İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SODA VE MgO İLE AKTİFLENDİRİLMİŞ ARATİP BENTONİTLERİN SONDAJ VE DÖKÜM BENTONİTİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan Burak AVCI

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Cevher ve Kömür Hazırlama

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SODA VE MgO İLE AKTİFLENDİRİLMİŞ ARATİP BENTONİTLERİN SONDAJ VE DÖKÜM BENTONİTİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sinan Burak AVCI
(505061104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Gülay BULUT (İTÜ)
Doç. Dr. Sebahattin GÜRMEZ (İTÜ)

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Ülkemizdeki madencilik anlayışı maalesef bilimsellikten uzak bir şekilde hayat bulmaktadır. Sahip olduğumuz mevcut zengin mineral rezervlerinin Türk ekonomisine tam katkı sağlayamadan çıkarılıp yabancı ülkelere ham olarak pazarlanması, ülkemiz açısından büyük bir kayıp yaratmaktadır. Ülkemizde pek çok mineral kaynağı, işlenmemiş haliyle değerli görülmemekte ve ekonomik hale getirebilmek için gerekli çalışmalara önem verilmemektedir. Bu tez çalışmasında endüstriyel bir sorun masaya yatırılmış ve gerekli incelemeler yapılıp nasıl bir yol izlenebileceği gösterilmiştir. Umarım Türk ekonomisine katkıda bulunacak her türlü teknik çözümün bu ve bunun gibi tez ve projelerde hayat bulması umuduyla...

Aralık 2008

Sinan Burak AVCI

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET xvii
SUMMARY xix
1.GİRİŞ **1**
1.1. Giriş Ve Çalışmanın Amacı 1
1.2. Killer Hakkında Genel Bilgiler 2
1.2.1. Kil minerallerinin tanımı 2
1.2.2. Kil minerallerinin sınıflandırılması 2
1.2.3. Yüzey 3
1.2.4. Yük 3
1.2.5. Katyon değiştirme kapasitesi 4
2. BENTONİTİN JEOLOJİSİ VE MİNERALOJİSİ **5**
2.1. Mineralojisi 5
2.2. Oluşumu 5
2.2.1. Volkanik kökenli bentonit yatakları 5
2.2.2. Magmatik (hidrotermal) bentonit yatakları 6
2.2.3. Sedimanter bentonitik kil yatakları 6
3. HAMMADDE TANIMI **7**
3.1. Bentonitin Tarihçesi ve İsimlendirmesi 7
3.1.1. Bilimsel açıdan bentonit 7
3.1.2. Ticari açıdan bentonit 7
3.1.3. Genel anlamda bentonit 8
3.2. Bentonit Karakteristikleri 9
3.2.1. İyon değiştirme kapasitesi 9
3.2.2. Viskozite 9
3.2.3. Tiksotropi 10
3.2.4. Plastiklik 10
3.3. Montmorillonit 10
3.3.1. Montmorillonitlerin Jelleşme Mekanizması ve Reolojik Özellikleri 12
3.4. Bentonitin Kullanım Alanları ve Standartlar 15
3.4.1. Döküm kumu ve peletleme 15
3.4.2. Sondaj alanında kullanımı 16
3.4.3. Gıda sanayinde kullanımı 16
3.4.3.1. Berraklaştırma işleminde kullanım 16
3.4.3.2. Ağartma işlemlerinde kullanımı 17
3.4.4. İlaç sanayinde kullanımı 17
3.4.5. Seramik sanayinde kullanımı 18
3.4.6. Çimento sanayinde kullanımı 18
3.4.7. Kağıt endüstrisinde kullanımı 19
3.4.8. Lastik sanayinde kullanımı 19

Sayfa

3.4.9. İnşaat mühendisliğinde bentonit kullanımı ve bazı özellikleri 20
3.4.10. Sabun ve temizlik maddelerinde kullanımı 22
3.4.11. Gübre yapımında kullanımı 23
3.4.12. Yangın söndürücülerde kullanımı 23
3.4.13. Boya endüstrisinde kullanımı 24
3.4.14. Petrol rafinasyonunda bentonit kullanımı 24
3.4.15. Hayvan yemi yapımında kullanımı 24
3.4.16. Adsorban olarak (kedi kumu) kullanımı 25
3.4.17. Nem alıcı kil (desiccant clay) üretiminde kullanımı 25
4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DEKİ ÖNEMLİ BENTONİT YATAKLARI REZERV VE ÜRETİM MİKTARLARI 27
4.1. Önemli Bentonit Yatakları 27
4.1.1. Dünya'da önemli yataklar 27
4.1.1.1. Wyoming bentonit yatakları 27
4.1.1.2. Ponza bentonit yatakları 27
4.1.1.3. Sardunya bentonit yatakları 28
4.1.1.4. Milos bentonit yatakları 28
4.1.1.5. Almeria bentonit yatakları 29
4.1.1.6. Bavyera bentonit yatakları 29
4.2. Dünyadaki Rezerv Ve Üretim Miktarları 29
4.3. Türkiye'deki Önemli Bentonit Yatakları Ve Üretim Miktarları 32
4.3.1. Enez-Edirne bentonit yatağı 32
4.3.2. Kütahya ve Eskişehir bentonit yatakları 33
4.3.3. Kalecik-Ankara bentonit yatağı 34
4.3.4 Çankırı bentonit yatakları 35
A) Eldivan bentonitleri 35
B) Kurşunlu bentonitleri 35
C) Ilgaz bentonitleri 36
D) Çerkeş bentonitleri 36
4.3.5. Reşadiye-Tokat bentonit yatağı 36
4.3.6. Ünye, Fatsa-Ordu bentonit yatakları 37
4.3.7. Diğer bentonit yatakları 37
5. DÖKÜM PROSESİ VE DÖKÜM KUMU HAKKINDA GENEL BİLGİLER 39
5.1. Döküm Prosesleri 39
5.2. Döküm Kumu Çeşitleri 40
5.3. Döküm Bentoniti Özellikleri 41
5.4. Döküm Kalitesinde Bentonit Tedarikçileri 48
5.5. Metal Döküm Üretimi ve Bentonit Talebi 48
5.6. Döküm Bentoniti Standartları 51

Sayfa

6. BENTONİTİN AKTİVASYONU HAKKINDA GENEL BİLGİLER 53
6.1. Aktivasyon Çeşitleri 53
6.1.1. Alkali aktivasyon 51
6.1.2. Asitle aktivasyon 54
6.1.3. Karboksi metil selüloz ile aktivasyon (cmc) 55
6.1.4. Organik aktivasyon 55
6.1.5. Kuaterner amonyum tuzları ile organik aktivasyon 56
6.1.6. Silan bileşikleri ile organik aktivasyon 56
6.1.7. Yüzey aktif maddeler ve diğer bileşiklerle aktivasyon 57
6.1.8. Su bazlı sistemlerde bentonitlerin aktivasyonu 57
7. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME VE YÖNTEMLER 59
7.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler 59
7.2. Aktivasyon 60
7.3. Döküm Kumu Testleri 60
7.3.1. Kompaktibilite tayini ve standart test numunesi eldesi 63
7.3.2. Yaş basma mukavemeti testi 64
7.3.3. Ezme mukavemeti testi 64
7.3.4. Yaş kesme mukavemeti testi 65
7.3.5. Yaş çekme mukavemeti testi 66
7.3.6. Gaz geçirgenliği testi 66
7.4. Sondaj Çamuru Testleri 67
7.4.1. Şişme testi 67
7.4.2. Filtrasyon kaybı testi 68
7.4.3. Viskozite ölçümleri testi 68
8. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR 71
8.1. Sadece Soda İle Aktive Edilmiş Numunelerin Döküm Testi Sonuçları 72
8.2. Soda İle Aktive Edilmiş Numunelerin Kuru MgO İlavesinden Sonraki Döküm Testi Sonuçları 76
8.3. Soda ve MgO İle Aktive Edilmiş Numunelerin Sondaj Çamuru Testi Sonuçları 80
8.4. Elde edilen veriler arasındaki ilişkilerin grafiklerle incelenmesi 87
SONUÇLAR VE ÖNERİLER 99
KAYNAKLAR 101
EKLER 105
ÖZGEÇMİŞ 117

KISALTMALAR

Al	**:**	Alüminyum
Al_2O_3	**:**	Alüminyum Oksit
API	**:**	American Petroleum Institute
Ca	**:**	Kalsiyum
Fe	**:**	Demir
H	**:**	Hidrojen
H_2O	**:**	Su
H_2SO_4	**:**	Sülfürik Asit
K	**:**	Potasyum
Li	**:**	Lityum
Mg	**:**	Magnezyum
MgO	**:**	Magnezyum Oksit
Na	**:**	Sodyum
Na_2CO_3	**:**	Sodyum Karbonat
Si	**:**	Silisyum
SiO_2	**:**	Silisyum Dioksit (Silikat)
TSE	**:**	Türk Standartları Enstitüsü
Zn	**:**	Çinko

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Başlıca bentonit gruplarının ortalama kimyasal analiz değerleri 9
Çizelge 4.1 : Dünya bentonit rezervleri 30
Çizelge 4.2 : Yıllara göre ülke bazında dünya bentonit üretimi (x1000 ton) 31
Çizelge 4.3 : Dünya bentonit ticaret verileri özeti (x1000ton) 32
Çizelge 5.1 : Yaş kum katkı maddeleri 43
Çizelge 5.2 : Döküm bentoniti teknik dataları 44
Çizelge 5.3 : Her bir kil tipinin fiziksel özellikleri 45
Çizelge 5.4 : Döküm bentonitlerinin avantajları ve dezavantajları 46
Çizelge 5.5 : Temel ülkeler bazında tipe bağlı olarak döküm üretimleri 50
Çizelge 5.6 : TS 5360 standardına göre döküm kumu ve bentoniti özellikleri 52
Çizelge 7.1 : Osmancık bentonit numunesinin tam kimyasal analizi 59
Çizelge 8.1 : COMPENANTA DÖKTAŞ firmasında yapılan bazı ticari ürünlere ait döküm bentoniti test sonuçları ve aranan minimum değerlerle mukayesesi 71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : (a) Değişebilen katyon olarak Na iyonu içeren montmorillonitin moleküler yapısı, (b) Birim tabaka (c) Tabakalar arası enine kesit şematik gösterimi 11
Şekil 3.2 : Montmorillonit kristal modeli 12
Şekil 3.3 : Montmorillonitin suda şişmesi 12
Şekil 3.4 : Montmorillonitte Card-House yapı oluşumu 13
Şekil 5.1 : Dünya'daki döküm tipine bağlı olarak döküm üretimleri, (%) 49
Şekil 5.2 : Dünya: demir döküm üretimi, (1985 -2002) (MTon) 49
Şekil 7.1 : Döküm kumu karıştırıcısı 61
Şekil 7.2 : DISA marka minilab test cihazı 61
Şekil 7.3 : Islak çekme test cihazı 61
Şekil 7.4 : Gaz geçirgenliği test cihazı 61
Şekil 7.5 : Döküm kumu için sıkıştırılabilirlik (kompaktibilite) testi; numune hazırlama ve test prosedürü gösterimi 63
Şekil 7.6 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş basma testi 64
Şekil 7.7 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen ezme testi 65
Şekil 7.8 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş kesme testi 65
Şekil 7.9 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş çekme testi 66
Şekil 7.10 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen gaz geçirgenliği testi 67
Şekil 7.11 : FANN filtrasyon kaybı ölçüm cihazı 68
Şekil 7.12 : Arçelik marka blender 69
Şekil 7.13 : FANN 35SA model viskozimetre 69
Şekil 8.1 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş basma mukavemeti değerleri 72
Şekil 8.2 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş çekme mukavemeti değerleri 73
Şekil 8.3 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş kesme mukavemeti değerleri 74
Şekil 8.4 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen ezme mukavemeti değerleri 74
Şekil 8.5 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen gaz geçirgenliği değerleri 75
Şekil 8.6 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş basma mukavemeti değerleri 76

Sayfa

Şekil 8.7 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş çekme mukavemeti değerleri 77
Şekil 8.8 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen ezme mukavemeti değerleri 78
Şekil 8.9 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş kesme mukavemeti değerleri 78
Şekil 8.10 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen gaz geçirgenliği değerleri 79
Şekil 8.11 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre elde edilen şişme değerleri 82
Şekil 8.12 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre oluşan filtrasyon kaybı 83
Şekil 8.13 : İlk ölçüm pH değerleri 84
Şekil 8.14 : İlk ölçümden 24 saat sonraki pH değerleri 84
Şekil 8.15 : Sadece soda ilavesi yapılmış bentonitin ilk ölçüm ve 24 saat sonraki viskozite değerleri 85
Şekil 8.16 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre ilk ölçümde elde edilen viskozite değerleri 86
Şekil 8.17 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre ilk ölçümden 24 saat sonra elde edilen viskozite değerleri 86
Şekil 8.18 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi 88
Şekil 8.19 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi 89
Şekil 8.20 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişkisi 90
Şekil 8.21 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi 92
Şekil 8.22 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi 93
Şekil 8.23 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişkisi 94
Şekil 8.24 : Soda ve MgO kombinasyon u ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri 95
Şekil 8.25 : Soda ve MgO kombinasyon u ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri 96
Şekil 8.26 : Soda ve MgO kombinasyon u ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri 97

Na_2CO_3 VE MgO KOMBİNASYONU İLE AKTİFLENDİRİLMİŞ ARATİP BENTONİTLERİN SONDAJ VE DÖKÜM BENTONİTİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bentonit, su ile karıştırıldığında kolloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik ortamlarda şişmesi, yüksek plastisiteye ve bağlayıcılığa sahip olması gibi özellikleri nedeniyle bir çok kullanım alanına sahip olan önemli bir kildir. Alkali (Na- bentonit), yarı alkali (Na-Ca bentonit) ve toprak alkali (Ca- bentonit) olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Ülkemizde ve Dünyada Na bentonit rezervleri oldukça sınırlı olup, sınırsız miktarda Na-Ca ve Ca-bentonit rezervleri mevcuttur. Orta ve düşük şişme ve viskozite, düşük yaş basma ve yaş çekme mukavemetleri veren bu bentonitlerin döküm ve sondaj sektöründe kullanımları güçleşmektedir. Bu bentonitlerden endüstrinin kullanabileceği uygunlukta döküm ve sondaj bentoniti elde edilebilmesinin tek yolu ise çeşitli katkı maddeleri ile aktivasyon işlemine tabi tutulmasıdır. Bu tür bentonit yataklarının elde edilecek yeni teknolojik bilgilerle değerlendirilmesi ve bu bilgiler ışığında zenginleştirilmesi ülke ekonomimiz açısından da büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Çorum - Osmancık bölgesine ait ara tip (Na-Ca) bentonitleri, belirli oranlarda Na_2CO_3 ve MgO ile aktive edilerek, döküm kumu karışımı ve sondaj çamuru içerisinde fiziksel ve teknolojik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Elde edilen karışımların önce şişme, viskozite ve filtrasyon kaybı gibi teknolojik özellikleri, ardından da mekanik özellikleri incelenmiş ve bu iki özellik arasında herhangi bir kolerasyon olup olmadığına bakılmıştır. Tez kapsamında, belirli oranlarda katkı yapılan bentonitler; Basma Mukavemeti, Yaş Çekme Mukavemeti, Ezme Mukavemeti, Kesme Mukavemeti ve Gaz Geçirgenliği ölçümleri, döküm bentoniti test yöntemleri ile, Şişme, Viskozite ve Filtrasyon Kaybı ölçümleri de sondaj çamuru test yöntemleri ile yapılarak test edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar piyasadaki ticari bentonitlerin değerleri ile karşılaştırılarak incelenmiştir.

