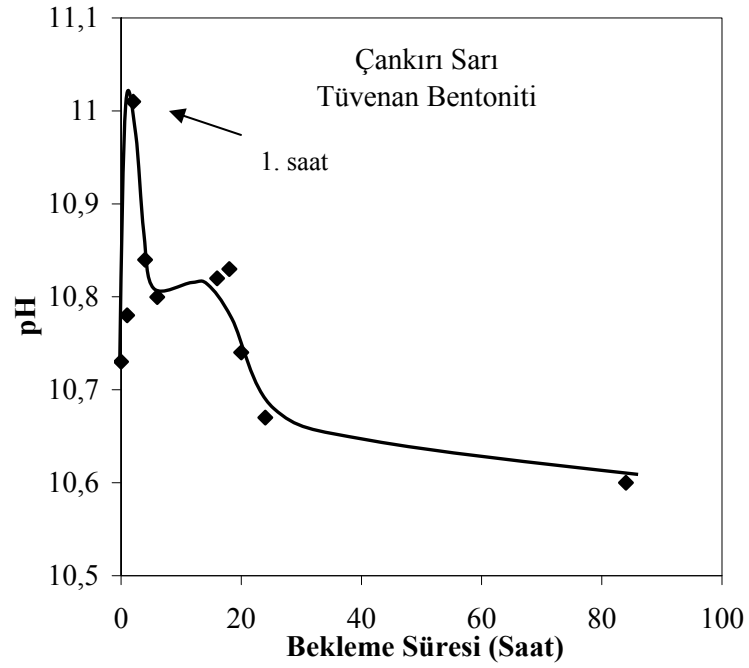
Şekil 8.4. MgO ile Yaş Olarak Aktive Edilmiş Bentonitin Mikser'de Karıştırma Süresine Bağlı Viskozite Değişimi

8.1.4. Bekleme Süresinin MgO İlave Edilmiş Bentonit Sistemleri Üzerine Etkileri

Daha önceden su ile muamele edilerek açılan Çankırı Sarı ara bentoniti bir gün bekletildikten sonra içine katı miktarının %1.5'i kadar MgO ilave edilerek 10 dk. 11850 d/d mikser'de karıştırılmış ve ardından bekleme süresine bağlı deneyler yapılmıştır.



Şekil 8.5. MgO İlavesinin Bentonit Süspansiyonunun Viskozitesi Üzerine Olan Etkisinin Zamana Bağlı Olarak Değişimi.

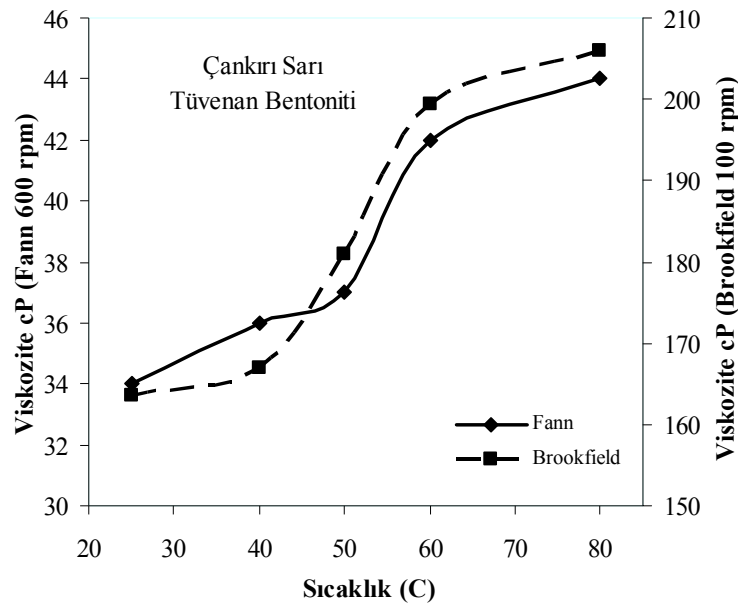


Şekil 8.6. MgO'in Bekleme Süresinin pH Üzerine Etkileri

Şekil 8.5. ve 8.6.'dan de anlaşılacağı gibi 1. saatte viskozite en yüksek değerini vermiş ve 24 saat sonunda sabitlenmiştir.

8.1.5. Sıcaklığın MgO İlave Edilmiş Bentonit Sistemleri Üzerine Etkileri:

Bilindiği gibi ısı aktivasyonu uygulanan bentonitlerde tabakalar arası mesafe daha fazla açılmakta, ve bu yüzden bentonit tabakaları arasına su geçişi artarak bentonit süspansiyonunun viskozitesi artmaktadır. MgO'in çözünürlüğü de sıcaklık etkisi ile artmaktadır. Bunun sonucunda da viskozite üzerinde kayda değer artışlar görülmektedir. Burada çalışma sisteminde farklı olarak kil+su sistemi manyetik karıştırıcıda farklı sıcaklıklarda karıştırılmıştır. İstenilen sıcaklığa getirilen süspansiyon 30 dk. daha aynı sıcaklıkta sabit bir şekilde karıştırılmaya devam edilmiştir. Daha sonra manyetik karıştırıcıdan alınan bentonit süspansiyonu blendır'a konularak 10 dk 11850 d/d mikser'de karıştırılmış 1 saat beklenip üzerine katının %1.5'i kadar MgO ilave edilerek tekrar 10 dk 11850 d/d mikser'de karıştırılmıştır. Bunun sonucunda 1 saat bekleme süresinden sonra viskozite ölçümleri brookfield viskozimetresinde SC-4 21 numaralı spindle ve Fann viskozimetresi ile yapılmıştır. Burada viskozite ve pH ölçümleri alınmadan önce numune soğutularak oda sıcaklığına getirilmiştir.



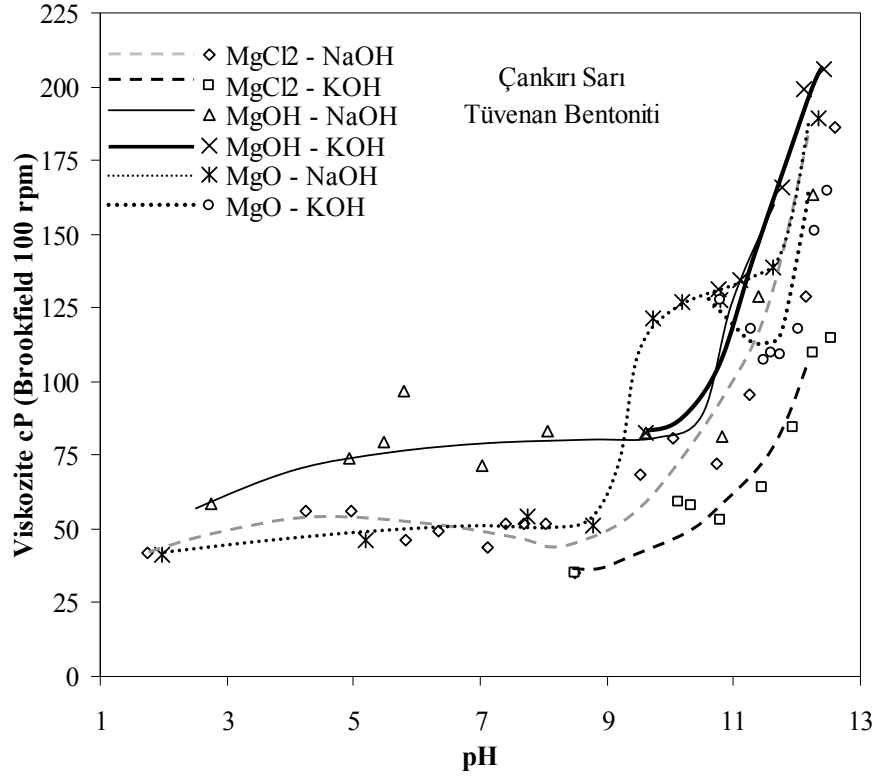
Şekil 8.7. Süspansiyon Sıcaklığının Viskozite Üzerine Etkisi

Yukarıda da belirttiğimiz gibi süspansiyon sıcaklığı arttıkça viskoziteninde arttığı gözlenmiştir. Ancak pek çok çalışmanın yapıldığı oda sıcaklığında (20-30 C⁰) viskozite değişimi

marjinal kalmıştır. 80 C⁰'nin üzerine çıkılmamasının nedeni daha yüksek sıcaklıklarda bentonitin yapısının bozulma eğiliminden kaynaklanmaktadır.

8.1.6. Na, Mg, K Esaslı Katkıların Bentonit Üzerindeki Etkileri

Yarı alkali ve toprak alkali bentonitlerin Na Mg ve K iyonları ile aktivasyonu sonucu bu katyonların bentonit ara tabakalarına girerek tabakaları açabileceği ve viskoziteyi iyileştirerek ara tip bentonitlerin sondajda kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu düşünceden hareketle Çankırı Sarı numunesi ile değişen pH'larda MgCl₂, MgO ve MgOH ile NaOH ve KOH varlığında süspansiyonlar hazırlanarak en iyi viskozite geliştirici inorganik bileşik tespit edilerek çalışmalara yön verilmiştir (Ek 8. 10. ve Şekil 8.8.). Deneylerde -150 µm Çankırı Sarı tüvenan numunesi kullanılmış, ortam katı konsantrasyonu %6 PKO'ya getirilmiş ve viskozite ölçümleri Brookfield viskozimetresinde S21 numaralı spindle ile yapılmıştır. Yaş aktivasyonda bahsedilen prosedüre uygun şekilde numune hazırlanması yapılarak prosedür bitiminde pH ayarlamaları HCl, KOH ve NaOH ile yapılarak çok hızlı bir şekilde viskozite ölçümleri alınmıştır.



Şekil 8.8. Çankırı Sarı Bentonitinin MgO, MgOH ve MgCl₂ ile Yaş Aktivasyonu Sonucunda Elde Edilen pH'ya Bağlı Viskozi Değişimleri (Asidik pH HCl ile Ayarlanmıştır.)

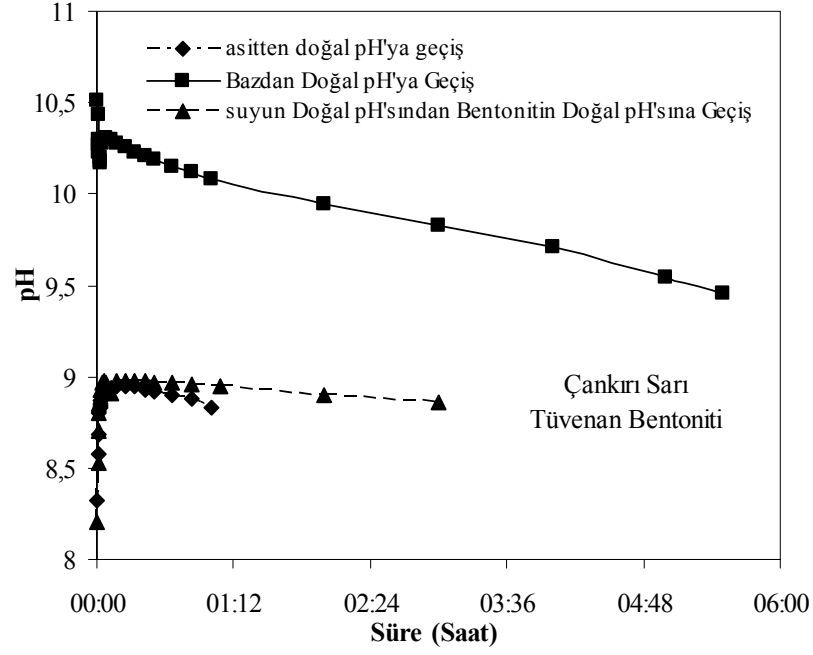
Yaş aktivasyon ile yapılan çalışma sonunda Şekil 8.8 'de görüldüğü gibi $MgCl_2$ 'li bentonit süspansiyonuna NaOH ilavesi ile elde edilen viskozite KOH ilavesi ile elde edilen viskoziteye göre dahayüksek olduğu bulunmuştur. Bunun bir nedeni Na iyonlarının bentonitin yapısındaki Ca iyonları ile K iyonuna göre daha kolay iyon değiştirmesi ile açıklanması mümkündür. MgOH'li bentonit sisteminde ise, KOH ve NaOH ilavesinde pH 9'a kadar aynı viskoziteri sergilerken bu pH'nın üzerine KOH ilavesi NaOH'e göre viskoziteyi arttırmaktadır. Bunun nedeni sistemde bol miktarda OH^- iyonundan dolayı su moleküllerinin bentonit tabakalarının kenarlarına tutunarak suyu hapsetmesi ile ağ yapı oluşturmaya viskoziteyi arttırdığı önerilmektedir. MgO ile aktifleştirilmiş bentonitde NaOH ilavesi ile viskozitede istikrarlı bir yükseliş gözlemlenmiş, KOH'da ise viskozitede ani düşüş ve daha sonra tekrar yükselme gözlemlenmiştir. Tüm bu olaylar Na ve K iyonlarının iyon değiştirmedeki etkinlikleri ve bunun ağ yapıya yansması şeklinde açıklanmaktadır. Sonuçların daha iyi yorumlanması için iyon selektif elektrotlarla Na, Mg, ve K iyon analizlerinin yapılması zaruridir.

Literatürde ara tip ve Ca Bentonitlerin inorganik aktivasyonunda Soda yaygın bir şekilde kullanılırken MgCl, MgO ve MgOH inde viskozite geliştirici olarak kullanıldığı bilinmektedir [80, 95]. Hem literatür verileri hem de Şekil 8.8' de elde edilen bilgiler neticesinde; aktivasyon çalışmaları MgO ve soda ile ayrı ayrı ve birlikte gerçekleştirilmiştir. Soda ve MgO'in birlikte kullanılmasının diğer bir nedeni de alkaliteyi uygun bir seviyede tutmaktır. Çinku (2008) yaptığı çalışmada NaOH'in viskoziteyi MgO'e oranla daha fazla arttırdığını gözlemlemiş ancak pH'nın da aşırı derece artması hiper alkali şartlara ulaşmasına neden olmuştur. Su bazlı ticari ürünlerin pH aralıklarının 9,5-11,0 seviyelerinde olduğu dikkate alındığında NaOH ile aktivasyonun tek başına uygulanabilir olamayacağı anlaşılmıştır. Ortamdaki OH^- iyonlarının alkaliteyi artırması, Cl iyonlarının da asidik şartların oluşmasına sebep olması nedeniyle çalışmalarda MgO ile birlikte Na_2CO_3 (soda) aktive edici inorganik olarak kullanılmıştır.

8.1.7. Bentonitin Bufer Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi

Çankırı Sarı ara bentonitin bufer özelliğini belirlemek için üç deney yapılmıştır. Burada amaç, bentonit suya konulduğunda denge pH'sına ulaşmak için geçen sürenin belirlenmesidir. Deneylede %6 PKO'da çalışılmış, karıştırma manyetik karıştırıcıda yapılmıştır. Asit olarak %1 HCl (0,45cc pH'ı 3'e getirmek için yetmiştir), baz olarak 1M KOH (1.5cc pH'ı 11'e getirmek için yeterlidir) ve saf suyun doğal pH'sında ayrı ayrı üç deney yapılmıştır.

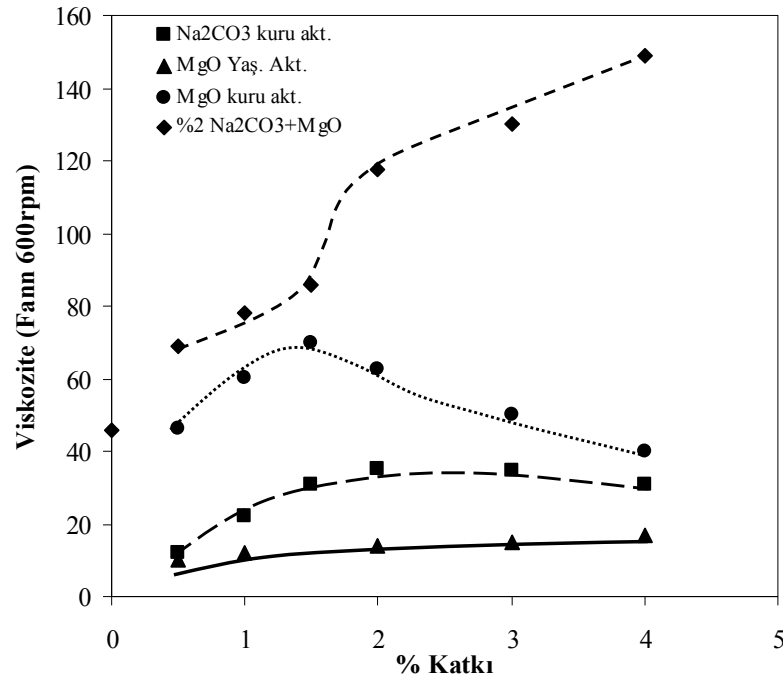
Görüldüğü üzere, başlangıç pH'sı 3'e getirilmiş bentonit süspansiyonu 10 dakika gibi kısa bir sürede dengeye ulaşırken başlangıç pH'sı 11'e ayarlanmış süspansiyon 6 saatte bile dengeye ulaşmamaktadır.



Şekil 8.9. Bentonitin Bufer Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi

8.2. Kuru Aktivasyon Deneyleri

Yapılan yaş aktivasyon denemeleri ile başarılı sonuçlar alınamaması nedeniyle kuru aktivasyon deneylerine geçilmiştir. Şekil 8.10 da Çankırı- Sarı bentoniti kullanılarak MgO'in viskoziteye etkileri grafiksel olarak verilmek suretiyle iki yöntemin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 8.10. Yaş ve Kuru aktivasyonun karşılaştırılması

Şekil 8.10’da görüldüğü gibi yaş aktivasyon ile viskozite ölçümlerinde sondaj sanayine uygun viskozite değerine Na aktivasyonu ile (min 30 cP) ulaşamamıştır. MgO ile 30 cp den fazla viskozite görülse de filtrasyon kaybının fazla olması aktivasyonun Na ve MgO ile birlikte yapılması gereğini göstermektedir. Çinku 2008 tarafından yapılan nem ve MgO miktarına bağlı şişme ve viskozite ölçümlerinde aktivasyon işleminin soda veya MgO ilavesinin kuru olarak yapılmasının olumlu sonuç verdiği, %1 MgO ilavesi ve %40 nemin kritik olduğu belirtilmektedir. Kile MgO ilavesinin kuru olarak yapılması sonrasındaki viskozite ölçümlerinde görünür viskozitenin sürekli arttığı, hatta malzemenin akamaz hale geldiği aynı çalışmada görülmüştür.