ANALYSING DRILLING AND FOUNDRY CHARACTERISTICS OF MIXED TYPE BENTONITES ACTIVATED BY Na_2CO_3 – MgO COMBINATION

SUMMARY

Bentonite is a very important clay mineral and used in a wide spectrum of industrial processes, depending on its unique colloidal properties such as swelling and high plasticity in both aquous and organic media. Bentonites are classified as alcaline (Na bentonite), mixed type (Na-Ca bentonite), alkaline earth (Ca bentonite).

Although reserves of Na bentonites are limited both in our country and the world wide, there is unlimited reserve of Na-Ca and Ca type bentonites. It is generally difficult to use these Na-Ca and Ca type bentonites in foundry and drilling industry because of their low viscosity and swelling capacity, wet compressive strenght and wet tensile strenght. The only way to produce industrial bentonite in economic norms from these bentonites is to activate them by various additives such as Na_2CO_3 and MgO. It is highly important for our national economy to process these bentonites in the light of new technological developments.

In this study, wet and dry activation process have been applied to the Çorum-Osmancık reagon mixed type bentonites at specific dosages of Na_2CO_3 and also a combination of MgO+ Na_2CO_3. The mixtures were identified by technological properties such as swelling, viscosity and filtration loss. Due to these activations, mechanical properties such as, wet compressive strenght, wet tensile strenght, twin transverse strenght, splitting strenght and gas permeability of these bentonites were evaluated using the procedures and standards of foundry and drilling bentonite testing methods. Correlations between technological and mechanical properties are put forward. The results are evaluated with the commercial bentonites.

1.GİRİŞ

1.1 Giriş Ve Çalışmanın Amacı

İnsanlık tarihi boyunca vazgeçilmez bir hammadde olan kil, günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile daha geniş bir kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Killer su ile çamur hale getirilerek kolayca işlenebilmeleri ve pişirilerek gündelik eşyaların yapımında kullanılmaları, yapı malzemesi ve takılarla kullanıldıkları alanlarda tarihi izleri günümüze taşımış özetle insanlık tarihinin temel hammaddesi olmuştur.

Ülkemizde bolca bulunuşu, düşük üretim maliyeti ve gelişen teknoloji ile artan bentonit talebi günümüzde bu kile olan ilgiyi artırmıştır. Dünya bentonit üretiminin % 30'u döküm sektöründe tüketilmektedir. Ancak döküm sektöründe kullanılacak bentonitin ülkemizde ve dünyada kullanımı için standartlarda belirtilen özelliklere sahip olması gerekmektedir. Standartlarda belirtilen özelliklere sadece bazı ocak çıkışı bentonitler sahip olup, geri kalan çoğu bentonit oluşumlarının bu sektörde kullanılması için zenginleştirme ve aktivasyon işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Bu rezervlerin değerlendirilmesi ülke ekonomisine ve istihdamına önemli katkı sağlayacaktır.

Bu tez çalışması kapsamında, Çorum - Osmancık bölgesine ait ara tip (Na-Ca) bentonitleri, belirli oranlarda Na_2CO_3 ve MgO ile aktive edilerek, döküm kumu karışımı içerisinde fiziksel ve teknolojik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Tez kapsamında, belirli oranlarda katkı yapılan bentonitler, belirli kompaktibilite değerinde; Basma Mukavemeti, Yaş Çekme Mukavemeti, Ezme Mukavemeti, Kesme Mukavemeti ve Gaz Geçirgenliği ölçümleri yapılarak test edilmiş bu testlere ilave olarak oluşan fiziki koşulları daha detaylı görebilmek için Şişme, Viskozite ve Filtrasyon Kaybı testleri de yapılmıştır.

1.2. Killer Hakkında Genel Bilgiler

1.2.1. Kil minerallerinin tanımı

Genel olarak kil, tanecik büyüklüğü 2 mikrondan küçük olan taneciklerin çoğunlukta olduğu, ısıtıldığında 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 fıllosilikat 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 katılaşır (Israelachvili ve McGuiggan; 1988, Guggenheim ve Martin;1995).

1.2.2. Kil minerallerinin sınıflandırılması

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

Kaolinit grubu; kaolinit, dikit ve nakrit olup genel formülü $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ 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 kağıt endüstrisinde parlak kağıt üretiminde çok büyük kullanım alanı vardır.

Smektit grubu; bu gruba giren killerin mineral yapıları kaolinit gibi alüminyum silikat olmalarına karşılık çok farklı bir görünüm içerisindedirler. Yapılarında magnezyum, kalsiyum, demir, sodyum gibi elementler içerirler. Smektit grubu, piropillit, talk, vermikülit, saulorit, sponit, nontronit ve montmorillonit minerallerinden oluşur. Genel formülü (Ca, Na, H) (Al, Mg, Fe, Zn)$_2$ (SiAl)$_4$ O_{10} $(OH)_2$-xH_2O dur. Örneğin talk $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ iken montmorillonit $Na_{0,2}$ $Ca_{0,1}$ $A1_2$ $Sİ_4$ O_{10} $(OH)_2$ $(H_20)_{10}$ dur. Bentonit terimi ise daha çok montmorillonit mineralinin saflaştırılmadan önceki hali için kullanılan ticari bir addır. Boya ve kauçuklarda, elektriğe, ısıya ve aside dayanıklı porselenlerde dolgu maddesi olarak diğer materyaller ile kumun kalıplanmasında plastikleştirici olarak kullanılırlar.

İllit grubu; smektit 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 $(K,H)A1_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2\text{-}xH_2O$'dur. 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 killer bol miktarda, magnezyum, demir (II), demir (III) ve alümina içerir. Klorit grubu mineraller genellikle fıllosilikatlar 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 $X_4\text{-}6Y_4\ O_{10}\ (OH, O)_8$ 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.

1.2.3. Yüzey

Kil mineralleri tek T - O - T (Tetrahedral - oktahedral - tetrahedral) ya da T - O tabakaları arasında iç ve dış kristal yüzeylerine sahiptirler. Sadece smektit ve vermikülitler su moleküllerinin içine girebileceği iç yüzeylere sahiptirler ve bu aralıklar 10 Å' dan daha büyük olan değişebilir mesafelerdir. Saf bir smektit için teorik yüzey alanı yaklaşık 800 m^2/g' dır (Olphen; 1979).

1.2.4. Yük

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 $A1^{+3}$, Mg^{+2} ile, tetrahedral tabakadaki Si^{+4}, $A1^{+3}$ yer değiştirir. Böylece atomlar arasındaki bu yer değiştirme izomorf yer değiştirme olarak adlandırılır. Bu değişim kil mineraline ve kaynağına bağlıdır. 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 karşılanır (Vorral; 1986).

Negatif tabaka yükü, montmorillonitte çoğunlukla oktahedral tabakadaki Al^{+3}/Fe^{+3} 'ün Mg^{2+}/Fe^{2+} ile yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Kil mineralinin geniş yüzeylerinden ziyade özellikle kenarları da katyon değiştirebilme yeteneğine

sahiptirler. Tüm kil mineralleri hidroksil gruplarının çözünmesinden dolayı pH bağımlılıkları vardır. Düşük pH değerlerinde kenarlar pozitif yük taşırlar. pH arttıkça yük azalır. Yüzeylerdeki yük pH' a bağımlı değildir (Huntur; 1986, Lagaly;1993).

1.2.5. Katyon değiştirme 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. Bu katyon değişimi tetraeder diziliminde çok az olmasına karşın oktaeder da önemli ölçüdedir. Katyon değişimleri sonunda artı yük, o tabaka arasında bulunan (Al-O-OH) oktahedral tabakadan meydana gelmiştir. (Si-0) tabakalarında, silisyum atomları 4 oksijen atomu ile bağlanmıştır. Oksijen atomları merkezde bir silisyum atomu olmak üzere düzenli bir tetrahedronun 4 köşesine yerleşmiştir. Tabakalarda her bir tetrahedronun 4 oksijen atomundan üçü komşu tetrahedral yapılar tarafından paylaşılır. Her bir tetrahedronun dördüncü oksijen atomu aşağıya doğru yönlenmiş durumdadır ve alümina oktahedral tabakasının (OH) grupları ile aynı düzlemdedir. Al-O-OH tabakalarında Al atomları sekiz oksijen atomuyla ya da bir oktahedralin altı köşesi üzerinde merkezleri olan Al atomlarının çevresinde lokalize olmuş hidroksil (OH) gruplarıyla bağlıdır. Oksijen atomlarının komşu oktahedranlarla paylaşılması sonucu bir yapı oluşmaktadır. Oksijen atomları ya da hidroksil grupları iki paralel tabaka olarak uzanır. Oksijen atomları ve hidroksil grupları hegzagonal sıkı bir yapı oluştururlar. Tetrahedral ve oktahedral tabakalardaki benzer simetri ve aynı boyut oksijen atomlarının bu tabakalar arasında paylaşılmasını sağlar. Tetrahedral tabakadan çıkan dördüncü oksijen atomu genellikle tabakalararası katyon olarak hidratlı olmayan K^+ ve iki değerlikli katyon içerirler. Kil minerallerinin şişme özellikleri değişebilir katyonların tipine ve sayısına bağlıdır (Alemdar; 2001).

2. BENTONİTİN JEOLOJİSİ VE MİNERALOJİSİ

2.1. Mineralojisi

Bentonitler, içerisinde bol camsı malzeme bulunan volkanik kül, tüf 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 bentonit'in özgül ağırlığı 2,7-2,8 gr/cm^3 iken, toz haline getirildiğinde yoğunluğu 1,6-1,8 gr/cm^3 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 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 kayaçlarda ve özellikle bazik kayaçlarda ve bilhassa gabroik tüflerde sirküle eden suların pH derecesi oldukça yüksektir. Bu yeraltı ve yerüstü suların özellikle volkanik olaylar sırasında daha sıcak ve daha aktif oldukları muhakkaktır. Bazik tüf ve volkanik küllerde çok ince öğütülmüş bir halde bulunan feldspatların bu eriyiklerde bozuşarak

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 ayrışmakta 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, tüf, piroklastik camsı malzeme, bazik gabroik tüf, yeşil kayaçlar, liparit, riyolit ve andezitlerden oluşan bentonitler aşınma ve taşınma olayları sonucu tatlı su havzalarına ulaşıp, 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 postvolkanik alterasyona bağlı olarak oluşan bentonitler doğada en yaygın yataklanma şeklidir.

3. HAMMADDE TANIMI

3.1. Bentonitin Tarihçesi Ve İsimlendirmesi

Alüminyum ve magnezyumca zengin volkanik kül, tüf ve lavların kimyasal ayrışması ve bozunmasıyla oluşmuş çok küçük kristallere sahip kil minerallerinden (başlıcası montmorillonit) oluşan ve ağırlıklı olarak kolloidal 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 Şeyl'ine verilen isimle kullanılmaya başlanmıştır. Aslında, smektit grubu kil minerallerinden oluşan bir kil grubu olarak tanımlamak gerekir. Ana yapıcısı montmorillonit olup, bazı tür bentonitler smektit grubu üyeleri olan saponit ve hektorit minerallerince zenginleşmiş durumdadır. Smektit kelimesi ise eski Yunanca'da sabun anlamına gelen "smektos" kelimesinden alınmıştır.

3.1.1. Bilimsel açıdan bentonit

Yumuşak, plastik, poroz, açık renkli özellikle ana mineral olarak smektit grubu minerallerden oluşan, içinde kolloidal silis bulunan ve camsal magmatik kayaçların, 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 smektit 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 smektit 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 smektit grubu mineraller tarafından kontrol edilen ve smektit grubu kil minerallerinin hâkim 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 smektit.
Potasyum bentonit (metabentonit): İllit ve karışık kil mineralleriyle az oranda smektit içeren, hafif metamorfizma ve diyajenez geçirmiş bentonit.
Ağartma toprağı: emici ve renk giderici özelliklerle yağ arıtılması 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; Na_2O+K_2O / $CaO+MgO$ 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 katkılı bentonit" olarak adlandırılır.

Çizelge 3.1 : Başlıca bentonit gruplarının ortalama kimyasal analiz değerleri

Bileşen (%)	**Na-Bentonit**	**Ca-Bentonit**	**Aratip**
SiO_2	64.0	59.0	62.0
Al_2O_3	21.0	19.7	15.9
Fe_2O_3	3.5	5.9	3.0
MgO	2.3	5.5	2.6
CaO	0.5	1.7	4.5
Na_2O	2.6	0.2	2.0
K_2O	0.4	0.2	1.0

3.2. Bentonit Karakteristikleri

Bentonitler; iyon değiştirme 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.