Kuru aktivasyon deney prosedürü malzeme yöntem kısmında ayrıntılı olarak anlatılmış olup Şekil 7.15. de verilen akım şeması uygulanmak sureti ile Çankırı sarı, Çankırı gri ve Silivri numuneleri ayrı ayrı kuru aktivasyon işlemlerine tabii tutulmuştur. Çalışmalarda aktive edici katkı olarak daha önce de belirtildiği üzere farklı konsantrasyonlarda soda ve MgO ayrı ayrı ve birlikte kombinasyon halinde kullanılmıştır. Elde edilen ürünlere viskozite, şişme ve filtrasyon kaybı testleri uygulanmıştır.

Bu kısımda yapılan çalışmalar üç örnek için ayrı başlıklar altında verilmiş olup, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ise son kısımda belirlenen optimum sonuçlar ile elektrokinetik ölçümler ve pH çalışmaları ile yapılmıştır.

8.2.1 Çankırı Gri Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları

Çankırı Bölgesi gri renkli ara bentonitleri ile gerek sadece soda veya MgO varlığında gerekse soda+MgO kombinasyonlarında yapılan aktivasyon çalışmalarının sonuçlarının verildiği şekil 8.11-8.16 incelendiğinde; sadece soda veya MgO ilaveleri ile yapılan aktivasyon sonuçlarında elde edilen ürünlerin % 6 PKO'luk süspansiyonlarının viskozitelerinde, katkı oranı artışına bağlı olarak genelde çok fazla bir değişim gözlemlenmemiş, ve süspansiyon viskozitelerinin yaklaşık 30-50 cP civarında olduğu saptanmıştır (Şekil 8.11). Ancak, soda+MgO kombinasyonu ile gerçekleştirilen aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlerin, sadece soda ve MgO varlığında yapılan aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlere göre çok daha yüksek viskozite değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar, Brookfield viskozite ölçümlerinde de gözlemlenmiştir (Şekil 8.12).

Bununla birlikte, daha yüksek miktardaki soda ile aktivasyonun takiben yapılan MgO ile aktivasyonda soda içeriğinin artmasıyla aktivasyon etkinliğinin gerilediği gözlemlenmiştir. % 0,5 soda+MgO ilaveli aktivasyonun % 1, 2, 3 ve 4 soda+MgO ilaveli aktivasyonlara göre çok daha iyi sonuçlar verdiği, soda miktarındaki artışın ürünlerin özelliklerini olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. Bu durumda soda+MgO kombinasyonu ile aktivasyonun sadece soda ve MgO ile aktivasyona göre çok daha etkili olduğu, ancak düşük soda+MgO kombinasyonlu aktivasyonların, yüksek özellikli ürünlerin eldesi için gerekli olduğu tespit edilmiştir.

Soda+MgO kombinasyonlu aktivasyonlarda, Çankırı gri renkli ara bentonitin, sarı renkli ara bentonitlerin aksine (sarı renkli bentonitte %2'den daha yüksek MgO katkısı olumsuz etki yaratmıştır) artan MgO ilavelerine çok daha olumlu etkiler verdiği gözlemlenmiştir.

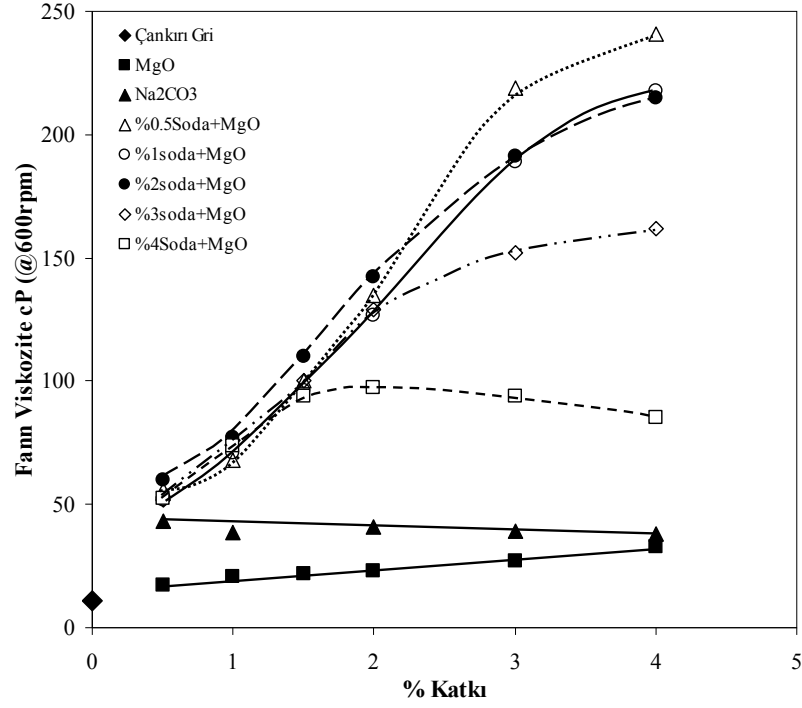
Sondaj bentoniti özellikleri kriter olarak ele alındığında ise; her ne kadar tüm soda+MgO kombinasyonlarında gerçekleştirilen aktivasyon ürünlerinin viskozite değerleri yüksek olsa da, süspansiyonların filtrasyon kayıplarının limitlerin altında tutulması açısından; Çankırı gri renkli ara bentonit ile, % 2-3 soda+%0,5 MgO ilaveli aktivasyon sonucunda elde edilen aktive ürünlerin sondaj bentoniti olarak kullanılabilmesi saptanmıştır (Şekil 8.14).

Şekil 8.13'de verilen, şişme indeksi değerleri incelendiğinde ise; sadece MgO ilavesi ile yapılan aktivasyon sonucunda elde edilen aktive ürünlerin şişme indekslerinin soda ile yapılan aktivasyon ürünlerinin şişme değerlerine göre çok daha düşük olduğu görülmektedir. MgO ile

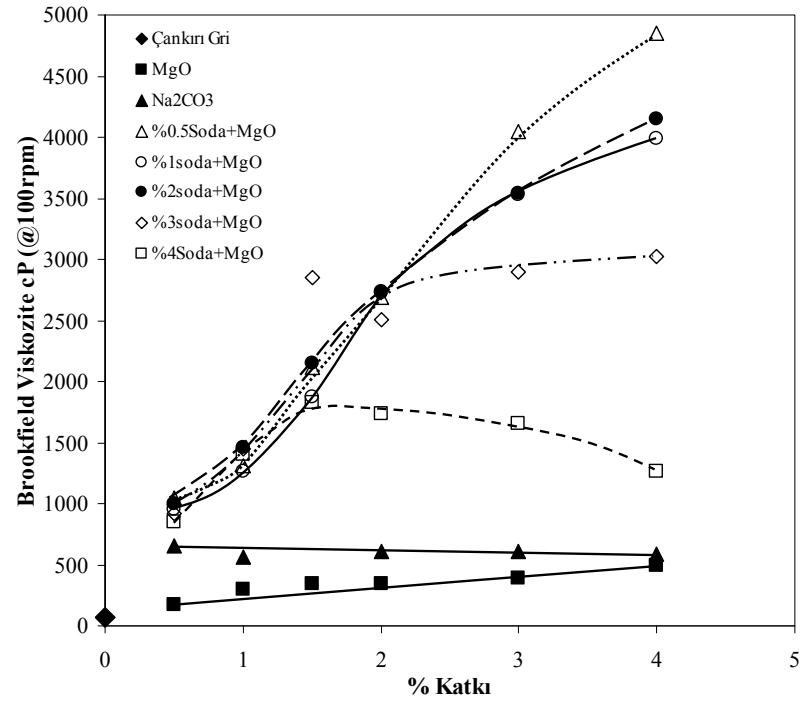
aktivasyon sonucu elde edilen ürünlerin şişme indeksi değerleri 16-17 ml civarında seyrederken, sadece soda ile aktivasyon sonucu bu değerler 26-27 ml civarına kadar yükseltilmiş, soda+MgO kombinasyonu ile 45 ml seviyelerine kadar yükseltilmiştir.

Sondaj bentoniti açısından düşünüldüğünde ise viskozite ve filtrasyon kaybı özellikleri dikkate alındığında en uygun ürünlerin elde edilmesine olanak sağlayan % 2-3 soda+0,5 MgO kombinasyonlu aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlerin şişme değerlerinin 27-28 ml civarında olduğu tespit edilmiştir. Aynı şartlarda filtrasyon kaybı ve viskozite ise sırasıyla 12-14 ml ve 40 -60 cP dir. Bu sonuçlar API ve TS EN ISO 13500 standartlarına göre soda ve MgO ile aktive edilen Çankırı Gri'nin sondaj çamuru olarak kullanılabileceğini göstermektedir. $(Na_2O+K_2O)/(CaO+MgO)$ oranı 0.76 olan benzer örnekle yaptıkları aktivasyon çalışmalarında ise inorganik tuzların viskoziteyi geliştirdiğini ancak yeterli olmadığını buna karşılık Na-CMC, polyacrylamide ve polyacrylic kullanıldığında sondaj çamuru standartlarının yakalanabildiğini tespit etmişlerdir. Tek değerlikli iyonlar düşük konsantrasyonda tabakalar arasında çift değerlikli iyonlara göre ağ yapısı kuramadığından reolojik özellikleri kötüdür, ancak belirli konsantrasyondan sonra tek değerlikli iyonlar ağ yapı kurarken çift değerlikli iyonlar koagülasyon özellikleri nedeniyle yüzey yüzey birleşmesine neden olduğundan viskoziteyi düşürmektedir. [Na'un ve Mg'un bu etkileri (Şekil 8.11 ve 8.12)]'de net bir şekilde gözlemlenmekte olup, soda ve Mg kombinasyonu ile özellikle düşük konsantrasyonda istenilen viskozite değerleri sağlanmıştır.

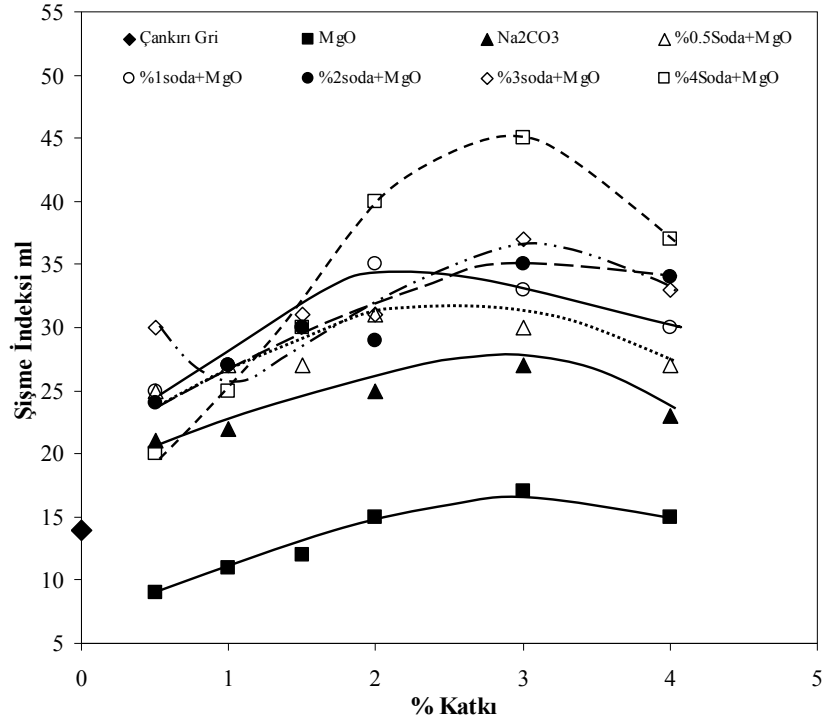
Soda+MgO kombinasyonlu aktivasyon genel olarak değerlendirildiğinde; tüm soda ilavelerinde % 3 MgO katkısından sonra ürün özelliklerinde az da olsa bir sabitleme görülmüştür. Soda+% 3 MgO kombinasyonlu/kombinasyonsuz (sadece soda) aktivasyon sonuçlarının verildiği Şekil 8.17-8.20 incelendiğinde; genel olarak % 0,5-1,0 oranında sodanın etkin olduğu, bu değerden daha yüksek soda katkılarında aktivasyon etkinliğinin ya sabit kaldığı ya da gerilediği gözlemlenmiştir. Fakat soda ilavesindeki artış filtrasyon kaybında azalmaya neden olmaktadır.



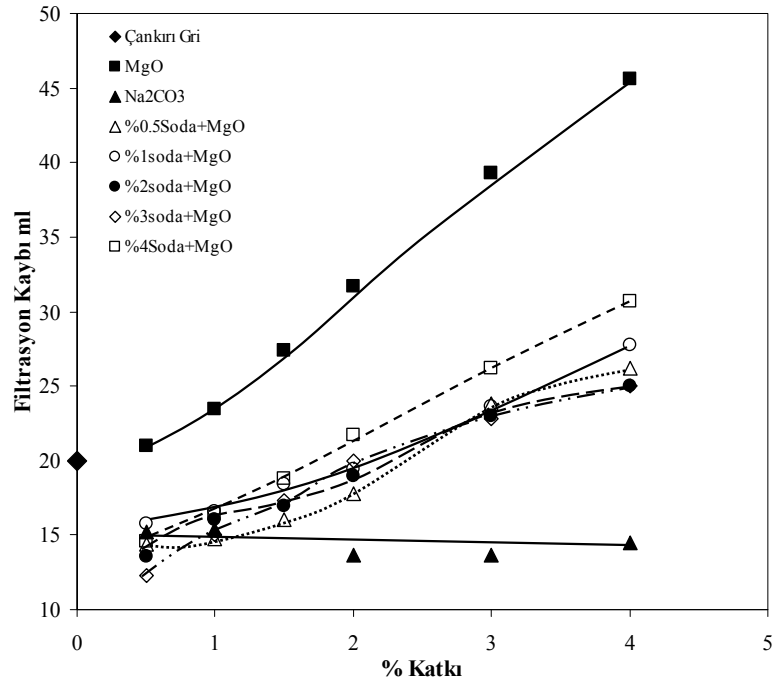
Şekil 8.11. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Ara Bentonitine MgO İlavesinin Fann Viskozitesi Üzerine Etkileri



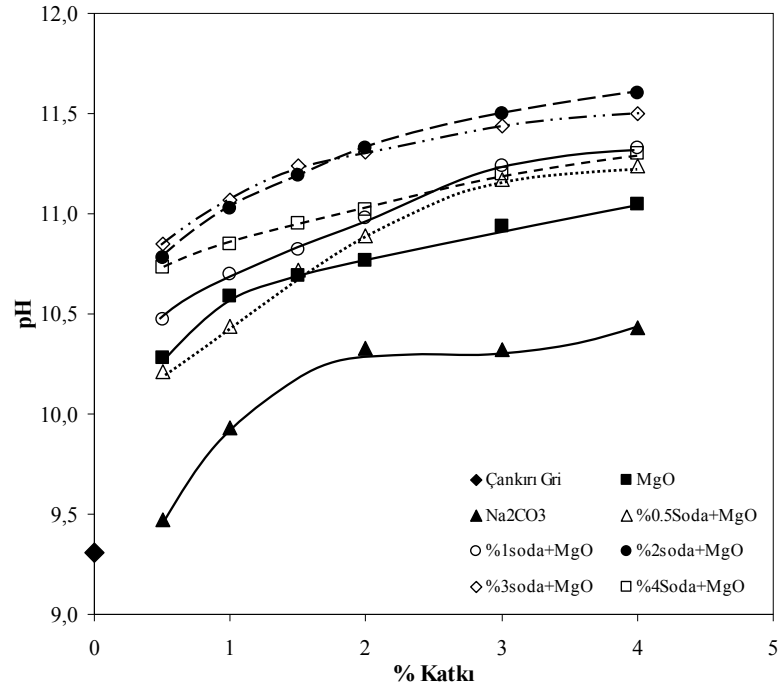
Şekil 8.12. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO ilavesinin Brookfield Viskozitesi üzerine etkileri



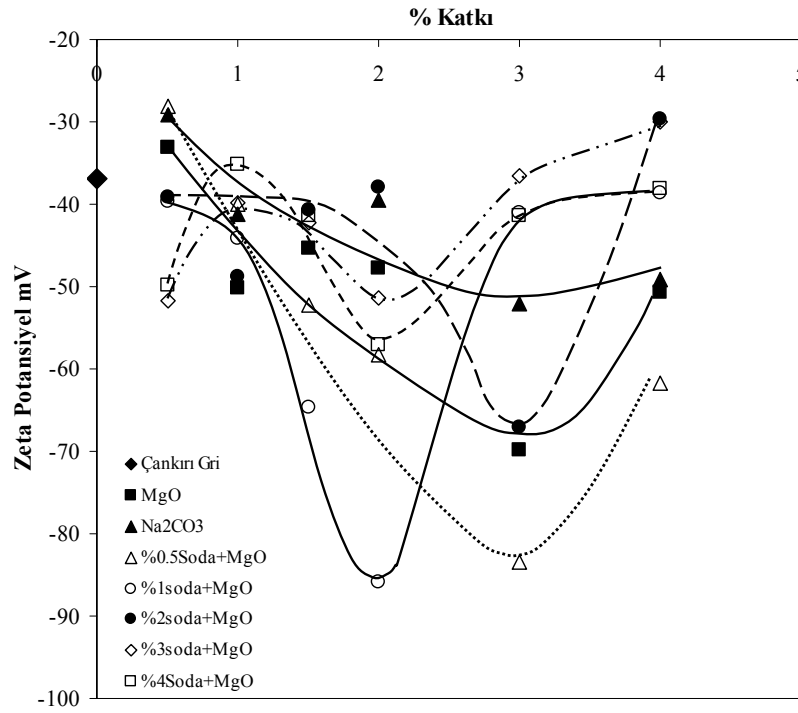
Şekil 8.13. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO ilavesinin Şişme İndeksi Üzerine Etkileri