3.2.1. İyon değiştirme 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 eksiği ortaya çıkar. Bu yük eksikliği ise Na^{+}, K^{+} veya Ca^{+2} iyonlarının su fazından kristal kafesine bağlanmalarıyla giderilir. Katyon değişim kapasitesi; 100 gr kildeki milieşdeğer Na_2O miktarı olarak ifade edilir. Killerdeki değişebilir katyonlar H^{+}, Na^{+}, Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'dir. Bir araştırmaya göre montmorillonit' in katyon değişim kapasitesi 80-150 milieşdeğer olarak bulunmuştur. Aynı araştırmaya göre; Kaolen: 3-15; İllit: 10-40; Vermikülit 100-150; ve Sepiyolit-Atalpuljit: 20-30 milieşdeğer katyon değiştirme kapasitesine sahiptir.

3.2.2. Viskozite

Sıvının akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak ifade edilir. Dışarıdan bünyeye alınan su, dışarıdaki serbest suyun azalmasına bu durumda, 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 santipuaz (cp)'dır. Bentonitlerin ortalama viskoziteleri 15 cp civarındadır. Sondaj çamurunda jelleşme, akma noktası (yield point), viskozite ve su kaybının düşük olması istenir. İyi bir sondaj çamuru kuyu çeperinde ince ve sağlam sıva (filter cake) yapmalı, formasyonu sağlamlaştırmalı ve formasyonla su temasını mümkün olduğu kadar azaltmalıdır.

3.2.3. 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.

3.2.4. 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 "likit limit" olarak tanımlanır. Likit limit, plastik limit farkı ise "plastiklik indeksi" olarak ifade edilir. Sodyum smektitlerde plastik limit 75, likit limit 500; Ca-bentonitlerde plastik limit 90, likit limit ise 160 değerlerindedir.

Yukarıda ana hatları ile 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.

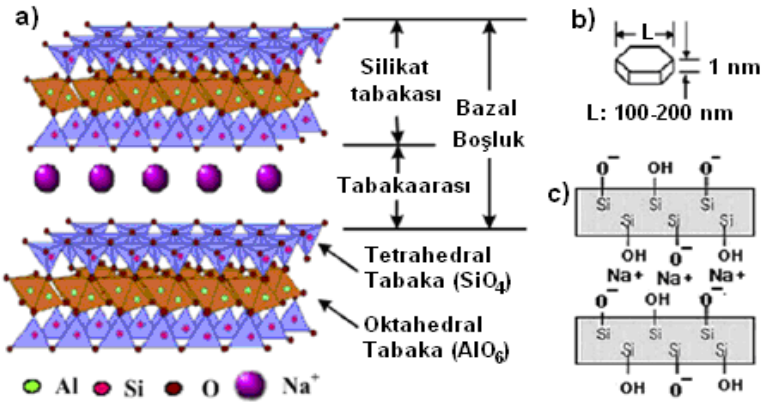
Genellikle alkali bentonit (Na-Bentonit) çok gelişmiş viskozite, tiksotropik ve plastik özelliklerine sahiptir. Ca-Bentonit ise üstün ağartıcı ve absorpsiyon özellikleri gösterir. Aynı özellikleri Türkiye'de Reşadiye bentonitleri gösterir. Çankırı, Enez bentonitleri ise, tipik Missisipi bentonitlerinin benzerleri olarak Ca-Bentonitleri grubuna girerler.

3.3. Montmorillonit

Montmorillonit $Na_{0,2}$, $Ca_{0,1}$, Al_2 Si_4 O_{10} $(OH)_2$ $(H_2O)_{10}$ ampirik formülüne sahip bir mineraldir. Kristal yapısı monoklinik - prizmatik, beyazdan kahverengi - yeşilimsi sarıya kadar renklerde, ortalama yoğunluğu 2,35 g/cm^3, molekül ağırlığı 549,07

g/mol olan ve 1,5-2 sertlikte çok ince tozdur. Tek başına montmorillonit kristalleri son derece ince, taneli ve pek düzenli olmayan dış çizgilere sahiptir. Bir montmorillonit kristali genellikle 15-20 silikat biriminden oluşur. Montmorillonitin tiksotropi özelliği, su ile temasa geçtiğinde jel, çalkalandığında sıvı hale gelebilme özelliğidir ki mühendislik çalışmalarında bundan çok yararlanılır (Akbulut; 1996).

Şekil 3.1 (a)'da gösterilen bazal boşluğun genişlemesinin büyüklüğüne bağlı olarak montmorillonitlerde iki tip şişme olur: Kristalsi ve ozmotik şişme. Kristalsi şişme su moleküllerinin birim tabakalar arasına girmesi sonucunda oluşur (Van Oss ve Giese; 1995, Quirk ve Marcelja; 1997). Adsorplanan su moleküllerinin birinci tabakası hekzagonal yapıdaki oksijen atomlarına hidrojen bağları ile bağlanması ile oluşur (Hendricks ve Jefferson; 1938). Değişebilir katyon olarak Na^+, Li^+ gibi hidratlı katyonlara sahip olan montmorillonitler 30-40 Å 'a kadar şişerler hatta bu bazen yüzler mertebesine kadar çıkabilir. Bu tip şişme ozmotik şişme olarak adlandırılır (Fukushima; 1984).



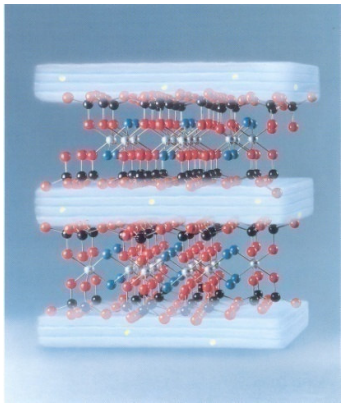
Şekil 3.1 : (a) Değişebilen katyon olarak na iyonu içeren montmorillonitin moleküler yapısı, (b) Birim Tabaka (c) Tabakalar arası enine kesit şematik gösterimi.

Montmorillonitler değişebilir katyon olarak çok değerlikli katyona sahip olduklarında çok fazla şişmezler. Bunun nedeni katyon ve silikat tabakaları arasındaki çekme kuvvetinin iyon hidrasyonunun itici etkisinden daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır (Alemdar; 2001).

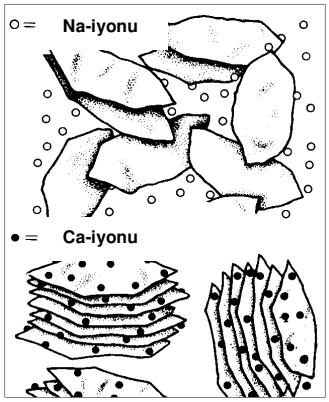
Montmorillonitler ayrıca polar ya da iyonik karakterdeki organik karışımların da tabakalar arasına girmesine olanak tanırlar. Organik karışımların adsorpsiyonu organo-

kompleks montmorillonitlerin oluşmasına neden olur (Meier; 1998). Kil minerallerinin özellikle tabakalar arasına büyük moleküllerin girmesi ile şişmesi X ışınları kırınımı (XRD) çalışmaları ile saptanır (Parfîtt ve Greenland;1970, Deraj ve Guy;1981).

Smektit grubu killere dahil 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 (Lagaly; 1986, VCH; 1986, Searle ve Grimshaw; 1960). Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 bunu yansıtmaktadır.



Şekil 3.2 : Montmorillonit kristal modeli

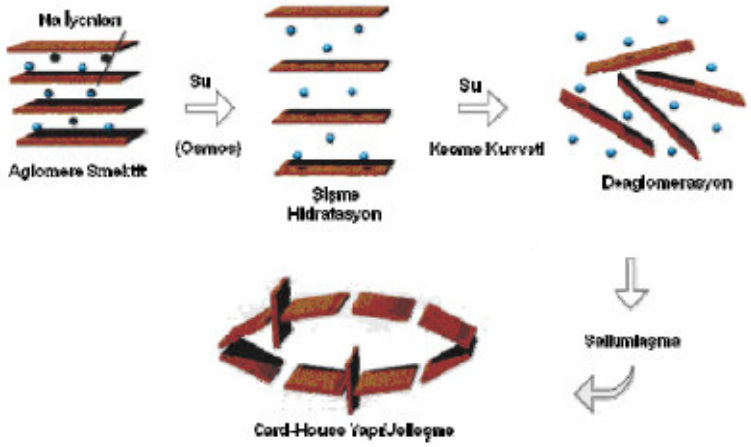


Şekil 3.3 : Montmorillonitin suda şişmesi

3.3.1. 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 3.4) oluşur. Montmorillonitteki jelleşme sulu düşük elektrolit konsantrasyonlarında gerçekleşmekte ve bunun içinde Na+ katyonu ile tabaka ayırımının yapılması gerekmektedir (Santaren, 1993; Elementis, 2006). Montmorillonit kristallerinin etrafında yer alan değişebilir katyonların sulu ortamda hidrate olması nedeniyle silikat tabakaları arasına kolaylıkla girebilen su, tabakalar arası mesafeyi büyüterek şişmeye neden olmaktadır. Ayrıca tabakalar arasına giren su nedeni ile plakalar arasındaki bağ zayıfladığından, tabakalar belirli bir hareket kabiliyeti kazanmaktadır.



Şekil 3.4 : Montmorillonitte Card-House yapı oluşumu (Elementis, 2006)

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 (Köroğlu vd., 1998).

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 (Çınar, 2005; Güven, 1992; Luckham ve Rossi 1999).

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 (Alemdar, 2001; Van Olphen, 1963 ve 1992; De Kretser ve diğ., 1998; Abend ve Lagaly, 2000; Luckham ve Rossi, 1999; Missiana ve Adell, 2000; Barnes, 1980).

Süspansiyonların reolojik özellikleri hidrodinamik ve hidrodinamik olmayan şeklinde sınıflandırılabilecek 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 yapıyı içerir (Kamal ve Mutel, 1985; Everett, 1988; Weinberger ve Goddard, 1974; Henderson ve diğ., 1984; Metzner, 1985; Chang ve diğ., 1993; Permien ve Lagaly, 1944a ve b).

Killer tane boyutu 2 mikrondan küçük (kolloidal boyut) malzemeler olarak tanımlanmakta olup kolloidal boyuttaki tanelerin süspansiyon içerisindeki dağılımı, tanelerin birleşmesi, ıslanması, aglomere tanelerin çökmesi ve koagülasyonunu içeren birçok unsuru kapsar. Düşük kil konsantrasyonlarında bile nihai ürünün içeriği akışkan ortamdan farklı olmaktadır. Eğer katı konsatrasyonu 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 dolayısıylada 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, buyutu, 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 ayrıntı ve uygulanan işlemlere bağlıdır (Viseras ve diğ., 1999).

Bentonit gibi tabakalı yapılı 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 (Van Olphen, 1963).

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.

3.4. Bentonitin Kullanım Alanları Ve Standartlar

Ticari amaçlarla kullanılacak bentonitlerin değerlendirilmesinde kimyasal bileşimlerinden çok fiziksel özellikleri önemli yer tutar. Bentonitlerde aranan şartlar kullanım alanına göre değişir. Bentonit su ile karıştırılınca kolloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik sıvı ortamda hacimce şişmesi ve yüksek plastisiteye sahip olması gibi çeşitli özellikleri nedeniyle çok geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

3.4.1. Döküm kumu ve peletleme

Bentonit kollodial özelliği ve plastisitesi nedeniyle dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcılık özelliği kazandırır. Kalıp kumlarına %2 den % 50 ye 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 (Akbulut; 1996, Çinku; 1999, Erdinç; 1976, Gücer; 1992, Jones; 1979, TSE TS-5360; 1996)

3.4.2. Sondaj alanında kullanımı

Ülkemizde bentonitin en çok tüketildiği alandır. 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 977 standardı kullanılmakta olup tüm Dünya'da yaygın olarak API (American Petroleum Institute) standartları (1985'e kadar OCMA) kullanılmaktadır (API, Çinku; 2001, Güngör; 1981, Malayoğlu ve Akar; 1995, TSE TS-977, Uz; 1990).

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

3.4.3.1. Berraklaştırma işleminde kullanım

Şarap, bira ve meyve suyu yapımında bazı yabancı maddeler bu içeceklere bulanıklık verir. Bentonitler su, meyve suyu ve benzeri içilebilir sıvı ortamlarda hidrate olur ve (-) yüklü bentonit tanecikleri bulanıklığa neden olan hammadde (meyve, tahıl gibi) posası, tortu gibi tanelerle birleşerek floküle 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 (Akbulut; 1996).

3.4.3.2. Ağartma işlemlerinde 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 oluşan hidroksi ya da poliketanik asitlerin yanı sıra diğer renk verici maddeleri adsorbe etme özelliğinden yararlanılır.

Birçok bitkisel ve hayvansal yağlar içerisindeki safsızlıklar yağların rafinasyonu ile giderilmektedir. Alkali rafinasyon işlemi sonucu elde edilen yağlar, yağın türüne ve yapısına bağlı olarak %0,3 - 1,5 oranında ağartma toprağı ile karıştırılıp, 90-95^{o}C ısıda 30 dakika süre ile vakum altında rafinasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu alanda HCI veya H_2SO_4 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 kullanılabilecek en uygun killerdir. Lovibond Tintinometresi ile yapılan ölçümlerde renk ağartma özelliğinin kıyaslamalı incelemelerinde maksimum olması gerekmektedir (Bailey; 1963, Bensan; 1996, Christidis ve Kosiari; 2003, Çelik ve diğ.; 2003, Güngör; 1981, Malayoğlu ve Akar; 1995, Robertson; 1986, Pasin ve Acar; 1985, Sarıkaya; 2001).

3.4.4. 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 öğütülmelerine 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 de bentonit kozmetik sanayinde önemli bir yere sahiptir.

İlaçlarda dolgu, süspansiyon, temizleme gibi işlevleri olan bentonitler için Türk Standartları Enstitüsü'nün TS 10252 numaralı "Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan" başlıklı standardı kullanılmaktadır (Akbulut; 1996, Gücer; 1992, TSE TS-10252; 1992).

3.4.5. 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 arttırırlar. Sırlara öğütme sırasında ilave edilen bentonit, sırrın dibe doğru çökmesini engelleyerek süspansiyon halinde kalmasını sağlar.

Seramik çamuruna bentonit ilavesi: Çamurun homojen karışmasını sağlaması, kuruma çatlamalarını azaltması, kuru mukavemeti arttırması, ve piştikten sonrası kırılganlığı 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 (Çinku; 1996, TSE TS-11136; 1984).