Şekil 8.14. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin Filtrasyon Kaybı Sonuçlarına Etkisi

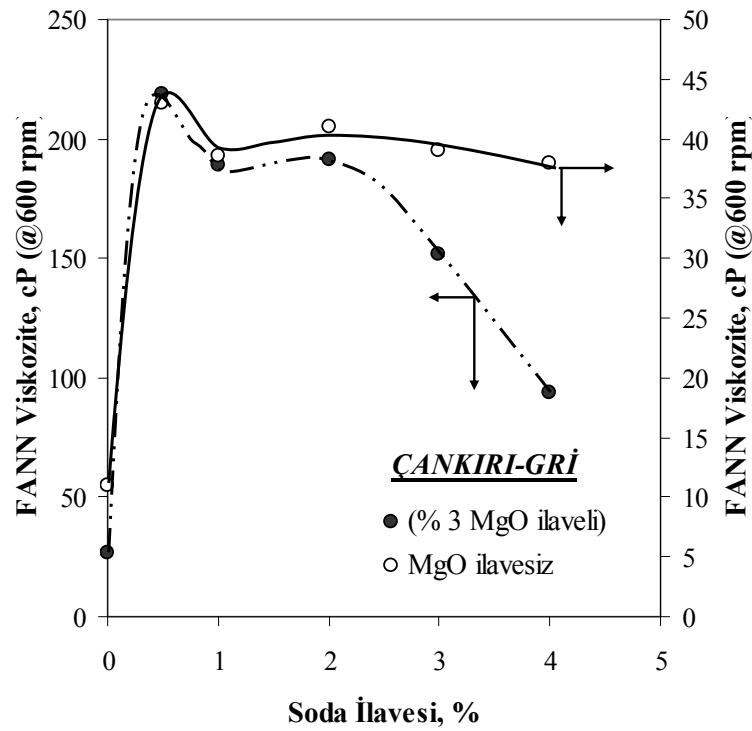


Şekil 8.15. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin pH Etkisi

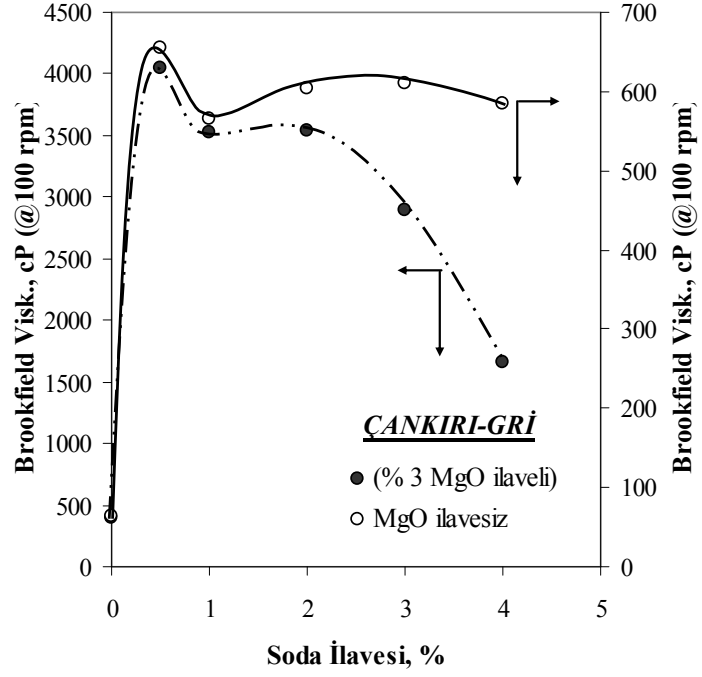


Şekil 8.16. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Gri Bentonitine MgO İlavesinin Zeta Potansiyeli Etkisi

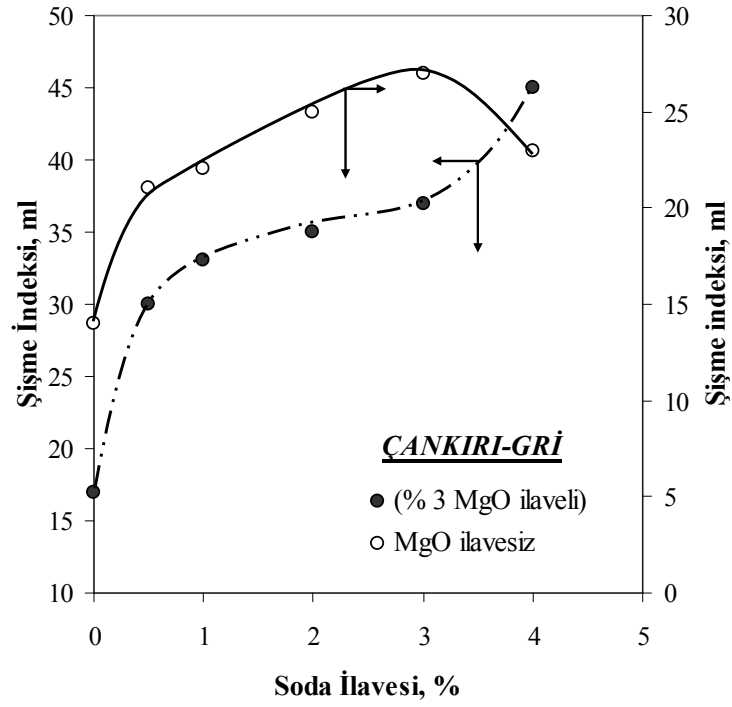
Çankırı Gri bentonitinde çıkan genel sonuçlara bakıldığı zaman soda aktivasyonunun viskoziteyi yükseltmesi bakımından tek başına yeterli olmadığı, sadece MgO ilavesinin viskoziteyi çok az arttırdığı ancak soda ilavesi kadar etkili olamadığı görülmüştür. Ancak her iki inorganik katkının doğru yöntem kullanılarak bentonitle karıştırıldığı zaman viskoziteyi çok fazla arttırdığı anlaşılmaktadır. Filtrasyon kaybının ise, her iki inorganik maddeden de düşük miktarlarda kullanıldığı zaman çok düşük olduğu, ancak MgO miktarı arttıkça CARD-HOUSE yapının güçsüzleşmesi ile birlikte artan basınçlarda bentonit tanelerinin birbirlerini bırakarak, aralarındaki su moleküllerini gevşetmesi ile filtrasyon kayıplarında da artışlar meydana gelmiştir. Bu da bizlere bentonit tanelerinin su moleküllerini bentonitin kendi yapısında değil zayıf CARD-HOUSE dediğimiz yapıda tuttuğu ve en küçük basınç altında kendini bıraktığını göstermektedir.



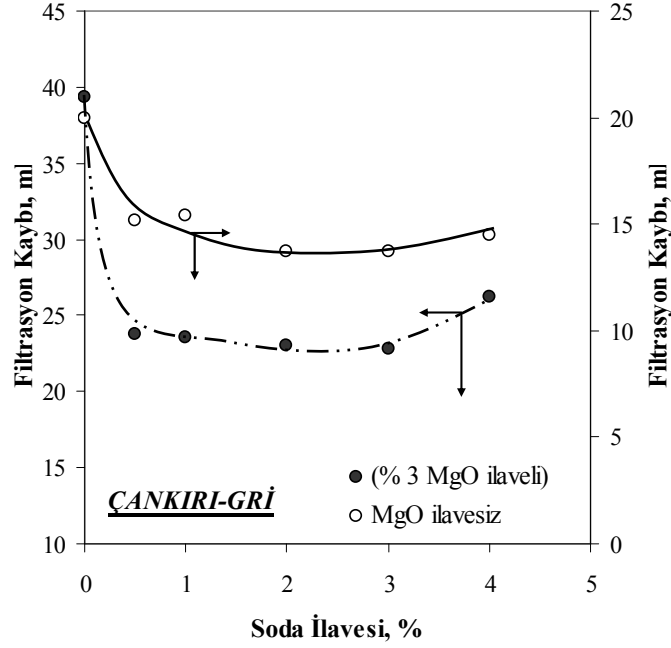
Şekil 8.17. %3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri (FANN viskozitesi @ 600 rpm) Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.18. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri (Brookfield viskozitesi @ 100 rpm) Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.19. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.20. % 3 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi

8.2.2 Çankırı Sarı Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları

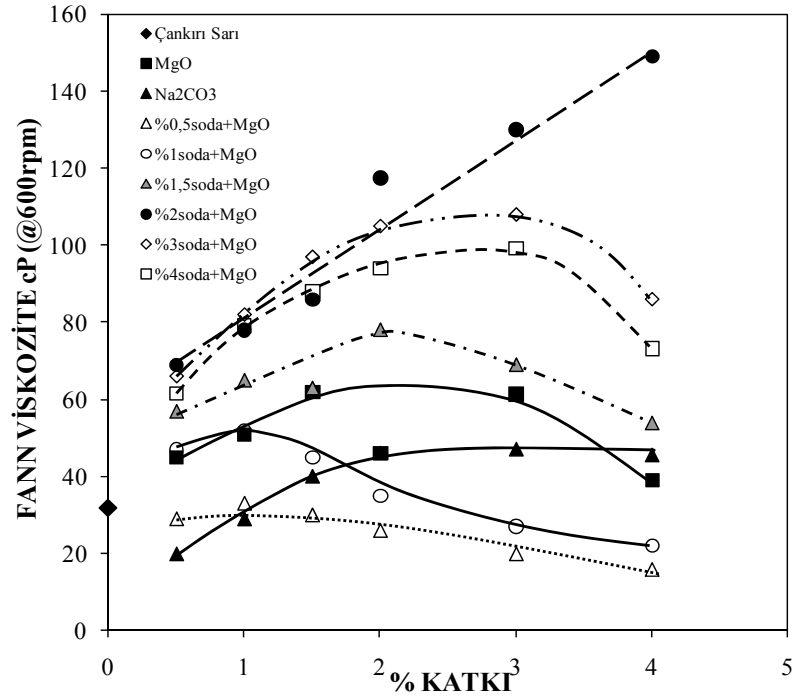
Ek 8.13a-b-c ve Şekil 8.21-8.25 incelendiğinde; sadece soda ya da MgO ile Aktiflendirme işlemleri sonucunda elde edilen aktive ürünlerin en yüksek viskozite değerlerinin 30-45 cP (teta) civarında olduğu saptanmıştır. Ulaşılan viskozite değerleri ise, soda ve MgO ilavesi açısından en uygun katkı oranlarının, soda ve MgO'nun her ikisi için de % 2 olduğunu işaret etmiştir. Bu katkı oranlarından daha yüksek kimyasal ilavelerinde ise süspansiyon viskozitelerinde ya sabitleme ya da gerileme olmuştur. Daha da ilginç olan ise; tek başlarına ancak belirli seviyelere getirilebilen viskozite değerleri soda ve MgO kombinasyonu ve çok daha yüksek seviyelere getirilmiştir. Şekil 8.21 ve 8.22 incelendiğinde özellikle % 1,5 soda ilavesi ve daha yüksek soda ilavelerinde, MgO ile kombinasyonlu yapılan aktivasyon çalışmalarında 150 cP'e kadar olan viskozite değerlerine ulaşılmıştır. Ancak en uygun soda+MgO kombinasyonunun % 2 soda ilaveli kombinasyonlar olduğu, daha yüksek sodalı kombinasyonların etkinliğinin % 2 sodalı kombinasyonlara göre daha geride kaldığı gözlenmiştir. Benzer trendler Brookfield viskozite değerlerinde de gözlenmiştir. Boyada kıvam arttırıcı malzeme olarak düşünüldüğünde; ulaşılan bu yüksek viskozite değerleri umut verici olarak düşünülse de MgO ilavesi ile süspansiyon stabilitesinde gözlemlenen olumsuzluklar

düşündürücüdür. MgO ilavesi ile gözlemlenen bu davranış Çinku 2008 tarafından çalışılan Reşadiye sodyum bentoniti aktivasyonunda da rastlanmıştır.

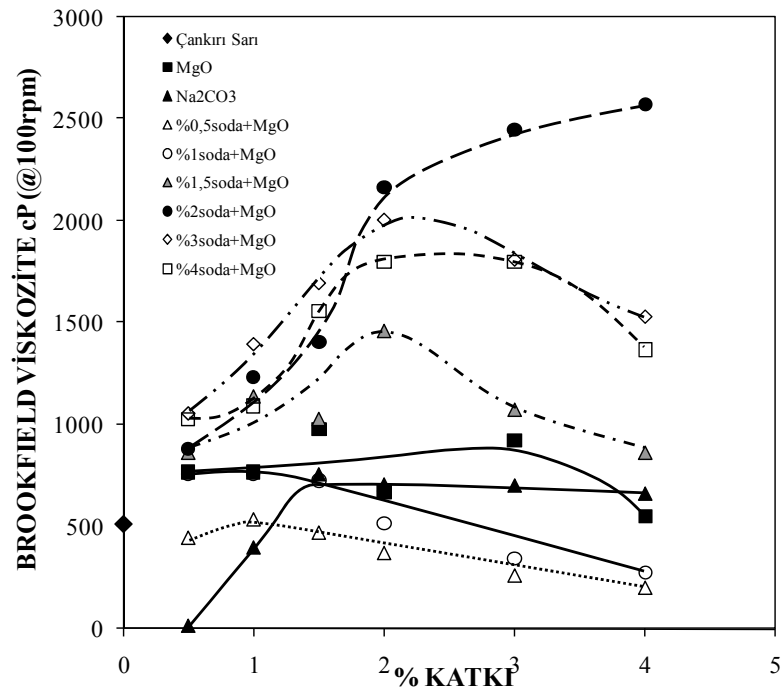
Şekil 8.23'de verilen filtrasyon kaybı değerleri de, viskozitede gözlemlenen olumlu sonuçlara karşın, MgO ilavesi ile süspansiyonların filtrasyon kaybı değerlerinin yükseldiğini göstermiştir. Üretilen aktive bentonitlerin sondaj endüstrisinde kullanılacağı düşünülürse; filtrasyon kaybı değerlerini istenilen limitlerin altında tutmak için, % 2 soda+ % 0,5 MgO kombinasyonu ile çalışmak daha doğru olacaktır. Bu durumda filtrasyon kayıpları 15-16 ml, viskozite değerleri ise 65-70 cP civarında olacaktır. Bu da sondaj bentoniti için kullanıma uygun malzeme özelliklerini işaret etmektedir.

Aktive ürünlerin şişme indeksleri ise Şekil 8.24'de verilmiştir. Şekil 8.24 incelendiğinde; sadece soda ilavesi ile (% 2) 26-27 ml civarına yükseltilecek şişme değerleri, sadece MgO kullanıldığında 18-19 ml seviyelerine gerilemektedir. Ancak, viskozite değerlerindeki gelişmelere paralel olarak, soda ve MgO kombinasyonu ile 45 ml seviyelerindeki şişme değerleri elde edilmektedir. Aktive edilen ürünlerin sondaj bentoniti olarak kullanımı düşünüldüğünde ise; uygun sondaj bentoniti özelliklerini sağlayan % 2 soda+ % 0,5 MgO kombinasyonu ile 31-32 ml seviyelerindeki şişme değerlerine ulaşılmaktadır.

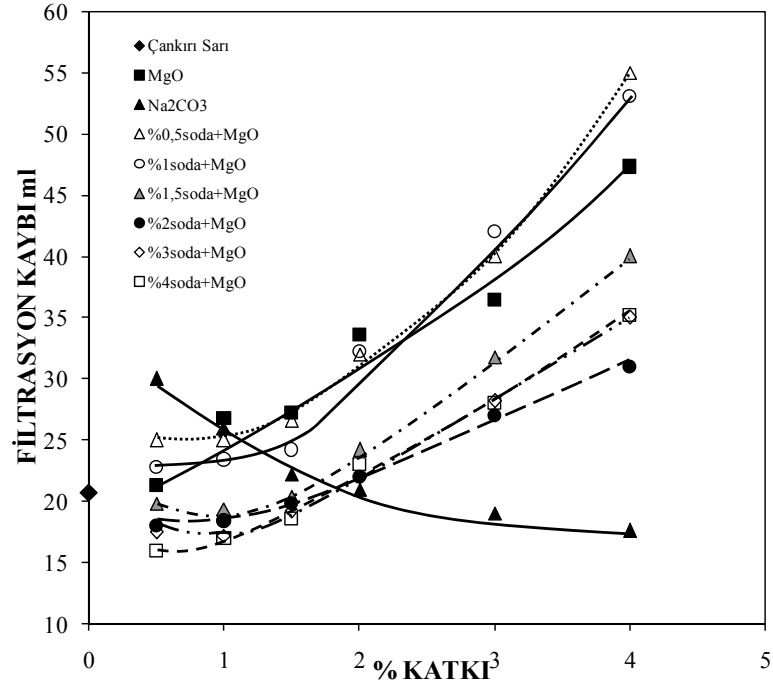
Soda+MgO kombinasyonlarının aktivasyona etkisi incelendiğinde (Şekil 8.21-8.24); genel olarak soda ilavesinden bağımsız olarak % 2 değerinden daha yüksek MgO ilavelerinde, malzeme özelliklerinin ya sabit kaldığı ya da gerilediği gözlemlenmiştir.