3.4.6. Çimento sanayinde kullanımı

Portland çimentosuna %1 oranında bentonit ilavesinin mekanik mukavemeti artttırdığı ve donma müddetini azalttığı görülmüştür. Çeşitli betonlarda mineral yağlarla muamele edilmiş olan bentonit su geçirmeyi önleyici dolgu maddesi olarak kullanılır. Alkali bentonitler, kuruma sırasında meydana gelen hacimce fazla küçülme 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 arttırır, 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 (Akbulut; 1996).

3.4.7. Kağıt endüstrisinde kullanımı

Kağıt 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 kağıt üretiminde, zararı olmadan dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Alkali bentonit kağıda aynı zamanda kayganlık vermekte ve sakızlı maddelerle emülsiyon yaparak kağıt üretiminde kullanılan eleklerin tıkanmasına, makinelerin kağıt 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 kağıtlarının yeniden işlenmesinde (mürekkep çekme özelliği nedeniyle) kullanılır.

Ülkemizde kağıt sanayinde kullanılacak bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS-11441 nolu standardı baz alınmıştır. Gelişmiş ülkelerde, kağıt 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^{o}C'de kalsine edilmiş olması da gerekmektedir (Grim; 1978, TSE TS-11441).

3.4.8. Lastik sanayinde kullanımı

Lastik sanayinde bentonit gibi nötr özellikteki maddelere dolgu malzemesi olarak ihtiyaç duyulur. Bu alanda bentonitin ince taneli olması, su ile jel ve kolloidal süspansiyon meydana getirmesi, koyulaştırma ve dehidratasyon etkilerinden yararlanılmaktadır. Kalınlaştırıcı ve stabilizatör olarak Latex'e ilave edilen bentonit viskoziteyi de arttırır. Lastik sanayiinde 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 ^{o}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 no' lu standardı mevcuttur (Akbulut; 1996, TSE TS-11442).

3.4.9. İnşaat mühendisliğinde bentonit kullanımı ve bazı özellikleri

Bentonitin fazla miktarda su absorblaması, jel meydana getirerek suyu geçirmemesi gibi özelliklerinden yararlanılır. 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 yararlanılır. 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.

Plastiklik, plastik indekslerin yüksek oluşu nedeniyle bentonitlerin sodyumlu olanlarında sıkıştırılma, yırtılma dayanımı gibi konularda sorun yaratır. Ortamdaki değişmeler bu bentonitlerin çeşitli katyonlar soğurmasına yol açarsa özelliklerinin de değişmesine neden olur.

Aktivite, bir bentonit örneğinin plastik indeksinin 2 mikrondan küçük bölümünün kuru ağırlık %' sine oranıdır. Bu oran bazı Ca bentonitler için 1,20 -1,34; Na bentonitler için 3,14-7,09 arasında bulunmaktadır. Yüksek aktivite değerli killer genelde çok su tutma, yüksek sıkıştırılma, düşük geçirgenlik ve büyük yırtılma dayanımı olan killerdir.

Su emme, sodyum bentonitte 16 saatte %800' e çıkarken, kalsiyum bentonitte ilk dakikada %200'e kadar hızlı bir artış gösterdikten sonra birden yavaşlayarak 16 saat sonunda %200'ün az üzerine çıkmaktadır.

Serbest sıkıştırılma gücü, doğal bir örneğin kopmasına yetecek sıkıştırılma gücüdür. Bu değer sodyum bentonitler için 55,5 psi, kalsiyum bentonitler için 100,3 psi olarak belirlenmiştir (Mielenz ve King, 1955; Grim ve Gwen, 1978).

Yırtılma dayanımı, kopmadan önceki yırtılma basıncı ile ölçülür. Kalsiyum bentonitin yırtılma dayanımı sodyum bentonitten fazla, kaolenden azdır. Yırtılma dayanımı iç sürtünme ve kohezyondan oluşur. Bentonitlerde iç sürtünme illit ve kaolendekinden düşük olmasına karşın, kohezyon onlardan yüksek olup yırtılma dayanımının %80' ini sağlar. Plastik indeks arttıkça bentonitin iç sürtünmesi azalır.

Duyarlık, doğal serbest bir kilin dayanımının ayrı nem oranında yeniden kalıba dökülmüş gerecinin dayanımına oranı olarak tanımlanır. Bentonitlerin duyarlık değerleri 4-8 arasındadır. Daha yüksek değerli killerde bu rakam 16'ya kadar çıkar. Tiksotropik özelliklerinin sonucu olarak bentonitler dayanımlarına yeniden kavuşurlar.

Geçirgenlik, sodyum bentonitte oldukça düşüktür. Çok az miktarda sodyum bentonit ilave edilen kumların geçirgenliği büyük ölçüde azalır. Kalsiyum bentonitin ise geçirgenlik üzerinde etkisi daha azdır. Bentonitin geçirgenliği önleme özelliklerinden yararlanılarak baraj ve gölet inşaatlarında, heyelan önleme yapılarının inşaatında, sızdırmazlık perdesi inşaatında, tünellerin yapımında, kazı şevleri ile bina temellerinin desteklenmesinde ve köprü, üst geçit ayaklarının inşaatında "diyafram duvarları" oluşturmada kullanılmaktadır. Diyafram duvarları, bentonit bulamaçlı duvarlardır. Bentonit bulamacı 30-40 kilogram bentonit, 80-350 kilogram çimento ve 850-900 kilogram su karışımı ile hazırlanır. Kil çimento bulamaçlarında süspansiyondaki toplam çökelti miktarı hacimsel olarak %4,5'den fazla olmamalıdır. Plastik viskozitesi 10-20 cP, birim hacim ağırlık 1,03-1,20 gr/cm^3 olmalıdır.

Baraj ve göletlerde baraj gövdesi ya da bent gövdesinde kullanılacak gereç kireci az, iç sürtünme açısı yüksek, orta derecede plastik ve şişmeyen cinsten olmalıdır. Smektit killeri baraj ve bent gövdelerinde su ile temas etmeyecek konuda yani çekirdek kısmında dolgu gereci olarak kullanılmalı, zorunlu halde bent gövdesinin ağız kısmında veya freatik seviye üzerinde kullanılmalıdır.

Donma dayanımı, donma kuşağının içinde suyun hareketiyle sağlanır. Bentonitlerin geçirgenliği çok az olduğundan donma dayanımları diğer killerden düşüktür. Sıkıştırılabilirlik ve pekleşme, yatay sınırlı bir örneğe uygulanan birim ağırlığın artması sonucu örneğin boşluk oranının azalmasına dayanır. Likit limite eşit nem oranındaki sodyum bentonit önce küçük bir basınç karşısında büyük bir hacim küçülmesi gösterir, daha sonraki basınç artışları karşısında ise daha küçük hacim

küçülmeleri gösterir. Kalsiyum bentonitte sıkışma miktarı küçük olsa da uygulanan düşük basınçlar altında hacim küçülmesi oldukça fazladır. Bentonitlerde artan ağırlıklar altında pekleşme önce biraz azalır fakat kısa süre sonra ağırlık artışı pekleşme oranını fazla etkilemez.

Zemin iyileştirme, ağır yüke ve iklim koşullarına dayanıklılık kazandırmak için toprak taneciklerinin tutturulmasıdır. Bunun için bentonit gibi şişen kilere kireç ilave edilerek plastiklik indeksleri düşürülür. Zemin iyileştirme konusunda bentonitlere %8 veya daha çok kireç karıştırmak gerekmektedir.

Kireç, zemindeki taneciklerle kimyasal tepkimeye girerek kalsiyum alüminat ve kalsiyum silikatlar oluşturur, yani çimentolaşmaya neden olur. Kireç söndürülmeden kullanılırsa havanın karbondioksiti ile tepkimeye girerek karbonat oluşturacağından, kirecin söndürülerek kullanılması yerinde olur.

Plastik zeminlerde kireçle stabilizasyon çok iyi sonuç verdiği halde, plastik olmayan veya düşük plastik özellikli zeminlere uçucu kül veya tüf gibi puzzolanların ilave edilmesiyle iyi sonuç alınabilmektedir (Akbulut; 1996).

3.4.10. 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 maddeleri 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. Emülsiyon yeteneğiyle yağ asidini kısmen ornattığı, karbon taneciklerini çektiği için ve deterjan etkisi nedeniyle sabun yapımında önemli miktarlarda kullanılır. Ülkemizde bu alanda kullanılan bentonitlerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsünün TS 11326 no' lu "Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan" başlıklı

standardı bulunmaktadır. Temizleyici olarak kullanılan bentonitlerde aranan özellikler şunlardır (Akbulut; 1996):

- Bentonitin rengi beyaz olmalı,
- Ağırlığının on katı su ile karıştırıldığında viskoz bir solüsyon meydana getirmeli,
- 120 mesh elek altı ≥%98
- 240 mesh elek altı ≥%90
- 100 ^{o}C' da kurutulduğunda ağırlık kaybı ≤%15
- pH (%24 süspansiyon) 8-9
- Sıkıştırılmış yoğunluk ≥0.85
- 2 gr. bentonit 10 ml suda şişmelidir.

3.4.11. 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 ortamdan çabuk uzaklaşmasına engel olması (bu tuzları adsorplaması-absorplaması 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 olarak herhangi bir standart bulunmamaktadır (Akbulut; 1996, Gücer; 1992).

3.4.12. Yangın söndürücülerde kullanımı

Bentonit, bünyesinde fazla miktarda su tutması nedeniyle bir çok 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 (Akbulut; 1996, Gücer; 1992).

3.4.13. 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 kullanılırılar. 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 20 kısım 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. (Akbulut; 1996, Rheox; 1997, Süd-Chemie; 1996)

3.4.14. Petrol rafinasyonunda bentonit 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^{o}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 HCI ile yıkanarak demir içeriği %0,15'e kadar indirilebilir (Akbulut; 1996, Gücer; 1992).

3.4.15. Hayvan yemi yapımında kullanımı

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

Hayvan yemi katkı maddesi olarak sodyum bentonit kullanılmakta olup katkı miktarı %1-1,5 arasında değişmektedir. Yem içerisine %1-1,5 oranında bentonit ilavesi ile tavuk ve benzeri kümes hayvanlarında canlı ağırlıkta %35 artış, yumurta veriminde ise %15'lik artışlar meydana gelmektedir (Ali; 1996, Çinku; 1996, Saeed, 1996, Jalil ve diğ.; 1996,)

3.4.16. 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. Absorban olarak kullanılacak bentonitin absorbsiyon kapasitesi yüksek, ufalanma oranı düşük ve 1-6 mm arasında granül boyutuna sahip olması gerekmekte olup bu alanda Ca bentonit kullanılmaktadır (Akbulut; 1996, Demirel ve diğ.; 1995, O'Driscoll; 1992, Santaren; 1993).

3.4.17. Nem alıcı kil (desiccant clay) üretiminde kullanımı

Killer, özellikle smektit 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 arttırılmaktadır. 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, $MgCI_2$, NaCI, LiCI, $CaCI_2$ ve odun talaşı gibi bileşikler kullanılmaktadır.
Killer nem absorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmakta olup, smektit 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 konteyner gibi taşıyıcı ortamların ve depoların nem kontrolü için Ca bentonit kullanılmakta olup bu iş için en uygun desiccant oktaedral 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 (Grim; 1968, Kendall; 1996).

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

4.1. Önemli Bentonit Yatakları

4.1.1. Dünya'da önemli yataklar

Dünya'nın en önemli bentonit yatakları; Wyoming-ABD; Ponza; Sardunya-İtalya, Milos-Yunanistan, Bavyera-Almanya ve Almeria-İspanya'da bulunmaktadır. Söz konusu yataklara ait bilgiler alt bölümler halinde özetlenmektedir.

4.1.1.1. Wyoming bentonit yatakları

ABD, Wyoming'de Üst Kretase çökel birimleri içinde çeşitli kalitelerde ve rezerv değerleriyle bentonit yatakları bulunmaktadır. Wyoming'in kuzeydoğusunda Black Hills yöresinde yeralan yataklar işletilen en büyük yataklardır.

Tipik Wyoming bentonitini (C seviyesi) içeren Mowry Şeyli altındaki Newcastle Formasyonu; silttaşı ara katmanlı, yer yer çapraz katmanlı kumtaşı, kumlu kömür kırıntılı şeyl, bentonit ve düşük kaliteli linyitten oluşur. Yakın kıyı denizel ortamı gösteren bu fasiyesler üzerinde volkanik kül serpintileri birikip ayrışarak Wyoming bentonitinin oluşmasını sağlamıştır. Çökelme ile eşzamanlı aşınma, bentonit seviyesindeki kalınlığın değişmesine neden olmuştur. Denizel ortamdaki Ca ve Mg iyonları tarafından ornatılmış ayrışma ürünü killer, bu sürecte sodyumca zengin eriyikler tarafından etkilenmişlerdir.

4.1.1.2. Ponza bentonit yatakları

İtalya, Ponza Adasındaki bentonit yatağı; olasılıkla Triyas yaşlı kuvars-serizit fillit ve kuvarsitik kumtaşlarından oluşmuş bir metamorfik temel ile, onun üzerinde Üst Triyas-Üst Miyosen arasında çeşitli yaşlarda dolomit, marn, kireçtaşı ve jips içeren killerden oluşan çökel istifinin üzerindeki volkanitler içinde bulunmaktadır.

Ponza bentoniti; hidrotermal oluşumlu bir yataktır. Hidrotermal ayrışma, kırık ve çatlakların içinde bulunduğu asidik kayaların hem orijinal kimyasal bileşimine, gözenekliliğine, kırık ve çatlakların miktar ve büyüklüklerine hem de akışkanların

bileşim, miktar ve sıcaklığına bağlıdır. Hidrotermal ayrışmanın derecesine göre değişik mineraller içeren kuşaklar oluşmuştur. Mevcut yatakta 80 metre derinliğe kadar yapılmış bir sondajla, yüzeyden itibaren 60 metrelik bölümde % 40-60 oranında smektit içeren bentonit ve diğer bileşenler olarak tridimit ve sanidin belirlenmiştir. Bu bölümün altında karışık katmanlı mineralleşme (illit, smektit) bulunmaktadır. Üst bölümde yüksek SiO_2 (% 65-75) içeriği tridimit varlığını; alt bölümdeki katyon değişim kapasitesinin düşüklüğü ise smektit bileşiminin azaldığını göstermektedir. Ponza bentoniti beyaz ve fildişi renginde olup döküme, inşaat mühendisliğine ve sondaja uygun Na bentonit niteliklerinde üretilmektedir.

4.1.1.3. Sardunya bentonit yatakları

Sardunya bentoniti % 90'ın üzerinde montmorillonit içeren, genelde beyaz renkli bir bentonittir. Volkanik külün, Miyosen-Pliyosen yaşlı hidrotermal ayrışmasıyla oluşmuştur. Miyosen denizel çökellerinin altındaki, özellikle trakit ve trakitik tüflerin hidrotermal ayrışmasıyla oluşmuştur. Sardunya bentoniti sondaj, ağartma ve döküm amaçlı olarak üretilmektedir.

4.1.1.4. Milos bentonit yatakları

Milos Adası, Ege Denizi'nin Güneyinde, Yunanistan'a ait Siklad Takımadalarının güney grubu içinde 151 kilometrekare yüzölçümlü bir adadır. Miyosen-Pliyosen Pleyistosen yaş aralığında ortaya çıkan volkanik yayın üyesi Milos Adasında temeli serizit-fillit ve muskovit gnays metamorfikleri oluşturur. Metamorfikler üzerinde, Üst Kretase-Eosen marnlı kireçtaşı serileri yer alır. Çatlaklar boyunca volkanizma sonrası jips oluşmuştur.

Denizel ortamda bazik pH koşullarında camsı tüflerden ayrışma sonucu oluşan bentonit Üst Pliyosen yaşlıdır. Bentonit yatağında üste doğru montmorillonit miktarı azalarak kaolinit ve kristobalit oranı artmaktadır. Bentonit yatağının oluşumundan sonra ortamdaki pH değerinin azalması alünit ve kaolinit oluşmasını sağlamıştır. Bu yatakların seviyeleri üstten alta doğru; alunit-SiO_2 kuşağı, alunit-kaolinit kuşağı, SiO_2 kuşağı, kaolin-bentonit kuşağı ve bentonit kuşağı olmak üzere sıralanmaktadır.

Milos bentoniti esas olarak bir Ca-bentonittir. Değişebilir katyonu Mg' dur. Başlıca safsızlıkları kuvars, mika, feldspat ve kaolindir. Sodyumla aktifleştirilerek sondaj, döküm ve peletlemede kullanılır.

4.1.1.5. Almeria bentonit yatakları

Orta ve Güney İspanya'da önemli bentonit yatakları bulunmaktadır. Bentonit ve ağartma toprakları İspanya'da andezit ve riyolitin hidrotermal ayrışma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Bentonit yataklarında daha yoğun ayrışma bölümleri kaolinit ve alunit de içerir. Daha az ayrışmış kısımlar ise az miktarlarda poligorskit ile sepiyolit içermektedir. Ağartma toprakları sepiyolitle birlikte Tersiyer evaporit havzasında oluşmuştur. Almeria bentoniti esas olarak bir Ca-bentonit olup, yağ ağartma ve dökümde kullanılabilir niteliktedir.

4.1.1.6. Bavyera bentonit yatakları

Mavi, yeşil ve sarımsı egemen renklerde görülen Bavyera bentoniti Münih kenti kuzeyinde 5-8 km genişlikte yaklaşık 30 km uzunlukta bir alana yayılıdır. Bentonitler Alt Pliyosen tavan serisi ile Tortoniyen tavan serisinin kuzey çakılları arasında 3-6 metre kalınlıkta mercek ve ara katmanlar biçimindedir. Üst Tortoniyen molas çökelleri arasında bulunan Bavyera bentonitinin % 60-90'ı Ca-bentonittir. Bileşimindeki başlıca mineraller ise montmorillonit, kuvars, mika, klorit ve feldspattır. Ortalama % 86,6 montmorillonit, % 6,9 kuvars, % 5,1 mika ve % 1,8 klorit içerir.

Bavyera bentonit yataklarında yer yer pirit izleri ile piritin ayrışmasından oluşan demir oksit ve hidratları, jips, turmalin, garnet, zirkon ve mangan mineralleri yanı sıra ayrışmamış tüf kalıntıları vardır.

Asitle aktifleştirilmiş halde yüksek kaliteli ağartma toprağı, alkali aktifleştirilmiş halde döküm, sondaj ve peletleme amaçlı, ayrıca, inşaat ve yağ emici olarak da kullanım alanları bulunmaktadır.

4.2. Dünyadaki Rezerv Ve Üretim Miktarları

Çizelge 4.1' de dünyadaki bentonit rezervleri, Çizelge 4.2' de dünyadaki üretim miktarları ve Çizelge 4.3'de dünya ticaret verileri özeti verilmektedir.

Çizelge 4.1 : 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 4.2 : 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 4.2' de görüldüğü üzere Dünya bentonit üretimi yıllık 11,5 milyon ton ile 12,5 milyon ton arasında değişmektedir. 2007 yılı verileri ise Dünya bentonit üretiminin 15 milyon tonu geçtiğini göstermektedir. Dünya bentonit üretiminin ülkelere göre dağılımına bakıldığında, Bentonit rezervleri açısından ilk sırada yer alan ABD'nin üretimde de ilk sıraya yerleştiği, Çin, Yunanistan ve Türkiye'nin ABD'yi takip ettiği görülmektedir. Çizelge 4.3'de ise dünyadaki bentonit ticaret verileri gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : 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

4.3. 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 Tokatta bulunan rezervler sondaj çamuru sanayi, Çankırı, Çorum, Çanakkale'de bulunan rezervler döküm sanayine, Edirne, Ordu, Balıkesir, Kütahya ve Eskişehir illerinde bulunan rezervler ise kağıt ve deterjan ile yağların ağartılmasına uygun nitelikli bentonitlerdir. Türkiye'nin toplam potansiyel bentonit rezervi 280 800 000 ton'dur (Akbulut, 1996).

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.

4.3.1. Enez-Edirne bentonit yatağı

Bentonit sahaları Enez ilçesinin yaklaşık 2-15 kilometre güney ve güneydoğusunda bulunur. Bölgedeki bentonitler hakkında geniş kapsamlı araştırmalar bulunmaktadır (Akbulut, 1996).

Bölgenin bentonitleri; açık gri, açık yeşil renkli olup, kalınlıkları yaklaşık 1 metre olan ve istifte düşey olarak ardalanan seviyeler halindedir. Bentonitlerde kalıntı tüf dokusu korunmuştur. Volkanik kökenli bu killer içinde değişik cins ve boyutta mineral, kayaç kırıntıları da bulunur, ancak taşınmış malzeme içermezler. Denizel kökenli volkano-çökel istifin havza kenarına yakın kesimlerinde, volkanik kökenli kayalar, güneye doğru ise taşınmış malzeme ile organik oluşumlar egemen durumdadır.

Bentonitik killerin içindeki iri boyutlu malzeme olarak; az çok killeşmiş volkanik kaya kırıntıları, yer yer opaklaşmış 1-2 milimetre boyutunda biyotit ve feldspat kristal kalıntıları ile çatlak dolgusu halinde karbonat ve jips izlenir. İnce boyutlu malzeme (-20 mikron) ise başlıca smektit mineralleri ile az miktarda kristobalittir. Kilin içinde kalıntı tüf yapısının oluşu ve taşınmış malzeme olmaması, bentonitin yerinde oluştuğunu göstermektedir. Bentonit oluşumu sırasında ortaya çıkan silis, bant ve yumrular halinde; feldspatın bozuşması ile serbest kalan Ca^{+2} iyonları ise yer yer karbonat oluşumları halinde çökelmiştir. Ayrıca ortamdaki kalsiyum iyonları bir yandan bentonitin Ca bentonit tipinde olmasını sağlarken, diğer taraftan sülfat ile tepkimeye girerek az miktarda jips oluşumuna neden olmaktadır. Kömür oluşumları ise volkanik faaliyetin durduğu ve ortama taşınan malzeme miktarının artması, havzanın kısmen dolarak bataklık koşullarının gerçekleşmiş olmasıyla açıklanmaktadır. Sayvat Tepe ve Yumrukaya mevkiindeki bazı örneklerin analiz sonuçlarına göre, %70-85 montmorillonit içerdiği belirlenmiştir (Akbulut, 1996).

Enez'in 3,5 kilometre doğusunda Karataş mevkiinde 1,5 metrelik örtü tabakası altında 5 metreden fazla kalınlıkta, bitkisel yağların ağartılmasına uygun kalitede bir bentonit yatağı bulunmaktadır. Bu yatak Karataş mevkii-Tilki tepesi-Yenice köyü ve Sancak tepesi arasında yaklaşık 6,5 kilometre karelik bir alana yayılıdır. Muhtemel 56 milyon tonluk rezervin en az üçte biri temiz, kaliteli doğal ağartma toprağıdır.

Hisarlı Köyü güneyi ve Çavuş Köyünün doğusunda, Karakaçan Tepesinin Doğu ve Güneydoğusunda da doğal ağartma toprağı nitelikli kalsiyum bentonit yatakları vardır. Bütün bu bentonit yataklarının toplam faydalı görünür rezervinin 50 milyon ton olduğu belirtilmektedir (Akbulut, 1996).

Mineral analizleri, Enez bentonitinin illit/simektit katmanlı yapıda olduğunu; kuvars, kalsit ve feldspat safsızlıkları içerdiğini göstermiştir. Optimum ağartma niteliğinin; % 30 asit/kil oranında ve HCl ile aktifleştirilmesi halinde gerçekleştiği ifade edilmektedir.

4.3.2. Kütahya ve Eskişehir bentonit yatakları

Kütahya'nın Başören köyünde bulunan bentonit yatağı, Kütahya-Eskişehir yolunun 23. kilometresinden, 11 kilometre içerideki Sabuncupınar ve buradan da 12 kilometre uzaklıktaki Başören köyünün 1 kilometre kadar yakınında yeralır. Temelde

paleozoyik yaşlı metamorfikler, kristalize kireçtaşları ile mesozoyik yaşlı, yer yer serpantinleşmiş bazik, ultrabazik kayalar bulunur (Akbulut, 1996).

Büyük bölümünde mangan dendritleri ve sızmaları izlenen Başören bentonit yatağı pembe ve beyaz renkli bentonitlerden oluşur. Yakın çevresinde perlit yüzlekleri de görülen yatak, beyaz riyodasitik pomzalı tüfler ile ignimbritler içinde yer alır.

Başören bentonitlerinin DTA ve X ışını kırınımı analiz sonuçlarına göre montmorilonit ve az miktarlarda da kristobalit içerdiği belirlenmiştir. Dış görünümleri krem, bej renklerde, yumuşak, plastik, sabunsu parlaklıkta olup, pişme rengi beyazdır. Söz konusu beyaz bentonit yatağının genişliği 40-50 metre, uzunluğu 400-500 metre ve kalınlığı 20-30 metre kadar olup görünür+muhtemel rezervi 1 milyon tondur (Akbulut, 1996).

Eskişehir (Mihalıççık) bentonitleri, açık yeşil-gri renkli killer olarak uzun yıllardan beri yörede temizlik işlerinde kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda Eskişehir yakınlarında, yüksek jel indeksi ve 25ml/2g'lık şişme hacim değerleriyle ilginç özellikler gösteren Na bentonit oluşumları belirlenmiştir (Akbulut, 1996)

4.3.3. Kalecik-Ankara bentonit yatağı

Ankara'nın Kalecik ilçesine bağlı Hançılı Köyü yakınında yaklaşık 4 km uzunlukta ve 250 metre genişlikte bir bentonit-bentonitik kil yüzleği bulunmaktadır. Türkiye'nin en önemli bentonit yataklarından biri olan Hançılı (Kalecik) bentoniti alt pliyosen yaşlıdır. M.T.A.' da yapılan bir çalışmaya göre; en altta yaklaşık 10 metre kalınlıkta koyu mavi-gri bentonitin üzerine 10-40 metre arasında değişen kalınlıkta haki renkli diğer bir bentonit seviyesinin yer aldığı ve haki renkli bentonit içinde 0,1-1,5 metre kalınlıklarda bir kumlu seviyenin izlendiği belirtilmektedir (Akbulut, 1996). Alt bölümü yeşil-gri bentonit ve çamurtaşı-kumtaşından oluşan Hançılı formasyonu, üste doğru kömür ve çört seviyeleri ile yeşil çamurtaşı marn ve zeolitik katman ardalanması göstermektedir

Hançılı bentonit yatağında kalite ve rezerv bakımından döküm ve pelet kalite bentonitler olarak üç önemli bölge bulunmaktadır:

* Birinci bölge, Bağlarbaşı tepesinin yaklaşık 400 metre güneydoğusunda,
* İkinci bölge, Karabayır tepesinin 2,5 km kuzeydoğusunda,
* Üçüncü bölge, Türbebaşı tepesinin 400 metre güneydoğusunda yer almaktadır.

Her üç bölgede de sondaj bentoniti nitelikli 0,5-1 metre kalınlıkta bir veya iki seviye bulunur. Bunun dışında doğal ve aktive edilerek ağartma toprağı kalitesinde kullanıma uygundur. Bölgede; 18 milyon ton görünür, 19 milyon ton muhtemel ve 38 milyon ton mümkün olmak üzere 75 milyon ton rezerv bildirilmektedir.

4.3.4 Çankırı bentonit yatakları

Çankırı bentonitleri başlıca Eldivan, Kurşunlu, Ilgaz ve Çerkeş ilçeleri yakınlarında toplanmıştır.

a) Eldivan bentonitleri

İlçenin güneyindeki Küçük ve Büyük Hacıbey köyleri çevresinde temelde olasılıkla kretase yaşlı ofiyolitler içinde, bentonitlerin de yer aldığı Büyük ve Küçük Hacıbey formasyonu "bentonitik seri" olarak da anılmaktadır. Bentonitik serinin alt bölümü kumlu ve kireçli bentonitler içeren silttaşı, çakmaktaşı, şeyl ve kireçtaşı ile kumtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. 200 metre kalınlıktaki alt bölüm üzerinde 80-150 metre kalınlıkta gri-yeşil şeyl, kiltaşı ve bentonit bulunmaktadır.