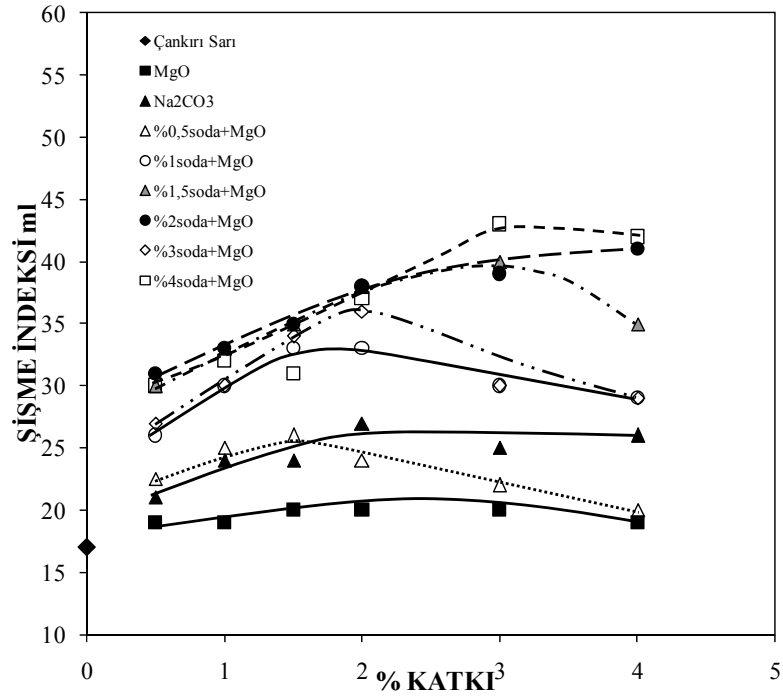
Şekil 8.21. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Fann Viskozitesi Üzerindeki etkileri



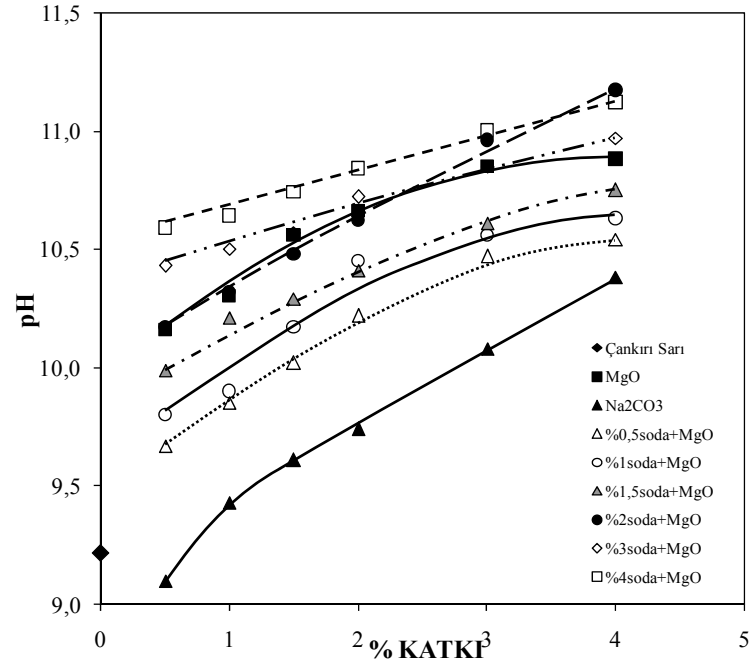
Şekil 8.22. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Brookfield Viskozitesi Üzerindeki Etkileri



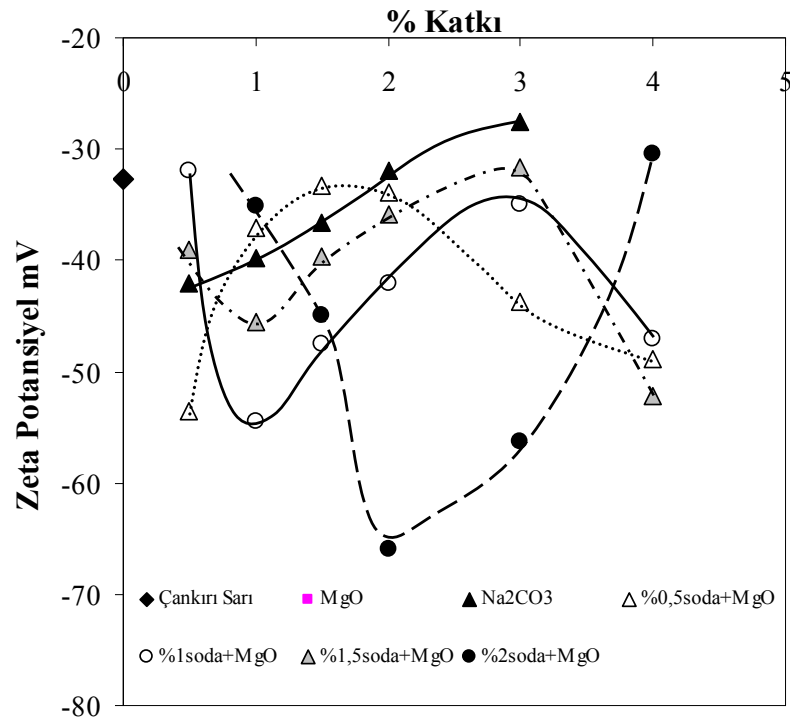
Şekil 8.23. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Filtrasyon Kaybı Üzerindeki etkileri



Şekil 8.24. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Şişme Üzerindeki etkileri



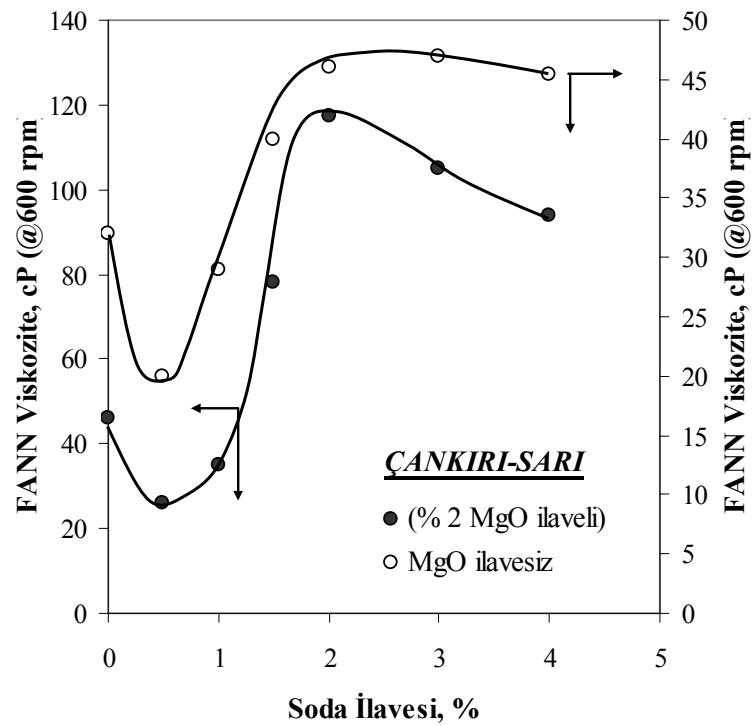
Şekil 8.25. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin pH Üzerindeki etkileri



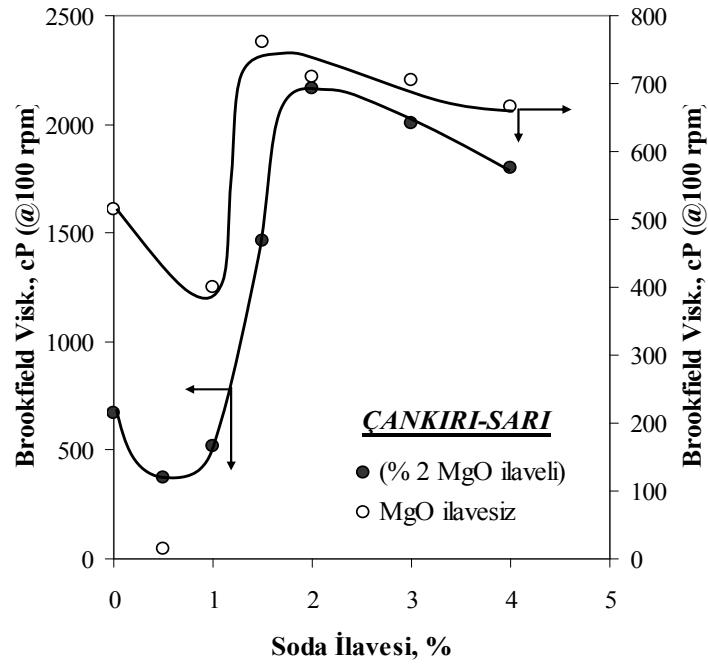
Şekil 8.26. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitine MgO ilavesinin Zeta Potansiyeli Üzerindeki etkileri

Su bazlı bentonit özelliklerini karşılayan uygun malzeme hazırlama amacı dışında, soda ve MgO kombinasyonunun, soda katkı oranı açısından ne derecede ve hangi aralıklarda etkilendiğinin bilimsel olarak incelenmesi Şekil 8.26-8.29'da yapılmıştır.

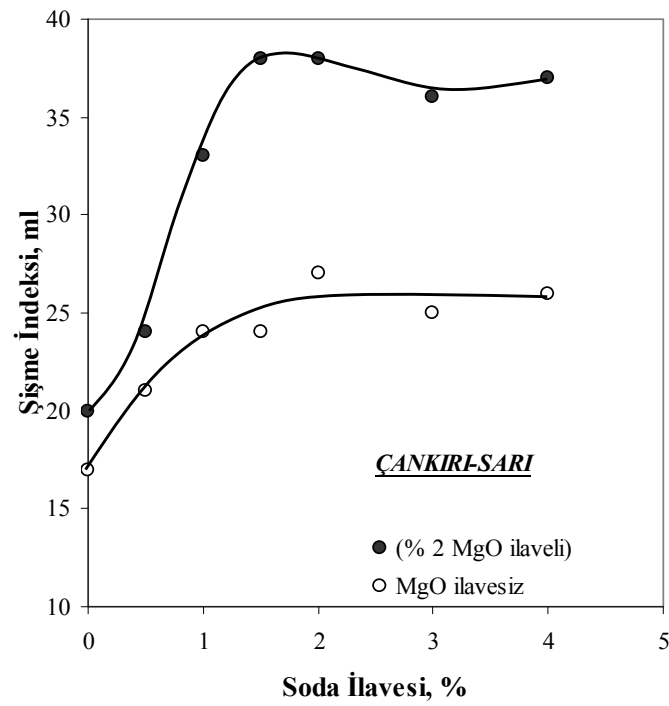
Şekil 8.27-8.30 incelendiğinde; gerek % 2 MgO kombinasyonlu gerekse sadece sodalı aktivasyonlarda % 1,5-2 soda ilavesinden daha yüksek değerlerde; viskozite (Şekil 8.27 ve 8.30), şişme indeksi (Şekil 8.29) ve filtrasyon kaybı (Şekil 8.30) açısından aktivasyonunun olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.



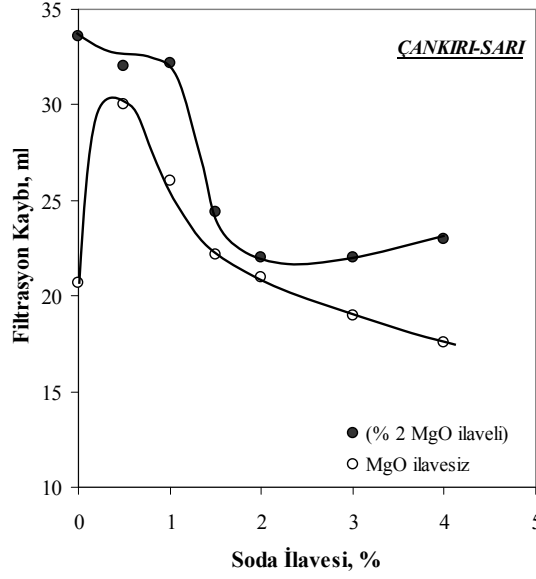
Şekil 8.27. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri (FANN viskozitesi @ 600 rpm) Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.28. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri (Brookfield viskozitesi @ 100 rpm) Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.29. % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi



Şekil 8.30 % 2 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi

8.2.3. Silivri Bentoniti Aktivasyon Deney Sonuçları

Çankırı sarı ve gri renkli ara bentonitlerle yapılan aktivasyon çalışmaları başarılı sonuçlanmış ve elde edilen aktive ürünlerin özellikleri sondaj bentoniti için gerekli olan değerleri kolaylıkla karşılamıştır. Detaylı aktivasyon çalışmaları sonucunda sondaj bentoniti üretimi konusunda ara bentonitlerle elde edilen başarılı sonuçlar, uygun aktivasyon yapıldığında, kalsiyum bentonitlerin de olumlu cevap verebileceği fikrini vermiş ve dolayısıyla benzer çalışmalar kalsiyum bentonitlerle de gerçekleştirilmiştir. Silivri Bölgesi kalsiyum bentoniti ile uygun aktivasyon koşullarında gerçekleştirilen aktivasyon işlemleri sonucunda elde edilen aktive ürünlerin özelliklerindeki değişimler Şekil 8.31-8.35’de verilmiştir.

Aktive kalsiyum bentonitlerin % 6 PKO’da hazırlanmış süspansiyonlarının viskozitelerinin verildiği Şekil 8.31 ve 8.33 incelendiğinde; sadece soda ve sadece MgO ile gerçekleştirilen aktivasyon ürünlerinin istenilen özellikte viskozite değerlerini vermediği, soda ile aktivasyonda; katkı oranının % 5 ‘e çıkarılması ile viskozite değerlerinin 6-7 cP’den 17-18 cP seviyelerine çıkarılabileceği ancak bu değer dahi sondaj bentoniti özelliklerini karşılayamadığı gözlemlenmiştir. Yıldız ve diğerleri, Kütahya bölgesi Ca – bentonitleri ile yaptığı çalışmada %6 katı konsantrasyonunda %2,5 Na₂CO₃ katkısı ile 21.12cP viskozite ve 14ml filtrasyon kaybı değerlerini tespit etmiştir. Soda ve MgO ile ayrı ayrı yapılan aktivasyonda istenilen değerlerin elde edilememesi nedeniyle Çankırı Gri ve Çankırı Sarı örneklerinde olduğu

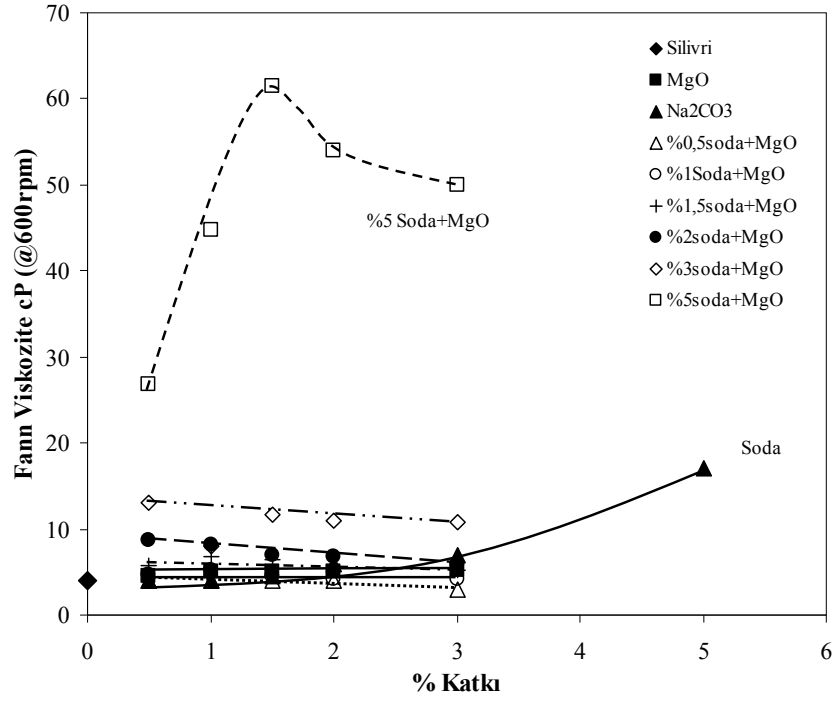
gibi Soda+MgO kombinasyonlu aktivasyonlar yapılmıştır. Elde edilen aktive ürünlerin viskozitelerinin aşırı derecede arttığı ve % 5 soda+% 1,5-2 MgO kombinasyonunda yapılacak aktivasyon sonucunda 60 cP'in üzerinde viskozite değerleri veren ürünler elde edilebileceği saptanmıştır.

Benzer şekilde; % 5 Soda+% 1 MgO ilavesi ile aktivasyon sonucunda, % 5 katkı oranında sadece soda ilavesi gerçekleştirilen şişme değerlerinde MgO ilavesi nedeniyle olumsuz bir etki gözlemlenmemiştir (Şekil 8.33).