Sodyum bentonit kalitesinde olan Büyük ve Küçük Hacıbey bentonitinin veriminin, 100-120 Bbl/short ton, filtre kaybının ise 10-20 ml olduğu, şişme oranının 4.6-7.0 arasında, 325 meş elek altının % 96-99 oranında olduğu ve X-Ray ve DTA sonuçlarına göre montmorillonit ve çok az serbest silis ve kuvars içerdiği belirlenmiştir (MTA, 1996). Bölgedeki bentonitler için, 4,5 milyon ton görünür + muhtemel rezerv verilmektedir (Akbulut, 1996).

b) Kurşunlu bentonitleri

Kurşunlu yöresindeki tersiyer andezitik tüfler, plio-kuvaterner yaşlı çökeller tarafından açısal uyumsuzluk olarak örtülmüştür. Andezitik tüfler içinde yer yer cepler halinde oluşmuş bentonit yatakları bulunmaktadır. Bentonitli tersiyer andezitik tüfler üzerine, plio-kuvaterner gevşek marn, kaba kumtaşı, yumuşak siltli killer gelmiştir.

Bu bölgedeki bentonitin oluşumu, meteorik ayrışma ile açıklanmaktadır. Yaklaşık rezervi 300 bin ton olarak verilen söz konusu bentonitler sondaj ve dökümde kullanılabilir niteliktedir (Akbulut, 1996).

c) Ilgaz bentonitleri

Tersiyer andezitik volkanit tüfleri içinde yer yer mercekler halinde bentonit yatakları görülür. Bu oluşumlarda etken meteorik koşullardır. Ilgaz bentonit yataklarının görünür + muhtemel rezervi 200 bin ton olup yer yer çok iyi kaliteli bentonit içerirler. Sondaj ve dökümde kullanılabilirler.

d) Çerkeş bentonitleri

Çerkeş yöresinde temeldeki kretase yaşlı kireçtaşlarının üzerinde açısal uyumsuz olarak Tersiyer volkanitleri bulunur. Bölgedeki bentonit oluşumu; meteorik suların, volkanitleri yer yer ayrıştırmasıyla açıklanmıştır. Çerkeş bentonitlerinin görünür + muhtemel rezervinin 96 bin ton olduğu belirtilmektedir (Akbulut, 1996).

4.3.5. Reşadiye-Tokat bentonit yatağı

Kelkit vadisi boyunca kuzey kesimde çok sayıda bentonit oluşumu görülür. Bunların başlıcaları; Niksar, Bereketli ve Reşadiye bentonitleridir. Halen işletilmekte olan ve Türkiye'nin sondaj bentoniti olarak isim yapmış olanı Reşadiye bentonitidir. Reşadiye bentoniti Na ve Na-Ca tipi bir bentonit olup sondaj, döküm ve peletlemede kullanılacak niteliktedir.

Bölgede bentonitin konumu alttan üste aşağıdaki gibi özetlenebilir.

* mor renkli trakiandezitik tüf ve kumlu kiltaşı,
* gri, mor, yeşil, kırmızı andezitik, dasitik, trakiandezitik tüfler,
* bentonit,
* düzgün, ince katmanlı alacalı biyomikrit-bentonit ardalanması.

Reşadiye bentonit sahasının jeolojik rezervi 348 milyon ton olarak verilmiştir (Akbulut, 1996). Bunun içinde gerçek sondaj bentoniti 1-2 milyonu geçmemektedir. MTA tarafından yapılan çalışmalarda, Akdoğmuş yöresinde 180.000 ton görünür + muhtemel, Kaşpınar yöresinde ise 800.000 ton muhtemel rezerv belirlemişlerdir. Reşadiye bentoniti sondaj çamuru dışında, dökümcülük ve peletlemede kullanıma uygundur.

4.3.6. Ünye, Fatsa-Ordu bentonit yatakları

Türkiye'nin en önemli beyaz bentonit yatakları Ordu'nun Ünye-Fatsa ilçeleri arasında bulunur. Söz konusu yataklar başlıca Tavkutlu-Gölcüğez ve Keşköy-Emineli-Ahizetli yörelerinde toplanmıştır.

Bentonit sahalarının tabanında saçılmış pirit içerikli üst kretase riyodasitleri bulunur. Riyodasitlerin üzerinde andezitik tüf arakatlı riyodasitik tüf breşi ve onun da üzerinde dasitik tüf mercekleri içeren beyaz bentonitler yeralmaktadır. Bentonitlerin üzerinde alt seviyeleri bentonitleşmiş dasitik tüfler bulunmaktadır. Dasitik tüflerin altında yaygın olarak bulunan bentonitler 40-50 metre arasında değişen kalınlıklardadır. Bentonit kendi içinde dasitik tüf ve breşlerle ardalanır.

Tavkutlu-Gölcüğez ve Kavaklar mahallesi bentonit yatakları, temiz, beyaz-kirli beyaz, yer yer pembe lekeli bentonitlerden oluşmaktadır. Seramik hammaddesi olarak kullanılabilir ve 800.000 ton mümkün rezerve sahiptir. Keşköy-Ahizetli-Emineli yöresi yataklarında kirli beyaz, yeşilimsi bentonitler, 1-10 cm arasında değişen yeşil-gri ayrışmış safsızlıklar içerir. Bu bentonitler de seramik hammaddesi olarak kullanılabilir nitelikte ve 1 milyon ton mümkün rezerve sahip yöre bentonitleri üzerinde, son yıllarda yağların ağartılması, deterjan yapımı ve kağıt sanayi de kullanılabilirliği araştırılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır (Akbulut, 1996).

Diğer bir beyaz bentonit yatağı Ünye-İnkur Belediyesi Ca bentonit yatağı olup, Ünye-Tekiray-Niksar yolunun 13. kilometresinde İncirli Ocağı ile Uğurlu dere arasında doğu-batı doğrultusunda 5 km boyunca uzanır. Ünye ve Fatsa bentonitlerinin yağ arıtma ve kağıt sanayinde kullanıma uygun olduğu; beyazlık derecesinin % 90,5, aşındırma değerinin 22,8 miligram, 270 meş elek üstü oranının %13,6 (kristobalit) olduğu belirlenmiştir. Ünye ve Fatsa bentonitlerinin 50 milyon ton'dan fazla rezerve sahip olduğu belirtilmektedir (Akbulut, 1996).

4.3.7. Diğer bentonit yatakları

Malatya-Elazığ yöresi bentonitleri yer yer büyük rezervlere sahip olmalarına karşın, yağların ağartılmasında ve bölgede yalnız iki bentonit yatağının ise soda ile aktive edilmesinden sonra peletlemede kullanılabilir niteliklere sahip olduğu bilinmektedir.

5. DÖKÜM PROSESİ VE DÖKÜM KUMU HAKKINDA GENEL BİLGİLER

5.1. Döküm Prosesleri

Döküm prosesi; ergimiş metalin, aynı zamanda kalıba iç şeklin verilmesi için nüve/göbek kısmını da içeren kalıp içerisine dökülmesi işlemini kapsamaktadır. Metal daha sonra soğumaya ve katılaşmaya bırakılmaktadır. Metal soğuma ve katılaşma işlemini takiben kalıptan çıkarılır ve eğer gerekli görülürse bir sonraki işlem olan dökülen ve sonlanan metalin kontrol edilmesi işlemi için hazır hale getirilir. Metallerin dökülmesi için üç temel yöntem mevcuttur; Kum dökümü, Hassas döküm (investment casting) ve Pres döküm (die-casting).

Kum dökümünde; kum karışımı, bağlayıcı (genellikle bentonit) ve su istenilen şeklin oluşturulması için kalıp kutusu içerisindeki mastar (pattern) civarında sıkıştırılmaktadır.

Mastar daha sonra dışarı alınmakta ve ergimiş metal daha sonra oluşan boşluk içerisine dökülmektedir. Bu döküm tekniği; hata payının çok olmasına rağmen, daha düşük maliyetlerinden dolayı döküm işlerinde çok geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Pres döküm (die-casting) yönteminde; genellikle dökülen metalin ergime derecesinden daha yüksek ergime derecesine sahip olan metallerden oluşturulmuş, kalıcı kalıplar kullanılmaktadır. Bu döküm tekniği, düşük ergime sıcaklıklarına sahip metallerin ve alaşımların basit şekillendirme ile üretimlerinde kullanılmasına uygun bir yöntemdir.

Hassas döküm (investment casting) yöntemi; daha sonra etrafının ergimiş silika (fused silica) gibi refrakter malzemeden yapılmış hartuç ile kuşatıldığı, genişleyebilir özellikteki balmumu/parafin mastarı/kalıbı kullanımını kapsamaktadır. Sözü geçen tüm bu malzemelerin oluşturduğu birliktelik daha sonra ısıtılarak balmumu mastarı eritilir ve oluşan erimiş balmumu daha sonra boşaltılır ve yerine ergimiş metal dökülür. Bu döküm tekniği ile kompleks/karmaşık döküm şekilleri oluşturulabilmektedir.

5.2. Döküm Kumu Çeşitleri

Kil ile bağlanmış, tipik bir yaş kum (aynı zamanda sentetik kum olarak da bilinmektedir); yaklaşık olarak % 80 Silis, % 5-10 bentonit, % 2-6 su ve değişen miktarlarda diğer katkı maddelerini içermektedir.

Yüksek hacimli üretimlerde ve boyutsal doğruluğun ve yüzey sonlanması (surface finish) işlemlerinin çok kritik olmadığı durumlarda, genellikle silis kumu, daha kompleks işlerde ise nispeten daha pahalı olan zirkon, kromit ve olivin kumları kullanılmaktadır. Son zamanlarda, kanserojen etkisi sebebiyle, özellikle Avrupa ülkelerinin silis kumu yerine olivin kullanmaya başladığı da rivayetler arasındadır.

Kalıp hazırlama ve döküm performansında etkili olan kum karışımı özellikleri; sıkıştırılabilirlik, yoğunluk, akışkanlık (sıkıştırılacak kumun homojen hale getirilebilme özelliği), kalıp haline getirilebilirlik, kuru, yaş ve sıcak basma dayanımları, ıslak çekme mukavemeti, ateş zayiatı, uçucu madde içeriği ve gaz geçirgenliğini kapsamaktadır.

Kum karışımı içerisindeki kil miktarının belirlenmesi için Metilen Mavisi testi uygulanmaktadır. Ateş killeri, kaolinler ve top killeri de aynı zamanda bağlayıcı olarak kullanılabilmektedir. Ancak, bu killerin kullanımları, çelik ürünlerinin kuru kum dökümünde yasaklanmıştır ve dolayısıyla da bentonit bugüne kadar kil ile bağlı döküm kumlarında en çok kullanılan en önemli bağlayıcı maddedir.

Kil-bağlı yaş döküm kumu, bentonite ilave olarak çeşitli katkı maddeleri içerebilmektedir. Küçük dökümlerde % 2-3 ve daha geniş dökümlerde % 7-8 kömür tozu ilavesi, gaz formasyonu ya da kalıp-metal ara yüzeyindeki yağlı karbon kalıntısı dolayısıyla, çalkalamada (shake out) salınımı ya da kabarma (release/peel) özelliklerini geliştirmektedir. Seacoal, asfalt jipsonit, kostik linyit ve hafif petrol damıtım ürünleri gibi diğer karbon türleri de aynı zamanda bu amaç için kullanılmaktadır. Bazı bentonit üreticileri, çeşitli derecelerde kömür tozu ya da diğer karbon kaynakları ile harmanlanmış bentonit ürünlerini de sağlamaktadırlar.

Talaş tozu, yer cevizi kabuğu ve bazı benzer organik atıklar formunda % 1-2 oranında selüloz ilavesi, yüksek sıcaklıklarda yanmayı önler ve döküm sırasında kum tanelerinin genişlemesini telafi eder. Böylece genişleme ile ilgili hatalar azaltılır.

Bu katkılar aynı zamanda su ilavesine olan hassasiyeti azaltır, sıcak yırtılmalarını (hot tears) ve gerilim yarıklarını azaltır, kalıp salınımını ve akışkanlığını iyileştirir. Bütün demir dökümlerinde kullanılır. Ancak, çelik ve demirsiz kalıplama kumlarında nispeten daha az kullanılmaktadır. Demir dökümü işlemlerinde % 1, çelik dökümü işlemlerinde % 2 oranına kadar döküm kumu içerisine yapılan tahıl (cereal) ve nişasta katkıları ile genişleme hataları, yırtılmalar ve yarılmalar azaltılır ve aynı zamanda tahıl ve nişasta katkısı ile akışı zor alan mastarların akıcı hale getirilmesi ile kumların yaş deformasyonu artırılır.

Islatma amaçlı kullanılan ajanlar tavlı suya (temper water) ilave edilerek, kum içerisinde suyu adsorblayan katkı maddelerinin aktivasyonu hızlandırılır. Bu amaçla; katyonik, anyonik ve noniyonik tip ıslatıcılar kullanılabilmekte, ancak, tüm metal dökümleri için hazırlanan kil bağlı döküm kumları içerisinde en çok tercih edileni noniyonik tipte olanlar olmaktadır. Su ile aktive edildiklerinde sodyum bentonit ile reaksiyona girebilen ve akıcılığı arttıran çeşitli doğal ve sentetik polimerler kullanılmaktadır. Döküm kumu içerisinde genellikle kullanılan katkılar Çizelge 5.1' de verilmiştir.

5.3. Döküm Bentoniti Özellikleri

Döküm endüstrisi cemiyeti tarafından geliştirilmiş olan bentonit spektleri; nem içeriği, jelleşme indeksi, pH değeri, ısıtma-bağlama özellikleri ve likit limit gibi bazı özellikleri kapsamaktadır. Likit limit; bentonit numunesinin akmaya geçmeden önceki su tutabilme ölçüsüdür ve Steel Castings Research & Trade Association standartlarına göre en düşük 525 seviyelerinde olmalıdır. Döküm bentoniti teknik özellikleri Çizelge 5.2' de verilmiştir.