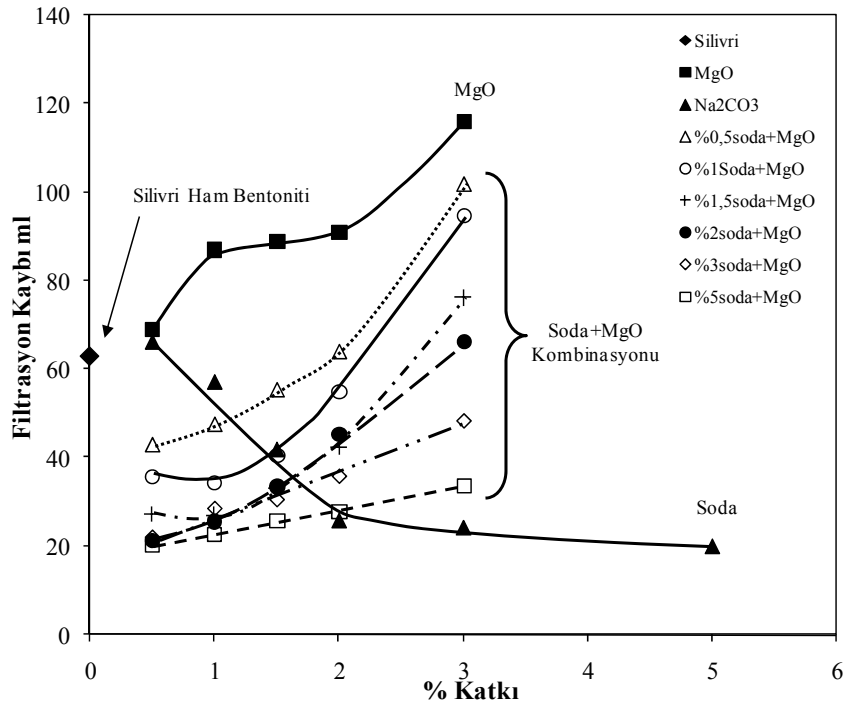
Soda+MgO kombinasyonlu aktivasyon sonucu elde edilen aktive ürünlerin viskozitelerinin ve şişme indekslerinin uygun seviyelere getirilebilmesine rağmen, en uygun soda+MgO kombinasyonlarında ya da sadece MgO ya da soda ilavelerinde dahi, sondaj bentonitinin gerektirdiği filtrasyon kaybı değerlerine ulaşamamıştır. En uygun aktivasyon koşulları olan % 5 Soda+% 1-1,5 MgO ilavesi ile aktivasyon sonucunda dahi ulaşılan filtrasyon kaybı değerleri 20 ml civarında kalmıştır (Şekil 8.32). Bu durumda kalsiyum bentonitlerin viskozite ve şişme açısından istenilen seviyelere getirilen özelliklerine ilave olarak, filtrasyon kaybı değerlerinin daha aşağılara çekilebilmesi için CMC-Na kullanımı daha uygun görülmektedir.

Soda ilavesine bağlı olarak, gerek % 1,5 MgO ile kombinasyonlu gerekse sadece soda ile yapılan aktivasyon sonucu elde edilen ürünlerin özelliklerindeki değişimler Şekil 8.34-8.36'de verilmiştir.

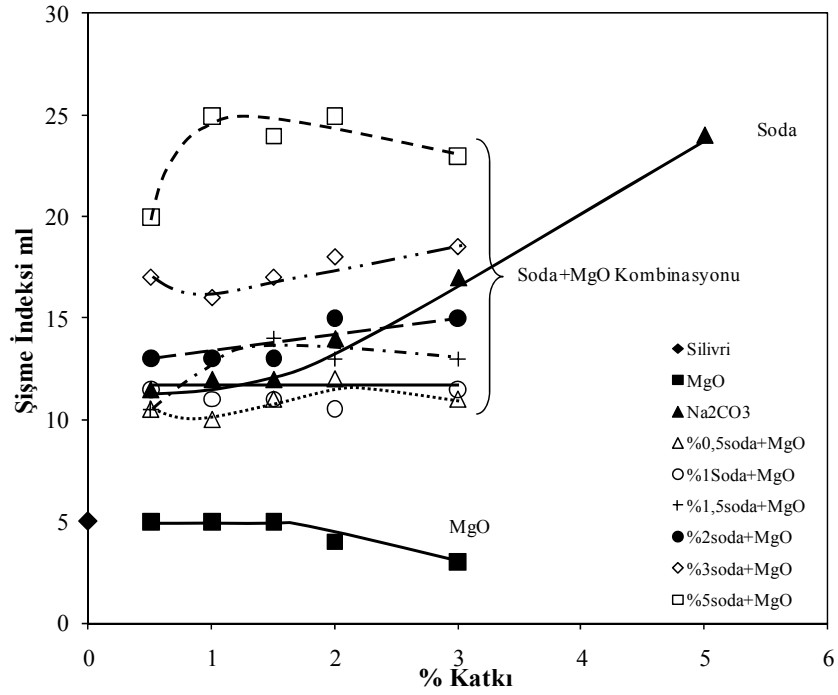
Şekil 8.34-8.36 incelendiğinde; aktive ürünlerle hazırlanan süspansiyonların viskozitelerinde soda artışına bağlı olarak devamlı bir artışın olduğu gözlenmiş, bununla birlikte soda+MgO kombinasyonlu aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlerin viskozite değerlerinin sadece soda ile yapılan aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlere nazaran daha yüksek olduğu saptanmıştır (Şekil 8.34). Aktive ürünlerin şişme değerleri karşılaştırıldığında ise; sadece soda ya da soda+MgO kombinasyonunda yapılan aktivasyon sonucunda elde edilen ürünlerin şişme özelliklerinin benzer olduğu ya da, diğer bir deyişle, MgO ilavesinin ürünlerin şişme özellikleri üzerinde olumsuz etki yaratmadığı saptanmıştır (Şekil 8.35). Ayrıca, soda ya da soda+MgO ile aktivasyon sonucunda elde edilen aktive ürünlerin filtrasyon kayıpları da benzer çıkmıştır.



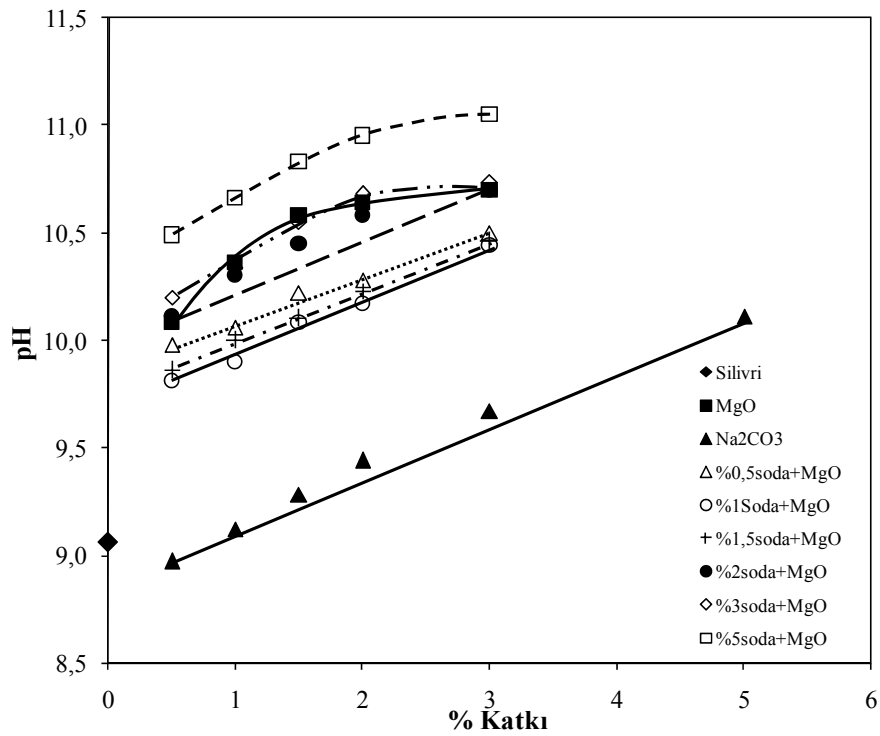
Şekil 8.31 Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO ilavesinin Viskozite üzerine etkileri



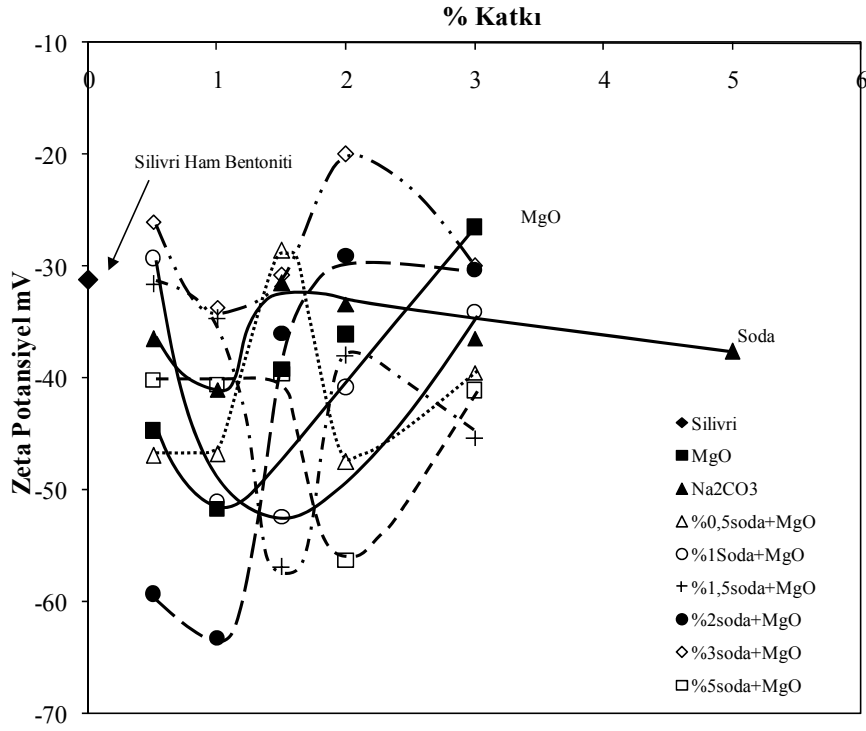
Şekil 8.32 Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO ilavesinin Filtrasyon Kaybı Üzerine Etkileri



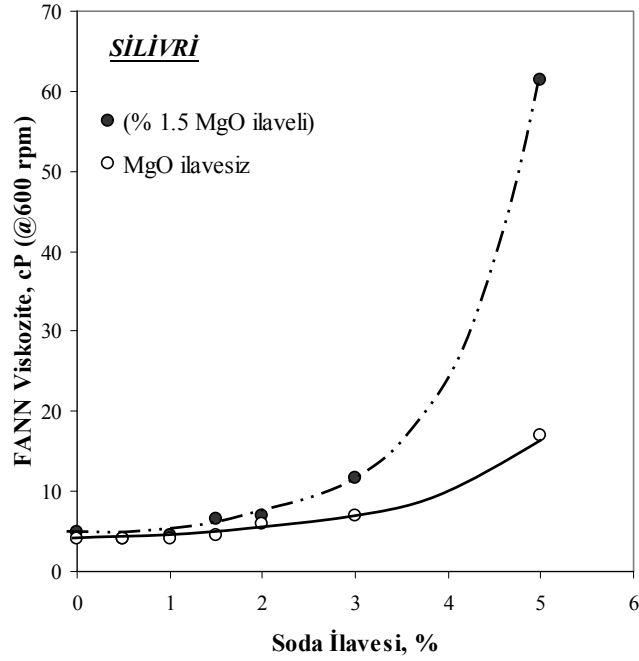
Şekil 8.33. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO ilavesinin Şişme Özelliği Üzerine Etkileri



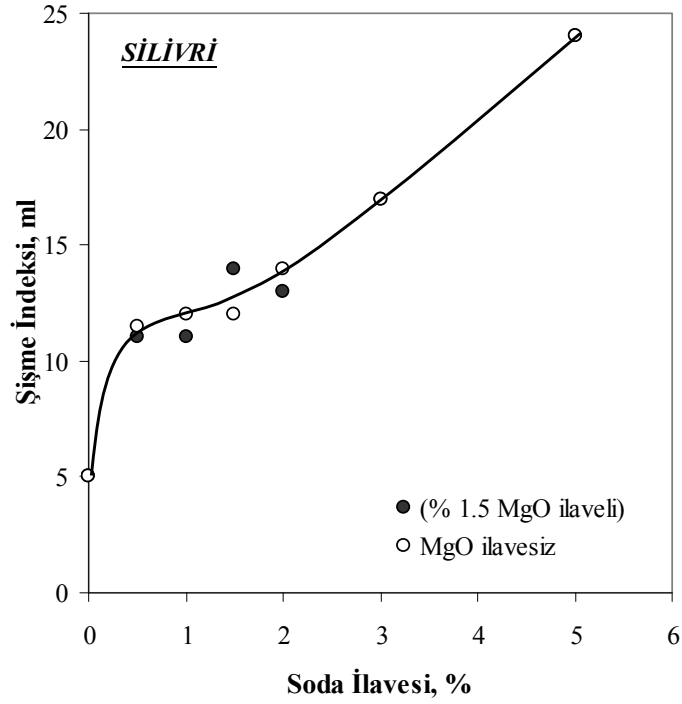
Şekil 8.34. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO İlavesinin pH Etkisi



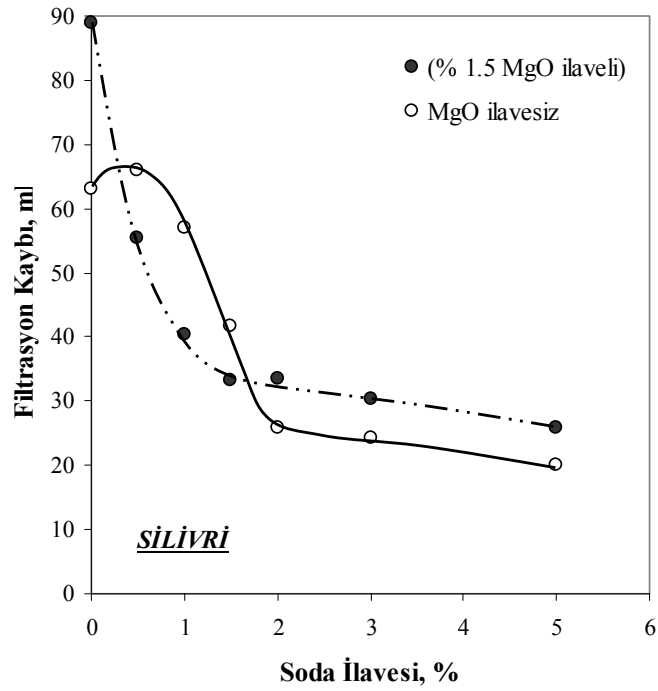
Şekil 8.35. Soda ile Kuru Olarak Aktive Edilmiş Silivri Bentonitine MgO ilavesinin Zeta Potansiyeli Üzerindeki etkileri



Şekil 8.36 % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Viskozite Özellikleri (FANN viskozitesi @ 600 rpm) Üzerindeki Etkisi

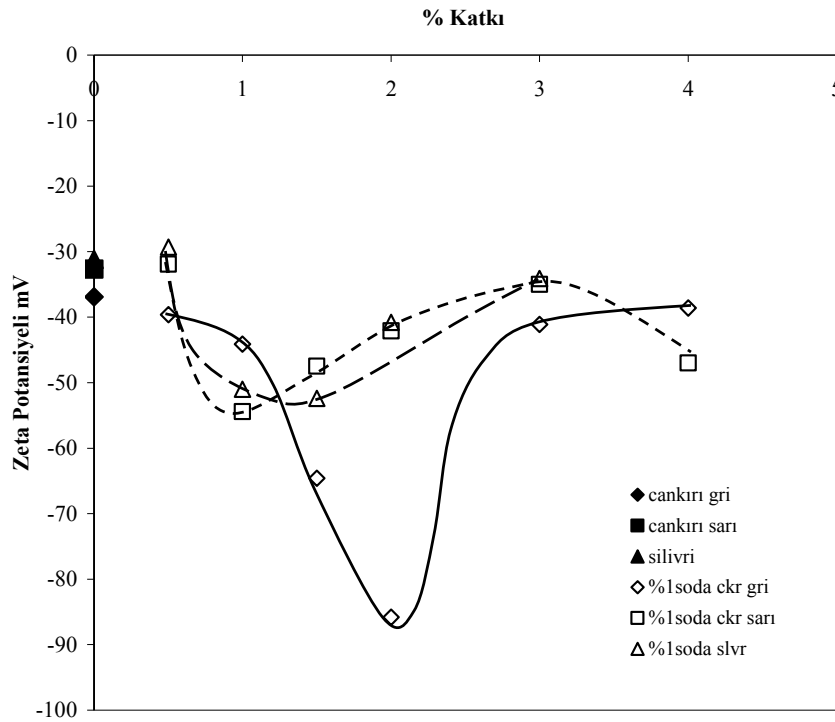


Şekil 8.37 % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Şişme Özellikleri Üzerindeki Etkisi

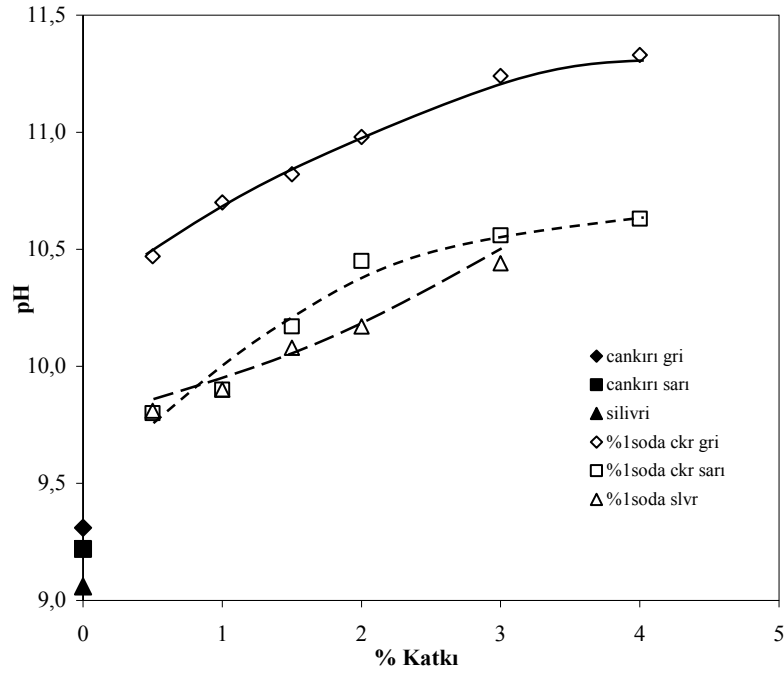


Şekil 8.38 % 1,5 MgO Kombinasyonlu/Kombinasyonsuz Soda İlave Oranlarının, Aktive Ürünlerin Filtrasyon Kaybı Özellikleri Üzerindeki Etkisi

Soda ve MgO ile farklı konsantrasyonlarda aktive edilmiş bentonitlerde, viskozite, filtrasyon kaybı ve şişme indeksi sonuçları, bentonit özelliklerinin süspansiyon karakteristiğini açıklamakta, önemli bir rol oynarlar. Bu sonuçlarla beraber zeta potansiyel ölçümleri ile de aktivasyon mekanizmasının açıklanmasında bir korelasyon sağlanabilir. Böylece, Çankırı gri Bentonitinde %1 soda ile aktive edilmiş ve farklı oranlarda MgO konsantrasyonlarında yapılan zeta potansiyeli ölçümleri sonuçları Şekil 8.16.'da, ve pH değerleri Şekil 8.15'de verilmiştir.