Metalin tipi ve döküm ve üretim prosesinin hacmine bağlı olarak, her bir döküm; kalıp kumunun yaş, kuru ve sıcak mukavemetleri açısından kendi özel spesifikasyonlarını içermektedir. Bu yüzden bentonit üreticileri ve prosesçileri, spesifik döküm şartlarının gerektirdiği şartlara göre oluşturulmuş ürünleri sıkça sunmaktadır. Bu da, kuru, yaş ve sıcak mukavemetlerin en uygun kombinasyonunun sağlanması açısından, genellikle sodyum bentonitin harmanlanmasını ya da bazen kalsiyum bentonitin sodyum formuna getirilmesini gerektirmektedir.

Döküm kumu içerisinde kullanılan bentonit miktarı, nem içeriklerinin sıkı bir şekilde kontrolü ile azaltılabilmekte, bu da istenilen mukavemet kombinasyonlarının minimum bentonit kullanımı ile elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Genelde % 7 oranında bentonit ilavesi sıkça kullanılan bir orandır.

Döküm kumlarının geri dönüşümünün dikkatli kontrolü, kum performansının olumsuz etkilenmemesi için, bentonitin uygun hale getirilmesinde kullanılan katkı maddelerinin düşük oranda uygulanması gerektirdiğini göstermiştir.

Çizelge 5.1 : Yaş kum katkı maddeleri

Katkılar	Tipi	Fonksiyonu	Dezavantajları
Killer	Na-bentonit Ca-bentonit Ateşkili	Kum taneciklerini bağlar	Kalıp kırılmalarına, kesiklere, sebep olmakta ve düşük seviyelerde genişleme hatalarına sebep olmaktadır. Fazlası, daha kötü çalkalanma özelliğine ve döküm boyutlarına, daha kötü akışkanlığa ve kalıp boşluklarına sebep olmaktadır.
Tahıl/ cereals	Mısır unu "milo" unu Buğday unu Çavdar unu	Kum genişlemesini kontrol eder, kırılganlığı (friability") düşürür, yaş deformasyonu arttırır	Fazlası, sıkıştırılabilirliği olumsuz etkiler, yapışkanlığı arttırır, zayıf çalkalama özelliği verir, gaz ile ilgili hatalara sebep olur, metal penetrasyonuna ve pH da değişikliğe sebep olur.
Selüloz	Talaş tozu, Yulaf kabukları, Pirinç kabukları, Yer cevizi	Kum genişlemesini kontrol eder, Kalıp göçme özelliğini arttırır, çalkalanma ve kırılganlık (friability) özelliklerini geliştirir	Fazla miktarda kullanımı kalıp kırılganlığını arttırır, penetrasyonu erozyona sebep olur, gaz ile ilgili hatalara sebep olur.
Demiroksit		İnceler kalıp sertliğini arttırır, tane-tane temasını arttırır	Fazla miktardaki kullanımı kumun refrakterliğini düşürür, burn-out hatalarına sebebiyet verir.
Polimerler & kimyasallar	Soda külü, Islatıcılar, modifiye ediciler, polimerler	Suyun yüzey gerilimini düşürür, kilin ıslanmasını kolaylaştırır ve kili yumuşatır	Fazla miktarda kullanımı ıslak tabaka kabuklarına sebep olur, sıkıştırılabilirliği düşürür, kırılmış kalıplara sebep olur, mastardan derin bölgelere ulaşımı düşürür.
Karbonlar	Seacoal, asfalt, jibsonit Linyit, petrol ürünleri.	Elde edilen peel'e ilave edilir, genişlemeyi kontrol eder, kum taneleri arasındaki füzyonu azaltır	Fazla miktarda kullanımı gaz ile ilgili hatalara sebebiyet verir, kum-kil bağını zayıflatır, Kum geçirgenliğini düşürür
Su		Kili aktive eder	Fazla miktarda kullanımı gaza, oksidasyona, akışkanlıktaki başarısızlığa, çalkalamada zorluğa sebebiyet verir

Kaynak: Modern Casting (1996)

Çizelge 5.2 : Döküm bentoniti teknik dataları

ÖZELLİKLER	**BÜYÜKLÜK**
Montmorillonit	Min. 70% (Geko Standard) Min. 80% (Geko Super)
0.063mm/230 mesh elek üstünde kalan miktar	Max. 25%
Gevşek Balk Yoğunluğu	0.75-0.85g/cm^3
Yaş Basma Mukavemeti	Min. 8.0 N/cm^2 (Geko Standard) Min. 9.0 N/cm^2 (Geko Super)
Islak Çekme Mukavemeti	Min. 0.18 N/cm^2 (Geko Standard) Min. 0.22 N/cm^2 (Geko Super)
Termal duraylılık (30 dakika süre ile 550ºC'de ısıtılmış,)	Min. 5.5 N/mm^2 (Geko Standard) Min. 6.5N/mm^2 (Geko Super)

Kaynak: Süd-Chemie Korea Co. Ltd.

Daha büyük ve istikrarlı üretimlilik, el ve pnömatik kalıplama'dan, otomatik kalıplamaya; sarsma/sıkıştırma (jolt/squeeze), çekirdek daldırma ve sıkıştırma (core shoot and squeeze), vakum kalıplama ve darbe ile kalıplama metotlarına geçişi gerekli kılmıştır. 500 kg' ın üzerindeki döküm işlemlerinde, daha yüksek mukavemetlere ve boyutsal kararlılığa ulaşması için kum karışımı kurutulmaktadır. Ancak, döküm işlemlerinin büyük bir çoğunluğu nem içeren yaş kumlar ile gerçekleştirilmektedir.

Farklı bentonitlerle hazırlanmış döküm kumlarının özelliklerinde makul değişiklikler gözlenebilmektedir. Sodyumla aktive olmuş bentonitlerin büyük bir çoğunluğu, çelik döküm için gerekli olan likit limit değerlerini sağlayamazken ve sadece iyi bir yaş mukavemet değerleri sergilerlerken, doğal sodyum bentonit genellikle daha yüksek füzyon sıcaklıklarına ve kuru mukavemetlere sahiptir, daha dayanıklıdır ve nihai dökümde daha düşük kabuk hataları (scabbing defects) oluştururlar. Farklı tipteki killerin bazı döküm özellikleri Çizelge 5.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Her bir kil tipinin fiziksel özellikleri

Özellikler	**Sodyum bentonit**	**Kalsiyum bentonit**	**Ateş kili**
Kil (%)	5.0	5.0	12.0
Nem (%)	2.5	2.5	3.0
Yaş Basma Mukavemeti (psi)	11.2	12.4	10.2
Kuru Basma Mukavemeti (psi)	101.0	69.0	71.5
Tipik İlave oranı (lb/sh.ton)	13.3	20.0	22.9

Kaynak: Modern Casting (1996)

Kalsiyum bentonit kullanımı, dökümü yapılan maddenin kalıptan çıkarılmasını daha kolay hale getirebilir. Sonuç olarak, belirli tip döküm için, belirli tipte bentonit kullanımı yönünde bir eğilim mevcuttur. Örneğin Almanya'da, çelik dökümhaneleri, daha geniş demir dökümü işlemlerinde de kullanılan ve ihraç edilen Wyoming bentonitlerini kullanırken, demir dökümhanelerinin genellikle ülke içerisinde üretilmiş olan sodyum aktive bentonitleri kullandığı belirtilmiştir. Çizelge 5.4, Sodyum ve kalsiyum bentonit ile hazırlanmış yaş döküm kumlarının avantaj-dezavantajlarını göstermektedir.

Çizelge 5.4 : Döküm bentonitlerinin avantajları ve dezavantajları

	Avantajları	Dezavantajları
Sodyum bentonit	Yüksek sıcak mukavemet ve Iyi yaş mukavemet	En düşük akıcılığa sahip kil
	En sıkı ve en yüksek deformasyon özellikli	Yüksek su ihtiyacı
	Sıcak kumla en uyumlu olan kil	Karıştırılması en zor olan
	En yüksek ıslak çekme mukavemeti	Yumrulu çalkalama
	En yüksek sürüklenebilirlik (highest draw)	Yüksek kuru dayanım
	Çamur işlemlerinde süspansiyon halinde tutar	Oluklarda askıda kalabilir
Kalsiyum bentonit	En kuvvetli bağlayıcı kil	En kırılgan
	En yüksek yaş mukavemet	Zayıf sürüklenebilirlik
	En akıcı, döndürülebilen ve daha sıkı sıkıştırılabilen kil	Neme en çok duyarlı olan
	En düşük nemde işlem görür	Sıcak kumla en zayıf özellikte olan
	En düşük kuru mukavemet	En düşük mukavemetli
	En kolay çalkalama, en iyi göçebilir özellik	
	En az kırılan ve çatlak oluşturan bentonit	

Kaynak: Modern Casting (1996)

Doğal olarak, kimyasal ve vakum prosesi ile bağlanmış döküm kumları, kum döküm işlemlerinde kil ile bağlanmış döküm kumlarının alternatifleridir. Doğal olarak bağlanmış döküm kumları orijinal döküm malzemesiydiler (bentonit ile bağlanmış döküm kumları bu sebeple sentetik döküm kumu olarak adlandırılmaktadır) ve tipik

olarak % 8-10 illit içermelerinden dolayı diğer bir bağlayıcıyı gerektirmemekteydiler. Ancak illit, düşük refrakter özelliğe sahip bir kildir ve doğal olarak bağlanmış döküm kumlarının, iyi bir nihai yüzey bitimi istenen (surface finish) hafif döküm işlemlerinde kullanımı şu anda yasaklanmış durumdadır. Daha iyi bir kontrol ve yeniden üretilebilirlik özellikleri açısından, kil ile bağlanmış döküm kumları, doğal olarak bağlanmış döküm kumlarına göre şimdilerde daha çok tercih edilmektedir.

Sodyum silikat (aynı zamanda cam suyu olarak da bilinir) bağlayıcıları 100 yılı aşkın bir süredir kullanılmaktaydı ve bentonit kullanımından daha önce kullanılan bir bağlayıcıydı. Bu ürünler kabartma (baking) işlemi ile kürlenmekteydiler. Ancak, karbondioksit (CO_2) gazı ile işleme 1950'lerde, sıvı ester sertleştiricileri kullanan hava-ayarlama (air-setting) sistemleri ise 1960'larda geliştirildi. O tarihlerde yeni ester/silikat hava-ayarlama sistemlerinin de aynı zamanda geliştirilmişken, 1980' lerde nişasta hidrolizatı (hydrolysate) ya da polimer bazlı yardımcı bağlayıcılar ve kürleme proseslerinde ılık hava ve vakum kullanımı, CO_2 sistemlerine uygulanmıştır.

1960 ve 1970' lerde sıkça geniş ölçekte kullanılan diğer kimyasal olarak bağlanmış döküm kumlarında, sıcak ve soğuk ayarlı sistemlerde bağlayıcı olarak sentetik reçineler kullanılmıştır. Soğuk ayarlı sistemler; (cold-setting systems) furan/asit, fenolik/asit, alkid/izosiyanat ve fenolik/izosiyanat içermekteydiler. Isıtma ayarlı prosesleri (heat-setting processes); kabuk kalıplama (shell moulding) ve fenol-formaldehit sistemin kullanıldığı sıcak kutu iyileştirilmesi (hot box treatment) işlemlerini içermekteydiler.

Kimyasal olarak bağlanmış döküm kumları, kil ile bağlı döküm kumları üzerinde; daha iyi boyutsal stabilite ve doğruluk, daha yüksek basma mukavemetleri, düşük enerji ihtiyaçları, daha düşük kum/metal oranları 1-4:1 (kil ile bağlı döküm kumlarında 5-8:1) ve daha büyük uygulanabilirlik gibi önemli avantajlar sunmaktadır.

Farklı metallerin dökümünde kullanılmak üzere temel döküm kumlarının oluşturulması için uygun olan farklı bağlayıcılar da kullanılabilmektedir. Daha yüksek malzeme maliyeti, bazen daha yavaş kalıp çıkarılabilme özelliği ve birçok durumda da kumun geri kazanımında yüksek maliyetler (ve daha büyük zorluk), bu bağlayıcıların ana dezavantajlarını oluşturmaktadır.

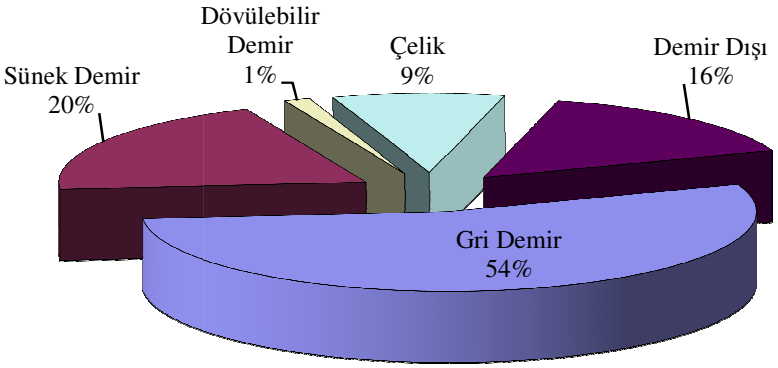
5.4. Döküm Kalitesinde Bentonit Tedarikçileri

Bentonit üretiminde lider birçok üretici, ürün yelpazelerinde döküm kalitesinde bentonit bulundurmaktadır. Bu üreticilerin ürün takdimleri, tipik olarak önceden harmanlanmış olan çeşitliliği içermektedir. Bu üreticiler aynı zamanda alışılmış harman da üretmekteydiler. ABD'deki ana tedarikçiler; Amcol, BMP ve Wyo-ben'dir. 2003 yılı verilerine göre Amerika üreticilerinin ülke içerisindeki pazarlara satışları 790.000 ton civarındadır. Buna ilave olarak da 226.000 ton da ihraç edilmiştir.

Diğer temel tedarikçiler ise S&B Industrial Minerals ve Süd-Chemie'dir. S&B Industrial Minerals'ın Avrupa, Kuzey Amerika ve Birleşmiş Devletler topluluğunda bulunan pazarlar için yılda 400.000 ton'un üzerinde bentonit ve bentonit/karbon harmanları ürettiği rapor edilmiştir. S&B Industrial Minerals, Batı Avrupa pazarındaki payının % 50'den daha fazla olduğunu iddia etmektedir. Süd-Chemie, Avrupa ve Asya'da bulunan kendi madenlerinden ürettiği bentonit içeren döküm katkıları tedarik etmektedir. Süd-Chemie'nin döküm kalitesindeki bentonit kapasitesi Avrupa'da yılda 500.000 ton, Asya'da yılda 250.000 ton civarındadır.