Şekil 8.39. %1 Soda ve değişik oranlarda MgO ile aktive edilmiş 3 Bentonit numunesinin elektrokinetik özelliklerinin karşılaştırılması



Şekil 8.40. %1 Soda ve değişik oranlarda MgO ile aktive edilmiş 3 Bentonit Numunesinin pH Özelliklerinin Karşılaştırılması

Şekil 8.39'da 2 farklı bölge bulunmaktadır, 1. bölge, zeta potansiyelinin negativitesinin arttığı bölgeyi, 2. bölge de zeta potansiyelinin negativitesinin azaldığı örnek verilirse sıfıra yaklaştığı bölgelerdir. İlk bölgedeki zeta potansiyeli artışı, iyon değişimi mekanizmasına bağlanabilir; Na veya Mg iyonları Ca^{2+} veya Al^{3+} gibi daha yüksek değerlikli katyonlarla yer değiştirirler bu da negativitenin artmasına neden olur. Zeta potansiyel eğrisinin ikinci kısmında, elektriksel çift tabaka boyunca iyon adsorpsiyonu baskın rol oynar. Tek ve çok değerlikli iyonların adsorpsiyonu ile, elektriksel çift tabaka şarjını azaltmakta ve zeta potansiyeli dönmektedir. Burada ilginç bir not, her bentonit numunesinin MgO konsantrasyonlarının artışına ait zeta potansiyeli eğrileri farklı noktalarda eğim noktaları sergilemiştir. Bu durumda, pH grafiğine bakmak yerinde olacaktır. Bu bilgiye göre, zeta potansiyelindeki düşüşlerde MgO miktarının artışına ve pH değerine bakılmalıdır, Çankırı Sarı, gri ve Silivri örneklerinde viskozite, filtrasyon kaybı, şişme indeksi değerleri aynı görüntüyü sunmaktadırlar.

Belirtildiği gibi, sıvı solüsyonlarda Mg tuzları, Mg konsantrasyonunun ve pH ile bir çok türün formasyonunu farklılaştırır. Bentonit süspansiyonlarında, MgO eklenmesi, ile pH'ya bağlı olarak Mg^{+2} , $MgOH^+$ ve $Mg(OH)_{2(s)}$ ile sonuçlanır. Tipik Mg Tuz Konsantrasyonlarında, pH 10'un altında iyon değişiminden dolayı, Mg^{+2} ilk bölgede daha baskındır. pH artmaya

başladığında Mg^{+2} iyonları $MgOH^+$ ve $Mg(OH)_{2k}$ formuna dönüşürler böylece bentonit yüzeylerinde $Mg(OH)_{2k}$ ve kenarlarda $MgOH^+$ iyon adsorpsiyonu görülür. Yüksek pH'lı $Mg(OH)_{2k}$ tane tane etkileşimleri ters olarak etkileyerek ağ yapısını bozarak ya da bentonit üzerindeki colloidal yapıyı çökeltme görevi görürken, $MgOH^+$ oluşumu jel yapıyı oluşturarak viskoziteyi artırır; bu iki mekanizmada aynı zamanda viskozite, şişme ve filtrasyon kaybında etkilidir. Sistemimizde yüksek Mg ilavesi 10^{-1} mol/l alkalın ilavesiyle aynıdır ki bu aynı zamanda şekil 8.40.'de görüldüğü gibi $Mg(OH)_{2k}$ 'dan dolayı pH'yı artırır.

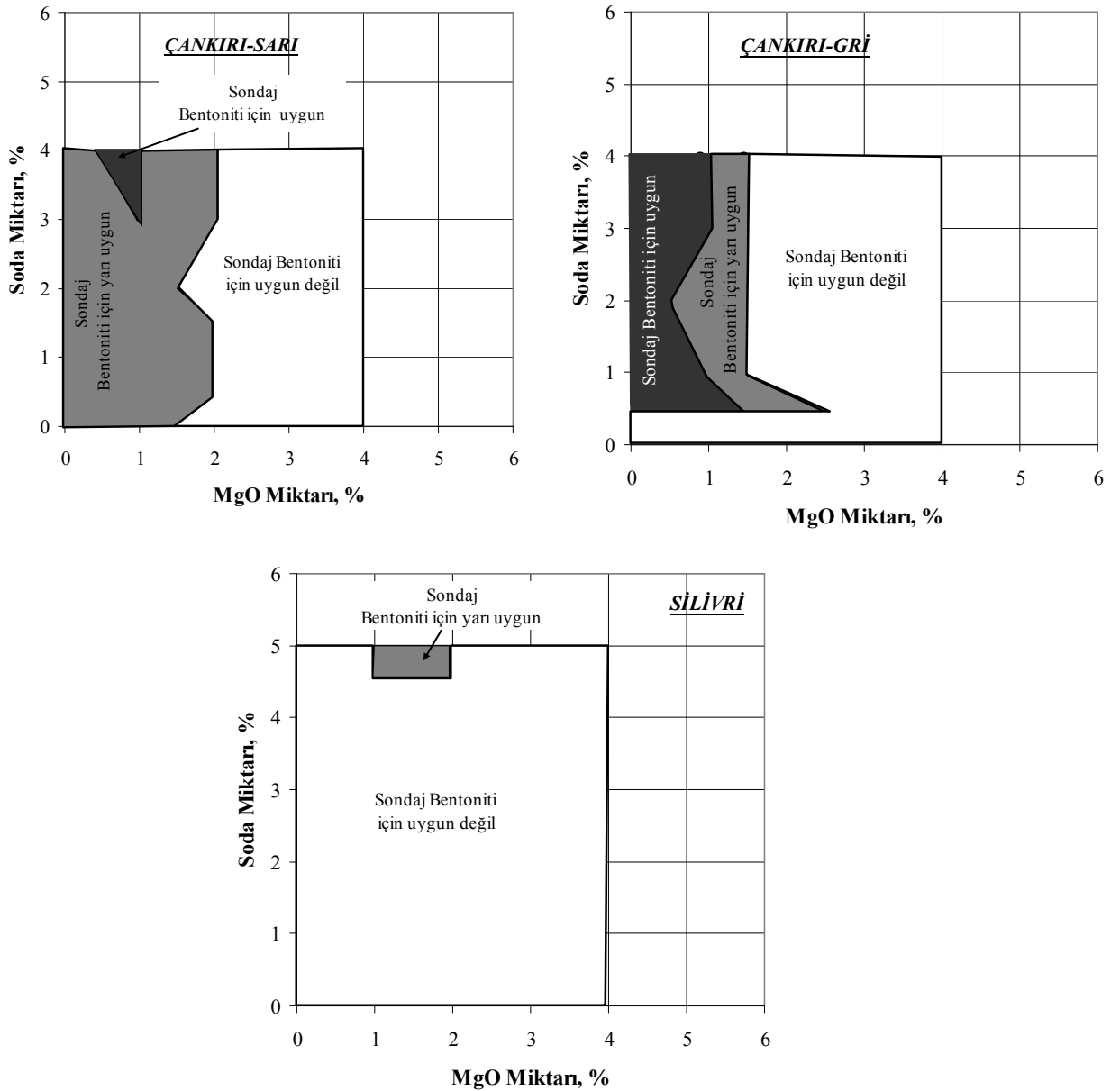
Kil tanecikleri arasındaki etkileşimde değişebilen katyon ve hidrasyon önemli bir rol oynar. Kolay hidrate olmuş Na^+ tabakalar arasına girerek osmotik şişmeye ya da tabakaların ayrılmasına neden olur. Artan yüzey alanı ve asimetrik ayırma bağlı olarak (kenar yüzey etkileşimi ile geliştirmiş Card – House yapı) kil yüksek orandaki suyu tutmak için jelleşir. Tabakalar arasındaki tanecikler içindeki elektrostatik ve Van der Walls kuvvetleri, tanecikleri dengede tutar ve bu yüzden devamlılığı sağlar [61, 94]. Bu çalışma kapsamında testlerden anlaşılıyor ki Na sistemi etkiliyor. Na konsantrasyonunun artmasıyla artan negativiteye bağlı olarak viskozite ve şişme artarken filtrasyon kaybı azalır. Diğer bir taraftan çok değerlikli Mg iyonları yukarıda belirtilen OH formları ile tabakaları birleştirerek koagülasyona sebep olur. Simonton ve diğerlerinin belirttiği gibi killerin şişme kapasitesi katyonların hidrasyon enerjisine bağlıdır ve bu enerji elektrostatik enerjiyi bastırarak güçte olmalıdır. Lakin yüksek değerlikli iyonlar, yüksek seviyede hidrasyon enerjisine sahip olmalarına rağmen şişmeye neden olmazlar. Her birinde 3 numune kullanılarak yapılan şişme testlerinde bu durum gözlemlenmiştir ve sadece Na ve MgO kombinasyonunda şişme gözlemlenmiştir.

9. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- MgO ile Çankırı Sarı bentoniti kullanılarak yapılan yaş aktivasyon çalışmalarında karıştırma hızının, karıştırma süresinin, bekleme süresinin, aktivasyonda kullanılan inorganik maddelerin ilave edilme aralığının, süspansiyon sıcaklığının reolojik özellikleri iyileştirdikleri gözlemlenmiştir.
- Ancak yaş aktivasyonun etkili bir yöntem olmadığı ve MgO'in viskoziteyi yeterince arttırmadığı gözlenmiştir. Yaş Aktivasyon sonuçları değerlendirildiğinde standartlarda istenilen viskozite, şişme ve filtrasyon kaybı değerlerine ulaşılamamış ve kuru aktivasyon çalışmalarına başlanmıştır.
- Sadece MgO katkılı kuru aktivasyonların ürün özelliklerini geliştirmediği gibi, olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır.
- Sadece soda ve MgO ile yapılan kuru aktivasyonlar sonucu elde edilen aktive ürünlerin istenilen özelliklerde olmadığı, ancak, soda+MgO kombinasyonu ile gerçekleştirilen aktivasyonda sinerjik bir etkinin elde edildiği görülmüştür.
- Soda+MgO kombinasyonlu aktivasyonlarda; MgO katkı oranının % 2'den fazla olduğu durumlarda aktivasyonun olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.
- Tez kapsamında çalışılan ara bentonitlerden; Çankırı bölgesi sarı renkli bentonit numunesinin % 1,5-2 soda+0,5 MgO Çankırı bölgesi gri renkli bentonit numunesinin % 2-3 soda+0,5 MgO kombinasyonu ile aktivasyonu sonucunda sondaj bentoniti için istenilen özelliklere sahip olabileceği tespit edilmiştir.
- Kalsiyum bentonit örneğinin ise % 5 soda+%1 MgO ilavesi ile aktive edildiğinde viskozite ve şişme açısından sondaj bentonite uygun hale getirilebileceği, ancak, filtrasyon kaybının istenilen seviyelere indirilebilmesi için CMC-Na ile de takviye yapılmasının gerektiği saptanmıştır.
- Yapılan bu çalışmada kullanılan bentonitler tam olarak sondaj bentoniti özellikleri kazanamasa dahi, sondaj bentoniti özelliklerinin şişme ve viskozite özelliklerini karşılayan bazı ürünlerin boya endüstrisinde kıvam arttırıcı olarak kullanılabilmesi de söz konusudur.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmaları özetlemek amacıyla şekil 8.41’de verilen Çankırı bölgesi ara bentonitleri ve Silivri Bölgesi kalsiyum bentonit numunesi ile sondaj bentoniti özelliklerini yakalamak için aktivasyonda gerekli olan katkı maddesi cinsi ve miktarları verilmiştir. Bu grafiklerde, sondaj bentoniti için yarı uygun olarak ifade edilen bölgede gerçekleştirilen aktivasyonların boyada kullanılabilirliği de düşünülmektedir.



Şekil 8.41. Çankırı Bölgesi Ara Bentonitleri ve Silivri Bölgesi Kalsiyum Bentonit Örnekleri İçin, Sondaj Bentoniti Özelliklerine Ulaşmak İçin Kullanılması Önerilen Katkı Oranları Grafikleri

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Alemdar, A., 2001. Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlarının Reolojik, Viskoelastik, Kolloidal özellikleri üzerine organik ve inorganik Tuzların etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fizik Mühendisliği, İstanbul.
- [2] Israelachvili, T.N. and McGuiggan, P.M., 1988. Science 241, s. 795-800.
- [3] Malayoğlu U., Akar, A. 1995 “Killerin sınıflandırılmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Köse ve Kızıl, İzmir-Türkiye, pp. 125-132.
- [4] Grim R.E., 1968 “Clay Mineralogy”, 2nd edition, McGraw Hill, New York,.
- [5] Grim R.E., Gwen, N. 1978 “Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses”, Developments in Sedimentology 24, Elsevier Publishing Company, New York, 256 pages.
- [6] www.webmineral.com
- [7] Baxter P., 1997, European Markets for U.S. Bentonites. *Industrial Minerals* No: 361, 43-49
- [8] Çinku, K. 1999 “Yazır (Trakya) bentonitinin boya sanayinde kıvamlaştırıcı olarak kullanılmak üzere hazırlanması olanaklarının araştırılması”, *Y.Lisans Tezi*, İ.Ü.,.
- [9] House R. F., 1983, Organophilic Clay Gellants. *U.S. Patent Office*, US 4382868.
- [10] Mc Murray R. C., 1992, *Organic Chemistry*, Cornell University, U.S.A.
- [11] Çinku, K., Bilge, Y. 2001 “Bentonit ve Aktivasyon Yöntemleri”, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, 19-22, Konya pp. 1-10.
- [12] Güngör, N. 1981 “Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi”, Doktora tezi, İ.Ü..
- [13] Süd Chemie, 1996 “What is bentonite”, Catalogue, München, Germany,.
- [14] Lagaly, G., 1986. Colloids in Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry, pp. Vol A7.
- [15] VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim , Worrall, W.e., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier, London.
- [16] Searle, B.A. and Grimshaw. R.W., 1960. The Chemistry and Physics of Clays and Other Ceramic Materials, Ernest Bem Ltd., London.
- [17] Mohanty A., 2005, *Proc. Pira Int. Conf.*, Miami FL.
- [18] Ray S.S., Okamoto M., 2003, *Polym. Sci.*, 28(11)1539.
- [19] Kato M., Usuki A., T.J. Pinnavaia, G.W., Beall (EDS), 2000, *Polymer-Clay Nanocomposites*, John Wiley & Sons Ltd. New York, p. 97.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [20] Van Oss C.J., Giese R.F., 1995, *Clays Clay Minerals*, 43, 474-481.
- [21] Quirk J.P., Marcelja S., 1997, *Langmuir*, 13, pp, 6241-6248.
- [22] Fukishima Y., 1984, X-Ray Diffraction study of aqueous montmorillonite emulsions correctly: dispersions, *Clays and Clay Minerals*, 32, 320-326.
- [23] Meier, L.P., 1998. Organic Cations – Related Adsorption Behaviour of Surface Modified Smectites, PhD Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.
- [24] Olphen, H., 1979. Data Handbook for Clay Materials and other non-metallic Mineralles, Oxford Pergamon Pres.
- [25] Vorrall, W.E., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier, London
- [26] Huntur, R.J., 1986. Foundation of Colloid Science Vol.1, Clarendon Press-Oxford New York.
- [27] Lagaly, G., 1993. Coagulation and Flocculation Theory and Applications, pp.427 – 491 Eds. Bohuslav Dobias, Marcel Dekker Inc., New York.
- [28] Yalçın, S., Özbelge, Ö., 1985, Bentonitin Asit Ile Aktifleştirilmesi, *II. Ulusal Kil Sempozyumu*.
- [29] Akbulut, A., 1996 “Bentonit”, MTA eğitim serisi no:32, Ankara,.
- [30] Erdiñç, Ş. Ş. 1976 “Bentonitlerin Metalurjideki Uygulanmaları Yönünden Araştırılması ve Reşadiye Bentonitlerinin Bu Açıdan İncelenmesi”, Doktora tezi, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Baskı atölyesi, İstanbul,.
- [31] Gücer, D. 1992 “Türkiye ticari bentonit killерinin özellikleri ve kullanım alanlarının tespiti”, TÜBİTAK-MAM,.
- [32] Jones, K.G. 1979 “Iron ore pelletisation”, *Industrial minerals*, no:138, 61-74p,.
- [33] TSE (Türk Standardı), 1996 “Döküm Bentoniti”, TS 5360.
- [34] TSE (Türk Standardı), “Bentonit-Sondaj İşleminde Kullanılan”, TS 977.
- [35] Uz B., 1990, Bentonit, Mineraller, *Kristalografi-Mineraloji*, 413-415
- [36] Bailey A.E., 1963 “Refining and bleaching”, Bailey’s industrial oil and fat products,.
- [37] Bensan A.Ş., 1996 “Ağartma toprağı”, Ürün kataloğı, İstanbul,.
- [38] Christidis G.E., Kosiari, S. 2003 “Decolorization of vegetable oils: A study of the mechanism of adsorption of β -carotene by an acid-activated bentonite from Cyprus”, *Clays and Clay Minerals* 51, 327–333.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [39] Çelik, K., Denli, M., Ersoy, İ.E. 2003 “Yem mikotoksinleriyle savaşımında killerin ve değişik adsorbanların kullanımı”, XI. Ulusal Kil Sempozyumu .
- [40] Pasin, G., Acar, J., 1985 “Kilin gıda endüstrisinde kullanım alanları”, II. Ulusal Kil Sempozyumu,.
- [41] Robertson, R.H.S. 1986 “Fuller’s Earth — a History of Calcium Montmorillonite”, Mineralogical Society, Occasional publication, Volturna Press, 412 pages .
- [42] Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T., Noyan, H. 2001 “Bir Bentonitin Katyon Değişirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki”, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya pp. 27-38.
- [43] TSE (Türk Standardı), 1992 “Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan”, TS 10252.
- [44] TSE (Türk Standardı), 1993 “Seramik Sanayinde Kullanılan”, TS 11136.
- [45] TSE (Türk Standardı), 1994 “Bentonit-Kağıt Sanayinde Kullanılan”, TS 11441.
- [46] Rheox, 1997 “Rheology handbook”, Catalogue,
- [47] Ali, Z., 1996 “Detoxification of aflatoxin B1 in broiler diet by using adsorptive property of HI-MAX BS7 and its effect on growthtrait”, Ravi feed industries catalogue, Pakistan,.
- [48] Jalil, H., Rehman, A., Jehangir, M., 1996 “Study on the effect of sodium bentonite supplementation on the performance of the broiler chicks”, Poultry research enstitute, Shamasabad-Pakistan,.
- [49] Saeed, A. 1996 “Bentonite in Animal Feed, A Living Mineral”, Industrial Minerals, No:346, p.47-51,.
- [50] Demirel H. Ve diğ., 1995 “Bentonit ve diğer killerin absorbant olarak kullanımı”, Endüstriyel hammaddeler sezozyumu, İzmir,.
- [51] O’ Driscoll, M. 1992 “European Cat Litter; Absorbing Market Growth”, Industrial Minerals, No:298, p.46-65,.
- [52] Santaren, J. 1993 “European market developments for for absorbent clays”, Industrial Minerals, No:393, p.35-50,.
- [53] Kendall, J. 1996 “Desiccant clay”, Industrial Minerals, May,.
- [54] Elementis, 2006, Bentone OC, *Product Catalogue*, 32, USA.
- [55] Köroğlu H. J., Kocakuşak, S., Akçay K., Yüzer H., Savaşçı Ö.T., Tolun, R., 1998, Production Of Inorganically Modified Clays Suitable For Use With Water Based Paints As Thickener And Thixotropic Agent. *Proceedings Of The 7th International Mineral Processing Symposium*, 275-278, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [56] Çınar M., 2005, Sepiyolit reolojik özelliklerinin belirlenmesi ve su bazlı sepiyolit üretimi. *Doktora tezi*, 214, İ.T.Ü.
- [57] Güven N., 1992, Rheology aspects of smectite suspensions, in Clay-Water Interface and Its Rheological Implications, Eds. Güven N., Pollastro R.M., *CMS Workshop Lectures*, Vol.4, USA, 77-120.
- [58] Luckham P.F., Rossi S., 1999, The Colloidal and Rheological Properties of Bentonite Dispersions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 82, 43-92.
- [59] Van Olphen H., 1992, Particle Associations In Clay Suspensions And Their Rheological Implications In Clay-Water Interface And Its Implications. *CMS Workshop Lectures*, 4, USA, pp. 192-200.
- [60] De Kretser R.G., Scales P.J., Boger D.V., 1998, Surface chemistry-rheology inter-relationships in clay suspensions. *Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Eng. Asp.*, 137, 307-318.
- [61] Abend S., Lagaly G., 2000, Sol-gel transitions on sodium montmorillonite dispersions. *Applied Clay Science*, 16, 201-227.
- [62] Missiana T., Adell A., 2000, On the applicability of DLVO theory of the prediction of clay colloids stability, *Journal of Colloid and Interface Science*, 230, 150-156.
- [63] Barnes H.A., 1980, Dispersiyon rheology. *Royal Society of industrial division*, London.
- [64] Kamal, M.K., Mutel, A., 1985, Rheological Properties of Suspensions In Newtonian And Non-Newtonian Fluids. *J. Polym. Eng.* 5, 293-382.
- [65] Everett, D.H., 1988, Basic principles of colloid science. *Royal Society of Chemistry*, London.
- [66] Chang, S.E., Ryan, M.E., Gupta, R.K., 1993, The Effect of pH, ionic strength, and temperature on the rheology and stability of aqueous clay suspensions, *Rheol. Acta*, 32, 263-269.
- [67] Henderson, C.B., Scheffee, R.S., Mchale, E.T., 1982, Coal-water slurries: a low-cost liquid fuel for boilers, *AIChE meeting*. Cleveland.
- [68] Metzner, A.B., 1985, Rheology of suspensions in polymeric liquids. *Journal of Rheology*, 29, 739-775.
- [69] Permien, T., Lagaly, G., 1994a, The Rheological And Colloidal Properties of Bentonite Dispersions In The Presence Of Organic Compounds: I. Flow Behaviour of Sodium-Bentonite in Water-Alcohol, *Clay Miner*, 29, 751-760.
- [70] Permien, T., Lagaly, G., 1994b, The Rheological And Colloidal Properties of Bentonite Dispersions In The Presence Of Organic Compounds: II. Flow Behaviour of Wyoming Bentonite in Water-Alcohol, *Clay Miner*, 29, 761-766.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [71] Weinberger, C.B., Goddard, J.D., 1974, Extensional flow behaviour of polymer solutions and particle suspensions in a spinning motion, *Int. J. Multiph. Flow* 1, 465–486. Abstract
- [72] Viseras, C., Meeten, M., Lopez-Galindo, A., 1999, Pharmaceutical Grade Phyllosilicate Dispersions: The Influence Of Shear History On Floc Structure. *International Journal of Pharmaceutics*, 182, 7-20.
- [73] Van Olphen, H., 1963, *An Introduction to Clay Colloid Chemistry*, Interscience, Publishers, New York USA.
- [74] Sarıkaya, Y., 1985, Bitkisel Yağların Ağartılması ve Ağartma Toprakları, (yayınlanmamış), *Bensan A.Ş. Projesi*, 1-13s.
- [75] Sarıkaya, Y., Ceylan, H., Biçer, C., Biçer, N., Bozdoğan, İ., 1985a, Killerin Ağartıcı Özellikleri, *II. Ulusal Kil Sempozyumu*, 507-512, Ankara.
- [76] Sarıkaya, Y., Ceylan, H., Biçer, C., Biçer, N., Bozdoğan, İ., 1985b, Asit Aktivasyonu ile Killerin Fizikokimyasal Özelliklerinin Değişimi, *II. Ulusal Kil Sempozyumu*, 215-220, Ankara.
- [77] Yıldız, N., Çalıklı, A., Sarıkaya, Y., 1999, The characterization of Na₂CO₃ Activated Kütahya Bentonite, *Turk J Chem.*, 23 , pp.309 — 317.
- [78] Kocakuşak, S., Akçay, K., Köroğlu, H.J., Yüzer, H., Ayok, T., Savaşçı, Ö.T., Tolun, R., 1997, Bentonitlerin, Silanlama Yöntemi ile Tiksotropilerinin Araştırılması, *İkinci Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 177-186, İzmir.
- [79] Onikata, M., Annaka, G., 1963, *Modifizierter Bentonit*, Offenlegungsschrift, De 4300996.,
- [80] Lebedenko, F. And Plee, D., 1988. Some consideration on the aging of Na₂CO₃ activated bentonites. *Appl. Clay Sci.*, 3: 1-10.
- [81] Bol, G.M., 1986, Bentonite Quality and Evaluation Methods, *SPE Drilling Eng.* 288-296
- [82] Burdick C. L., 2002, Aqueous systems comprising an ionic polimer and a viscosity promoter, processes for their preparation, and uses thereof, *US-Patent Office*, US6359040.
- [83] Glass Jr. J. E., 1985, Hec-bentonite compatible blends, *US-Patent Office*, US4561985.
- [84] Lumus J. L., Okla T., 1969. Method of Drilling with Polimer-Treated Drilling Fluid, *US-Patent Office*, US3472325.
- [85] Scott P. P., Okla Jr. T., 1962, Low Solids Drilling Fluid, *US-Patent Office*, US 3070543.
- [86] Swanson B. L., Okla B., 1970, Drilling Fluids, *US-Patent Office*, US3525688.
- [87] Çinku, K., 2008, Aktivasyon Yöntemleri İle Bentonitten Su Bazlı Kıvamlaştırıcı Üretiminin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, 296 syf

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [88] ASTM C837-99, 2003, Standart Test Method for Methylene Blue Index of Clay, ASTM International, 2, USA
- [89] Sabah E., Mart, U., Çınar M., Çelik M.S., 2007, Zeta Potentials of Sepiolite Suspensions in Concentrated Monovalent Electrolytes, *Separation Science and Technology*, 42 (10), 2275-2288.
- [90] Çinku, K., Özkan, Ş. G., Boylu, F., Can, F., & Çelik, M. S., 2007, “Reşadiye Bentonitlerinin Reolojik Özelliklerine Mekanik Aktivasyonun Etkisi”, 13. Ulusal Kil Sempozyumu,
- [91] Çakıcıoğlu, F., Böke, N., Umaç., Peker, S., 1985, Kilin Kuru Yöntemle Asit Aktivasyonuna Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi. *II. Ulusal Kil Sempozyumu*, Ankara, 187-203 S.
- [92] http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/kil_bentonit.htm, (Ocak, 2000).
- [93] TSE (Türk Standardı), 1994 “Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan”, TS 11326.
- [94] Ece, Ö.I., Güngör, N., Alemdar, A., 1999, Influences of electrolytes, polymers and a surfactant on rheological properties of bentonite-water systems, *J. Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chem.*, 33, 155-168.
- [95] Obut, A., Girgin, İ., 2005, Magnezyum, kurşun ve manganez iyonlarının bentonit süspansiyonlarının jelleşme karakteristiği üzerindeki etkisi, *Madencilik*, 44, 2, 17-24

EKLER

Ek 8.1. Karıştırma hızı ve karıştırma süresinin viskoziteye etkisi (Brookfield 100 rpm S21 spindle)

Süre	Rpm			
	7500 d/d	9200 d/d	11850 d/d	20000 d/d
1 dk	12.5	12.5	13.5	21
5 dk				32.5
10 dk	20	21	26	44
20 dk				78.5
30 dk				91

Ek 8.2. Karıştırma süresinin ve karıştırma hızının viskoziteye etkisi (24 saat sonrası) (Brookfield 100 rpm)

Süre	Rpm			
	7500 d/d	9200 d/d	11850 d/d	20000 d/d
1 dk	18	21.5	21.5	30
5 dk				42
10 dk	29.5	31	39	57.5
20 dk				105
30 dk				129

Ek 8.3. Bekleme Süresinin Viskoziteye Etkisi (Brookfield S21) (Şekil 8.1.)

Süre (saat)	Viskozite cP (100 rpm)
0	26
2.5	35
4	35.5
5	37
8	37
16	35
20	36.5
24	39
50	40.5

Ek 8.4. MgO'in viskozite(brookfield) ve pH üzerine etkileri (Şekil 8.2.)

%MgO	Viskozite cP (100 rpm)	pH
0.5	73.5	10.44
1	75.5	10.68
1.5	76	10.76
2	76	10.85
2.5	92.5	10.76
3	86	10.73
4	92.5	10.71

Ek 8.5. MgO'in viskozite ve pH üzerine etkileri (24 saat sonrası)(Brookfield) (Şekil 8.2.)

%MgO	Viskozite cP (100 rpm)	pH
0.5	62	10.09
1	100.5	10.49
1.5	132	10.72
2	134	10.89
2.5	164	10.97
3	176	11.03
4	187	11.15

Ek 8.6. MgO Varlığında Optimum Karıştırma Süresi (Brookfield) (Şekil 8.4.)

	Süre	1 Dk	2 Dk	4 Dk	8 Dk	16 Dk
Viskozite cP (100 rpm)		40	55	51.50	70.50	99.50
pH		10.83	10.92	10.88	10.79	10.93

Ek 8.7. MgO Varlığında Optimum Karıştırma Süresi (1 Gün Sonrası)(Brookfield) (Şekil 8.4.)

	Süre	1 Dk	2 Dk	4 Dk	8 Dk	16 Dk
Viskozite cP (100 rpm)		97.5	126	113	120	138
pH		10.86	10.87	10.85	10.82	10.80

Ek.8.8. MgO Varlığında Optimum Bekleme Süresi (Brookfield) (Şekil 8.5., 8.6.)

Süre (saat)	Viskozite cP (100 rpm)	pH
0	75.5	10.73
1	163.5	10.78
2	150.5	11.01
4	153.5	10.84
6	144	10.80
16	105.5	10.82
18	102.5	10.83
20	105	10.74
24	112.5	10.67
84	117	10.60

Ek 8.9. Sıcaklığın Viskozite Üzerindeki Etkileri (Şekil 8.7.)

sıcaklık	Viskozite cP (Fann@600 rpm)	Viskozite cP (Brookfield@100 rpm)	pH
25	34	163.5	10.78
40	36	167	10.75
50	37	181	10.83
60	42	199.5	10.75
80	44	206	10.74

MgCl ₂ -HCl- NaOH		MgCl ₂ -HCl- KOH		MgOH-HCl- NaOH		MgOH-HCl- KOH		MgO-HCl- NaOH		MgO-HCl- KOH	
pH	Viskozite	pH	viskozite	pH	viskozite	pH	viskozite	pH	Viskozite	pH	viskozite
1.76	42	8.45	38	2.74	58.5	10.75	131.5	1.97	41	11.29	118
4.25	56	10.13	59	4.94	74	11.10	134.5	5.18	46	11.48	107
4.96	56	10.33	58	5.47	79.5	11.77	166	7.75	54.5	11.59	109.5
5.81	46.5	10.80	53	5.78	97	12.10	199	8.79	51	11.73	109
6.34	49.5	11.45	64	7.04	71.5	12.42	206	9.73	121.5	12.01	117.5
7.12	44	11.95	84.5	8.06	83			10.19	127	12.29	151
7.40	52	12.24	109.5	9.60	82.5			10.80	127.5	12.48	164.5
7.68	51.5	12.55	114.5	10.82	81.5			11.61	139		
8.04	52			11.40	129			12.35	189.5		
8.48	35			12.25	163.5						
9.52	68.5										
10.05	81										
10.72	72										
11.25	95.5										
12.15	129										
12.59	186										

Ek 8.10. MgO, MgOH ve MgCl₂'ün pH'ya Bağlı Viskoziteleri (Brookfield 100 rpm) (Şekil 8.8.)

Zaman (saat)	Asitik pH'dan Doğal pH'ya Geliş Süreci		Bazik pH'dan Doğal pH'ya Geliş Süreci		Suyun Doğal pH'sından Bentonitin Doğal pH'sına Geliş Süreci	
	pH	TDS	pH	TDS	pH	TDS
00:00:15	8,32	317	10,51	861	8,21	202
00:00:30	8,58	568	10,43	996	8,53	352
00:00:45	8,68	1170	10,30	1240	8,70	548
00:01:00	---	---	10,27	1340	8,80	646
00:01:15	8,80	1280	10,23	1370	8,85	715
00:01:30	8,83	1390	10,20	1500	8,89	877
00:01:45	8,84	1410	10,18	1610	---	---
00:02:00	8,87	1430	10,17	1800	8,93	877
00:02:30	8,88	1530	---	---	---	---
00:03:00	8,90	1620	10,28	1760	8,97	877
00:04:00	8,91	1650	10,30	1740	8,98	877
00:05:00	8,92	1660	10,31	1740	8,97	877
00:07:30	8,94	1750	10,30	1750	8,91	1530
00:10:00	8,95	1750	10,28	1780	8,98	1610
00:15:00	8,95	1720	10,26	1720	8,98	1610
00:20:00	8,95	1720	10,23	1740	8,98	1660
00:25:00	8,93	1750	10,21	1720	8,98	1660
00:30:00	8,92	1750	10,19	1710	8,97	1690
00:40:00	8,90	1750	10,15	1720	8,97	1660
00:50:00	8,88	1720	10,12	1790	8,96	1630
01:00:00	8,83	1720	10,08	1760	8,95	1680
02:00:00	---	---	9,94	1750	8,90	1660
03:00:00	---	---	9,83	1750	8,86	1600
04:00:00	---	---	9,71	1740	---	---
05:00:00	---	---	9,54	1690	---	---
05:30:00	---	---	9,46	1700	---	---

Not: TDS= Süspansiyondaki Toplam İyon Sayısı

Ek 8.11. Bentonitin Bufere Özelliğinin Zamana Bağlı Değişimi (Şekil 8.9.)

ÇANKIRI GRİ HAM KURU AKTİVASYON		20 dk Sonra				24 Saat Sonra				Zeta Pot. mV	Spe. Cond. µmhos/cm					
		Viskozite cP FANN		Viskozite cP FANN		Viskozite cP		Filtrasyon				Alma Noktası				
%Na ₂ CO ₃	%MgO	300 RPM	600 RPM	pH	300 RPM	600 RPM	Brookfield 100 RPM	pH	Şişme (ml)	Kayıp (ml) 7,5 dk	30 dk		Süzünme Hacmi (ml)	Plastik Viskozite	Alma Noktası	
0		20,5	27	9,54	35	43	655	9,47	21	7	15,2	16,4	8	24	-29,1	1210
0,5		36	42	10,61	49	56	1045	10,21	24	6,6	14,4	15,6	7	42	-28,1	1370
1		63	67,5	10,83	64	68	1310	10,44	27	6,8	14,8	16	4	60	-40	1420
1,5		95	100	11,01	95	100	2110	10,72	27	7,4	16	17,20	5	90	-52,2	1440
2		124,5	128	11,03	131	135	2690	10,89	31	8,4	17,8	18,8	4	127	-58,2	1520
3		167	170	11,16	207	219	4045	11,17	30	11,6	23,8	24,4	124	195	-83,5	1520
4		173	182	11,17	237	241	4855	11,24	27	12,4	26,2	27,6	4	233	-61,7	1570
0		26	32	10,06	31	38,5	565	9,93	22	7,5	15,4	15,8	7,5	23,5	-41,2	1390
0,5		44,5	50	10,8	45	52	930	10,47	25	7,8	15,8	16	7	38	-39,6	1440
1		65	59	10,97	68	71	1265	10,7	27	7,9	16,6	17,4	3	65	-44,1	1520
1,5		94	99	11,06	92,5	96	1870	10,82	30	8,9	18,4	19	3,5	89	-64,6	1620
2		125	129	11,17	121	127	2720	10,98	35	9,1	19,4	20,6	6	115	-85,8	1830
3		162	170	11,28	183,5	189	3530	11,24	33	11,2	23,6	24,8	5,5	178	-41,1	1640
4		177,5	198,5	11,34	208	218	3990	11,33	30	13,4	27,8	28,8	10	198	-38,6	
0		26,5	32,5	10,44	33	41	605	10,33	25	6,6	13,7	14,2	8	25	-39,5	1680
0,5		53	60	10,97	52,5	60	1005	10,78	24	6,6	13,6	14	7,5	45	-39,2	1810
1		82	81,5	11,15	75	77	1455	11,03	27	7,4	16	17,2	2	73	-48,8	1990
1,5		110	114	11,24	107	110	2145	11,19	30	7,8	17	18,4	3	104	-40,7	2150
2		125	133	11,34	134	142	2740	11,33	29	9	19	20	8	126	-37,9	2090
3		164	171	11,47	185	191	3545	11,5	35	11,2	23	23,6	6	179	-67	2160
4		200	210	11,59	210	215	4155	11,6	34	12	25	26	5	205	-29,7	2320

Ek 8.12a Çankırı Gri Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Sonuçları I

ÇANKIRI GİRİ		24 Saat Sonra												
HAM KURU		20 dk Sonra					24 Saat Sonra							
AKTİVASYON		Viskozite cP FANN		Viskozite cP FANN		Viskozite cP		Filtresyon		Süzünümü		Zeta		
%Na ₂ CO ₃ %MgO		300 RPM	600 RPM	pH	300 RPM	600 RPM	Brookfield 100 RPM	pH	Şişme (ml)	Kaybın (ml)	Hacmi (ml)	Plastik Viskozite	Akma Noktası	Spe. Cond. µmbhos/cm
		300 RPM	600 RPM	pH	300 RPM	600 RPM	RPM	pH	(ml)	7,5 dk	30 dk	Viskozite	Noktası	mV
0		-	28	10,34	32	39	610	10,32	27	6,6	13,7	14,2	25	-52
0,5		-	40	10,96	45	52	920	10,85	30	6	12,3	12,6	38	-51,8
1		-	66	11,17	74	76	1445	11,07	27	7,3	15	15,4	72	-39,8
3	1,5	-	82	11,31	95	100	2850	11,24	31	8	17,3	18,6	90	-42,2
2		-	114	11,32	122	129	2505	11,31	31	39,3	20	21,4	115	-51,4
3		-	135	11,35	143	152	2900	11,44	37	11	22,8	23,6	134	-36,5
4		-	141	11,37	153	162	3020	11,5	33	12	25	26	144	-30
0		23	28,75	10,45	31,5	38	585	10,43	23	6,5	14,5	16	25	-49,2
0,5		26	28,75	10,98	45	52,5	855	10,73	20	6,6	14,6	16	37,5	-49,9
1		45,5	47	11,11	72	74	1400	10,85	25	7,6	16,4	17,6	70	-35,1
4	1,5	71	75	11,19	90	94	1830	10,95	30	8,8	18,8	20	86	-41,3
2		74	80	11,23	95	97,5	1735	11,02	40	10,40	21,7	22,6	92,5	-37,1
3		67	70,5	11,28	92	94	1660	11,2	45	12,6	26,2	27,2	90	-41,3
4		53,75	61	11,33	81,5	85	1265	11,3	37	15	30,7	31,4	78	-38,1
0		6	8,75	9,58	7,5	11	65	9,31	14	9	20	22	4	-36,9
0,5		11,75	15	10,51	13	17	175	10,28	9	9,4	21	23,2	9	-33,1
1		18,75	22	10,68	17	21	300	10,39	11	11,6	23,5	23,8	13	-30,2
0	1,5	21	25	10,77	18	22	345	10,69	12	13,2	27,4	28,4	14	-45,3
2		23,5	27	10,82	19,5	23	345	10,77	15	15	31,7	33,4	16	-47,8
3		26,75	30	10,96	24	27	395	10,94	17	18	39,3	42,6	21	-69,9
4		32	36	11,03	29	33	490	11,05	15	22,4	45,6	46,4	25	-50,7

Ek 8.12b. Çankırı Gri Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Sonuçları II

ÇANKIRI SARI		24 Saat Sonra												
HAM KURU		20 dk Sonra					24 Saat Sonra							
AKTİVASYON	%Na ₂ CO ₃	Viskozite cP FANN		Viskozite cP FANN		pH	Şişme (ml)	Filtrasyon Kaybı (ml)		Süzüntü Hacmi (ml)	Plastik Viskozite	Alama Noktası	Zeta Pot. mV	Spe. Cond. µmbos/cm
		300 RPM	600 RPM	300 RPM	600 RPM			7,5 dk	30 dk					
0	0,5	9,5	12,5	9,21	15	20	21	15	30	30	5	10	-42,1	2080
	0,5	20	24,5	10,17	23	29	22,5	13	25	24	6	17	-33,6	2010
	1	37	41,5	10,24	28	33	25	11	25	28	5	23	-37,1	1970
	1,5	31	35	10,38	25,5	30	26	13	26,6	27,2	4,5	21	-33,3	2040
	2	28	32	10,48	22	26	24	16	32	32	4	18	-33,9	2070
	3	21	25	10,6	16	20	22	19	40	42	4	12	-43,7	2110
	4	14,25	18	10,66	13	16	20	26,8	55	56,4	3	10	-48,8	2280
0	0,5	16,25	21,5	9,62	22	29	24	12,8	26	26,4	7	15	-39,8	2070
	0,5	39	44	10,17	40	47	26	11	22,8	23,6	7	33	-31,9	2100
	1	48,75	54	10,32	44	52	30	11,4	23,4	24	8	36	-54,4	2050
	1,5	43,75	48,75	10,47	39	45	33	11,6	24,2	25,2	6	33	-47,5	2080
	2	34,5	38	10,59	31	35	33	15,4	32,2	33,6	4	27	-42,1	2170
	3	25	30	10,71	23,75	27	30	20	42	44	3,25	20,5	-35	2340
	4	19,25	23,25	10,78	18	22	29	26	53	54	4	14	-47	2460
0	0,5	25	30	9,76	32,5	40	24	10,3	22,2	23,8	7,5	25	-36,7	2190
	0,5	46	53	10,36	48	57	30	9,2	19,8	21,2	9	39	-39,1	2230
	1	75	74	10,54	59	65	33	9	19,4	20,8	6	53	-45,6	2270
	1,5	79	75	10,62	57	63	35	9,4	20,4	22	6	51	-39,7	2270
	2	79	76	10,72	74	78	38	11,8	24,2	24,8	4	70	-35,9	2390
	3	64	70	10,81	65	69	40	15,6	31,8	32,4	4	61	-31,7	2490
	4	53	58	10,9	50	54	35	20	40	40	4	46	-32,2	2500

Ek 8-13a Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları I

ÇANKIRI SARI		20 dk Sonra										24 Saat Sonra																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		Viskozite cP FANN					Viskozite cP FANN					Viskozite cP					Filtresyon					Süzüntü					Plastik					Alma					Zeta																																																																																																																																																																																																																																																																		
HAM KURU		300 RPM					600 RPM					pH					Brookfield 100 RPM					Şişme (ml)					Kaybı (ml)					7,5 dk					30 dk					Haçını (ml)					Viskozite					Noktası					Zeta Pot. mV					Spe. Cond. jumbos/cm																																																																																																																																																																																																																																									
AKTİVASYON		300 RPM					600 RPM					pH					600 RPM					pH					RPM					(ml)					7,5 dk					30 dk					(ml)					Viskozite					Noktası					Zeta Pot. mV					Spe. Cond. jumbos/cm																																																																																																																																																																																																																																				
%Na ₂ CO ₃		300 RPM					600 RPM					pH					600 RPM					pH					RPM					(ml)					7,5 dk					30 dk					(ml)					Viskozite					Noktası					Zeta Pot. mV					Spe. Cond. jumbos/cm																																																																																																																																																																																																																																				
0		27	34	9,87	38	46	710	9,74	27	10	21	22	8	30	32	2460	0,5	50	58	10,43	56	69	885	10,17	31	8,4	18	19,2	13	43	Namuna Sıvısı, Az	1	69	80	10,59	65	78	1235	13,32	33	8,6	18,4	19,6	13	52	-35,1	2400	2	86	96	10,76	75	86	1405	10,48	35	9,2	19,8	21,2	11	64	-45	2440	3	137	140	10,89	110	117,5	2165	10,62	38	9,4	22	25,2	7,5	102,5	-66	2460	4	150	161	11,13	123	130	2445	10,96	39	13,2	27	27,6	7	116	-56,3	2400	0	26	33	10,17	37,5	47	705	10,08	25	8,6	19	20,8	9,5	28	-27,5	2720	0,5	53	61	10,62	55	66	1055	10,43	27	7,4	17,5	20,2	11	44	-22,5	2710	1	85	89	10,83	71	82	1395	10,5	30	8,2	17,2	18	11	60	3	96	105	10,91	93	97	1695	10,57	34	9,2	19,2	20	4	89	2	113	118	10,98	98	105	2005	10,72	36	10,8	22	22,4	7	91	3	110	119	11,06	107	108	1810	10,85	30	14,2	28,2	28	1	106	4	74	89	11,14	79	86	1530	10,97	29	17	35	36	7	72	0	23	29	10,47	37	45,5	665	10,38	26	8,1	17,6	19	8,5	28,5	0,5	45	52	10,78	51,5	61,5	1030	10,59	30	7,4	16	17,2	10	41,5	1	77	78	10,92	72	79	1095	10,64	32	7,9	17	18,2	7	65	4	90	95,5	11,05	81	88	1560	10,74	31	8,6	18,6	20	7	74	2	95	100	11,15	89	94	1800	10,84	37	11	23	24	5	84	3	89	97	11,24	97	99	1800	11	43	13,4	28	29,2	2	95	4	66	73	11,23	69,5	73	1370	11,12	42	13,7	35,2	43	3,5	66

Ek 8-13b Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları II

		24 Saat Sonra														
		20 dk. Sonra				24 Saat Sonra										
		Viskozite cP				Viskozite cP				Filtrasyon				Zeta Pot.		
		FANN		pH	FANN		Brookfield		pH	Şişme (ml)	Kaybı (ml)	Süzüntü Hacmi (ml)	Plastik Viskozite	Alma Noktası	Zeta Pot. mV	Spe. Cond. µmhos/cm
		300 RPM	600 RPM		300 RPM	600 RPM	100 RPM	100 RPM		7,5 dk	30 dk	(ml)				
%Na ₂ CO ₃	%MgO	RPM	RPM		RPM	RPM										
0	0	20	25	9,33	27	32	515	9,22	17	9,4	20,7	22,6	5	22	32,7	1720
0,5	0,5	43	47	10,56	40,5	45	765	10,16	19	9,6	21,3	23,4	4,5	36		
1	1	55,5	60	10,78	48	51	765	10,3	19	12,8	26,8	28	3	45		
1,5	1,5	67	73	10,78	57	62	975	10,56	20	13	27,2	28,4	5	52		
2	2	46	51	10,77	42	46	670	10,66	20	16	33,6	35,2	4	38		
3	3	57	62	10,84	57,5	61,5	920	10,85	20	17,8	36,4	37,2	4	53,5		
4	4	35	39	10,81	34,5	39	550	10,88	19	23	47,3	48,6	4,5	30		

Ek 8-13c Çankırı Sarı Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları III

SİLİVRİHAM		20 dk Sonra					24 Saat Sonra									
		Viskozite cP FANN		pH		Viskozite cP FANN		pH		Süzünümlü Hacmi (ml)		Zeta Pot. mV	Spe. Cond. jumbos/cm			
KURU AKTİVASYON	%Na ₂ CO ₃	300 RPM	600 RPM			300 RPM	600 RPM			7,5 dk	30 dk			Alkma Noktası	Plastik Viskozite	
0,5	0	2	3	9,16		2,5	4	8,97	11,5	33,8	66	64,4	1,5	1	-36,5	398
	0,5	2	3	10,21		2	4	9,98	10,5	21,8	43	42,4	2	0	-46,9	314
	1	2	3,5	10,19		2,5	4	10,06	10	24	47,6	47,2	1,5	1	-46,8	305
	1,5	2	3,5	10,37		2,5	4	10,22	11	27,4	55,4	56	1,5	1	-28,6	335
	2	2	3,5	10,37		2,5	4	10,28	12	32,5	64	63	1,5	1	-47,5	337
	3	2	3,5	10,64		2	3	10,5	11	51,2	101,8	101,2	1	1	-39,5	341
	0	2,5	3,5	9,28		2	4	9,12	12	29,6	57	54,8	2	0	-41	646
	0,5	2,5	4,25	10,04		3	4,75	9,81	11,5	17,8	35,6	35,6	1,75	1,25	-29,3	370
	1	2,5	4,25	10,08		3	5,25	9,9	11	17	34,4	34,8	2,25	0,75	-51	376
	1,5	2,5	4,75	10,21		2,75	4,5	10,08	11	19,8	40,4	41,2	1,75	1	-52,4	429
1	2	2,25	4	10,31		2,5	4,25	10,17	10,5	26,8	54,8	56	1,75	0,75	-40,8	480
	3	2,25	4	10,54		2,5	4,25	10,44	11,5	45	94,5	99	1,75	0,75	-34,1	586
	0	3	4	9,43		2,5	4,5	9,28	12	21	41,8	41,6	2	0,5	-31,5	686
	0,5	2,5	4	10,25		3,5	5,75	9,86	10,5	13,8	27,4	27,2	2,25	1,25	-31,6	559
	1	2,5	4	10,33		4	6,75	10	13	13,4	27,2	27,6	2,75	1,25	-34,7	537
	1,5	3	5	10,41		3,75	6,5	10,1	14	16,6	33,2	33,2	2,75	1	-56,9	586
	2	3,25	5	10,51		3	5,5	10,23	13	20,8	42,6	43,6	2,5	0,5	-38	638
	3	3,5	5,25	10,57		3	5,25	10,46	13	37,2	76,3	78,2	2,25	0,75	-45,3	664
	0	3	5	9,6		3,5	6	9,44	14	13	25,8	25,6	2,5	1	-33,4	643
	0,5	3	5	10,44		5	8,75	10,11		9,6	21,4	23,6	3,75	1,25	-59,3	608
2	1	3,5	5,5	10,59		5	8,25	10,3		11,8	25,6	27,6	3,25	1,75	-63,2	634
	1,5	4	6	10,68		4	7	10,45		14,8	33,5	37,4	3	1	-36	686
	2	4,5	6,5	10,73		4	6,75	10,58		21,8	45,2	46,8	2,75	1,25	-29,1	736
	3	4,25	6,5	10,82		4	6	10,7		32	66	68	2	2	-30,3	865

Ek 8-14a Silivri Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları I

SİLİVRİ HAM KURU AKTİVASYON		24 Saat Sonra											
		20 dk Sonra					24 Saat Sonra						
%Na ₂ CO ₃	%MgO	Viskozite cP FANN		pH	Filtirasyon		Süzüntü Hacmi (ml)	Plastik Viskozite	Alma Noktası	Zeta Pot. mV	Spe. Cond. µmhos/cm		
		300 RPM	600 RPM		Kayıbı (ml)	Şişme (ml)						7,5 dk	30 dk
0	4	4	7	9,8	4	7	11,8	24,2	24,8	3	1	-36,4	730
0,5	4	4	6,75	10,55	7,5	13	9,6	21,9	24,6	5,5	2	-26	727
1	4	4	6,25	10,63	4,75	8	13	28,4	30,8	3,25	1,5	-33,7	707
1,5	7	7	10,5	10,73	7,5	11,75	14,5	30,4	31,8	4,25	3,25	-30,8	838
2	7	7	10	10,77	7,25	11	16,8	35,7	37,8	3,75	3,5	-20	906
3	8,5	8,5	11,5	10,81	8	10,75	23,8	48,2	48,8	2,75	5,25	-30	1360
0	11	11	17	10,25	11	17	9,6	20	20,8	6	5	-37,6	1430
0,5	23	23	33	10,79	18,5	26,75	9,2	20,3	22,2	8,25	10,25	-40,2	1360
1	45,5	45,5	51,5	11,01	35,5	44,75	10,4	22,6	24,4	9,25	26,25	-40,6	1680
1,5	61	61	65	11,08	54	61,5	12,3	25,8	27	7,5	45,5	-39,6	1650
2	57	57	63	11,1	49	54	13,3	27,8	29	5	44	-56,3	1720
3	56	56	59	11,19	45,5	50	16,6	33,6	34	4,5	41	-411	2000
0	2	2	4	9,23	2	4	32	63	62	2	0		
0,5	3	3	5	10,3	2,5	4,5	35	69	68	2	0,5		
1	3,5	3,5	5,5	10,61	2,5	5	45	87	84	2,5	0		
1,5	4	4	5,5	10,71	3	5	48	89	82	2	1		
2	4,5	4,5	6	10,73	3	5	45	91	92	2	1		
3	5	5	6	10,69	3,5	5,25	58	116	116	1,75	1,75		

Ek 8-14b. Silivri Tüvenan Bentonitinin Kuru Aktivasyon Test Sonuçları II

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Çorlu'da doğan Tan ÇETİNEL, 2006 yılında Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitimini tamamlamış ve aynı sene Yüksek Lisans eğitime başlamıştır.

Şuan özel bir sektörde Maden Mühendisliği yapmakta olan Tan ÇETİNEL, evlidir.