5.5. Metal Döküm Üretimi Ve Bentonit Talebi

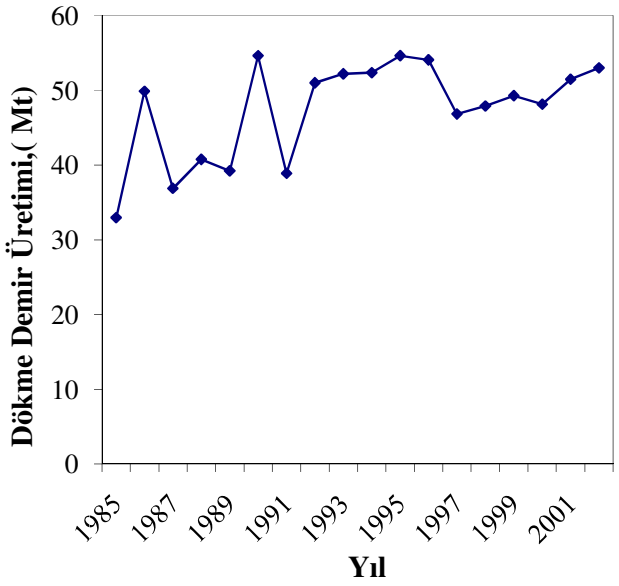
Döküm kumları içerisinde kullanılan bentonit ihtiyacı/talebi döküm üretimi hacmine ve aynı zamanda da uygulanan döküm prosesine ve döküm kumunun rejenerasyonu seviyesine bağlıdır. Döküm Endüstrisinde, tipik olarak yaş kum kalıpları kullanan (toplam döküm üretiminin % 70'ini kapsamaktadır) demir dökümü üretimi baskın olmaktadır (Şekil 5.1). Bu sebeple bentonit tüketimi oldukça fazla miktardadır. 2003 yılında, ABD'de, döküm kumu içerisinde 790.000 ton bentonit kullanılmıştır ki bu da toplam ABD talebinin/ihtiyacının % 21'ine eşittir. S&B, döküm kumu için, Avrupa pazarı bentonit talebinin 1 M ton/yıl ya da toplam bentonit tüketiminin % 32'si olduğunu kabul etmektedir.



Şekil 5.1 : Dünya'daki döküm tipine bağli olarak döküm üretimleri, (%)

Kaynak: Modern Casting (2002)

Ancak, döküm kumu sektöründe toplam bentonit ihtiyacı nispeten stabildir. Örneğin, Avrupa pazarı, son yıllarda yılda ortalama % 2' lik bir büyüme göstermiştir. Bunun nedeni, dünya çapında demir döküm üretimlerinde 1990'ların ilk dönemlerinden itibaren gözlemlenen kararlılıktır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Dünya: demir döküm üretimi, (1985 -2002) (MTon)

Kaynak: Modern Casting (2002)

Endüstriyelleşmiş ülkelerdeki, geleneksel olarak demirli dökümler için en büyük pazar olan, ağır mühendislik endüstrilerindeki azalma dolayısıyla döküm kumu ihtiyacı 20 yılı aşkın bir süredir azalmıştır. Aynı zamanda demir ve çelik döküm üretiminde, Batı Avrupa, Japonya ve Kuzey Amerika'dan, daha düşük üretim maliyetlerine sahip Asya, Latin Amerika ve BDT gibi ülkelere bir kayma gözlemlenmektedir. Çin'in üretimi tek başına, 1990'lı ilk yıllardaki üretiminin iki katına sahiptir ve Asya (Japonya hariç) şu günlerde toplam demir ve çelik döküm üretiminin yaklaşık olarak üçte birini karşılamaktadır. Ülkeler bazında döküm üretimleri Çizelge 5.5' de verilmiştir.

Döküm endüstrisinde dünya bentonit tüketimlerinin, deneyimler ışığında gelecek yıllarda da iddiasız/mütevazı bir büyüme içinde olacağı söylenebilir. İhtiyaçlardaki artışlar, döküm kumunun büyük oranda rejenerasyonu ile dengelenecektir. Çevre yönetmelikleri daha sıkı hale gelmekte ve daha yüksek atık maliyetleri ve malzemelerin artan geri kazanım gerekliliği ile sonuçlanmaktadır.

Çizelge 5.5 : Temel ülkeler bazında tipe bağlı olarak döküm üretimleri, (x1000t)

ÜLKELER	**Demir**				**Demir Dışı**			**Toplam**
	Gri	**Sünek**	**Dövülebilir**	**Çelik**	**Cu-bazlı**	**Alüminyum**	**Diğer**	
Çin	9,840	2,995	452	1,692	157	979	147	**16,262**
ABD	4,463	3,703	115	840	267	1,877	547	**11,812**
Rusya	4,400	-	-	1,200	-	600	-	**6,200**
Japonya	2,351	1,742	80	232	87	1,217	43	**5,752**
Almanya	2,253	1,277	38	181	90	660	96	**4,595**
Hindistan	2,370	300	30	325	-	242	-	**3,267**
Fransa	2,513	-	-	115	-	390	-	**3,018**
İtalya	933	444	10	75	110	777	92	**2,441**
Meksika	800	175	-	300	175	480	100	**2,030**
Brezilya	1,220	494	23	87	14	122	11	**1,971**
Kore	925	523	48	145	22	46	5	**1,714**
İspanya	592	643	23	80	9	266	16	**1,629**
Tayvan	723	275	8	63	49	267	56	**1,441**
Diğer	4,615	1,482	115	993	96	712	64	**8,077**
Toplam	**37,998**	**14,053**	**942**	**6,328**	**1,076**	**8,635**	**1,177**	**70,209**

Kaynak: Modern Casting (2002)

5.6. Döküm Bentoniti Standartları

Her ne kadar döküm yapan şirketlerin kendilerine uygun geliştirmiş oldukları test prosedürleri ve döküm bentoniti özelliklerine dair kendi standartları olsa da Türkiye'de döküm bentonitleri ile ilgili "TS 5360 Bentonit, Döküm Kumunda Kullanılan, Nisan 1996" standardı mevcuttur. Ancak bu standart döküm kumu ile ilgili standartlardan daha ziyade, kum içerisinde kullanılan bentonit ile ilgili standartları kapsamaktadır. TS 5360, döküm kumu içerisinde kullanılan bentonit ile ilgili; CaO miktarı, Kızdırma kaybı, Tane büyüklüğü, Nem miktarı, Likit limit, Sinterleşme, Jelleşme indeksi, Hakim mineral, Şişme indeksi gibi özelliklere işaret etmektedir. Döküm kumu ile ilgili olarak ise Yaş ve Kuru mukavemetler ve Gaz geçirgenliği özelliklerine işaret etmektedir. Oysaki döküm işleri ile ilgilenen firmalar, Yaş kesme, Islak çekme ve Ezme mukavemeti gibi değerlerin yanı sıra, kendi döküm teknikleri ve karşılaştıkları sorunları önleyici çözümleri ile ilgili gerek döküm kumu gerekse döküm kumu içerisinde kullanılan bentonit ile ilgili ilave özellikleri dikkate almakta ve buna göre bentonit alımı yapmaktadırlar. Örneğin TS 5360'da şişme özelliği min. 17 ml işaret edilirken Türkiye'de döküm işi yapan birçok firma bu sınırı 22 ml ve üzeri olarak tutmuşlardır. TS 5360'da yer alan döküm kumu bentoniti ve bu bentonitle hazırlanan kumlarla ilgili istenen özellikler, Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6: TS 5360 standardına göre döküm kumu ve bentoniti özellikler

Döküm Bentonitinde Aranan Özellikler (TS 5360)	**Öngörülen sınır değerler**
pH	8–10,5
Montmorillonit miktarı (en az) (%)	75
Kızdırma kaybı (en çok) (%)	6,5
Tane boyutu, kuru elemede (149 µm, 74 µm) (%)	97–90
Tane boyutu, ıslak elemede (149 µm, 74 µm) (%)	100–98
Nem miktarı (en çok) (%)	10
Likit limit (en az) (gr)	350
Kolloidal özellik (en az) (%)	3
Jelleşme katsayısı (en az)	12
Suda şişme (en az) kat fazla	3–4
Sinterleşme (^{o}C)	1300
Termal durabilite, 537 ^{o}C' de (en az) (%)	50
Yaş dayanım (en az) (gr/cm^2)	1200
Kuru dayanım (en az) (gr/cm^2)	900
Gaz geçirgenliği (en az) (cm^3)	175

Kaynak: TSE TS 5360 Bentonit, Döküm Kumunda Kullanılan, Nisan 1996

6. BENTONİTİN AKTİVASYONU HAKKINDA GENEL BİLGİLER

6.1. Aktivasyon Çeşitleri

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.

6.1.1. 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;

$$Ca^{++}\text{- Bentonit} + NaHCO_3 \text{ veya } Na_2CO_3 \rightarrow Na^{+}\text{-Bentonit} + CaCO_3\downarrow \qquad (6.1)$$

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 $NaHCO_3/Na_2CO_3$'ın ilave edilmesi, nemin %35–45 seviyelerinde tutulması ve karıştırılarak sıkıştırılması şeklinde özetlenebilir. Bu işlemler sonrasında aktif bentonit 150 ^oC' den daha düşük bir ısıda kurutularak öğütülür (-80 mikron) ve kullanıma hazır hale gelir.

6.1.2. Asitle aktivasyon

Yemeklik yağların renginin giderilmesinde kullanılan doğal bentonitlerin ağartma gücü genelde düşüktür. Bu nedenle özellikle Ca-Bentonitler asit ile aktifleştirilerek ağartma gücü arttırılır 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 arttırılması 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, okdaedral katyonların aşağı yukarı yarısının kilin kristal kafesinden uzaklaştırıldığı zaman yüksek düzeye ulaşır (Sarıkaya, 1985; Sarıkaya ve diğ., 1984; Yalçın ve Özbilge, 1985).

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^{+2} iyonları solüsyona geçen bu iyonlarla yer değiştirir. Özellikle Al^{+3} ve H^{+} iyonları Ca^{+2} ile yer değiştirirler ve açıktaki Ca^{+2} 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 (Bailey, 1963; Çakıcıoğlu ve diğ., 1985).

6.1.3. Karboksi metil selüloz ile 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.

6.1.4. 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. (Kocakuşak ve diğ., 1997; Çinku ve Bilge, 2001; U.S. Patents, 1984)

6.1.5. Kuaterner amonyum tuzları ile 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;

$$[(R_4)N]^+Cl^- + Na^+Bentonit^- \rightarrow [(R_4)N]^+Bentonit + NaCl \qquad (6.2)$$

(QAT) organik kil (organik bentonit)

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

6.1.6. Silan bileşikleri ile 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 aktif olan trisilanol gruplarıdır;

$$R\text{-}C_3H_6\text{-}Si(OCH_3)_3 + 3H_2O \rightarrow R\text{-}CCC\text{-}Si(OH)_3 + 3CH_3 \qquad (6.3)$$

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 (Kocakuşak ve diğ., 1997; Onikata, 1963).

6.1.7. 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 bileşikleri şeklinde sıralanabilirler.

6.1.8. 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 (Lebedenko ve Plee 1988). Bentonitlerin suda çözünebilen polimerler ve benzeri bileşiklerle modifikasyonu çeşitli araştırıcılar tarafından çalışılmış ve üstün reolojik (viskozite, tiksotropi vb.) özellikler elde edilmiştir (Scott ve Okla 1962, Lumus ve Okla 1969, Swanson ve Okla 1970, Glass 1985, Burdick 2002, Bol 1986). 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, inorganik malzemelerin kullanılması gereğini ortaya çıkarmıştır (Kocakuşak ve diğ. 1997, Köroğlu ve diğ. 1998, Çinku 2008). Bu tez çalışmasında soda ile alkali aktivasyonu ile birlikte magnezyum oksit gibi inorganiklerle aktivasyon yapılmıştır.

7. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME VE YÖNTEMLER

Bu bölümde, deneylerde kullanılan malzemeler ve özellikleri tanıtılırken, deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

7.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Döküm sanayinde kullanıma uygun nitelikte bentonit elde etmeyi amaçlayan bu tez çalışmasında numuneler; Ceylan Bentonit San. Tic. Ltd. Şirketi 'ne ait İR 200507653 ruhsat no' lu Çorum ili, Osmancık ilçesi, Kuyumcu Köyü bentonit ocağından temsili olarak alınmıştır. Bentonitin alındığı bu sahada firma, 2006 yılı itibari ile üretim yapmakta ve bu malzemeyi dökümhanelere pazarlamaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Yüzey Kimyası laboratuarlarına getirilen 100 kg. numune, üzerinde işlem yapmak üzere konileme dörtleme metodu ile azaltılmış ve belirli bir kısmı bir dizi deneye tabii tutulmak üzere ayrılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin üretici firma tarafından tam kimyasal analizi ACME Firmasına yaptırılmış ve aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Çizelge 7.1' de CaO, MgO, K_2O ve Na_2O analiz değerleri formüle konulduğunda; $[(Na_2O + K_2O)/(CaO + MgO)] = 0.518$ değeri bulunmuştur. Literatürde, $[(Na_2O + K_2O)/(CaO + MgO)]$ oranının 1'den küçük ya da 1/3'e kadar değerde olan bentonitler ara tip bentonit olarak adlandırılmaktadır. Bu sonuç numunenin ara tip bentonit olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.1 : Osmancık bentonit numunesinin tam kimyasal analizi

Kimyasal Formül	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**CaO**	**Na_2O**	**K_2O**	**TiO_2**	**P_2O_5**	**MnO**	**Cr_2O_3**	**K.Kay**
(%)	51,89	14,60	5,56	2,27	3,10	1,29	1,49	0,70	0,24	0,04	0,022	18.7

7.2. Aktivasyon

Bentonit numunesinin aktivasyon işleminde; TÜBİTAK KAMAG Projesi ara raporlarının aktivasyon çalışmaları kısmında detayları verilen deney prosedürü izlenerek en uygun şekilde aktivasyon yapılmıştır (TÜBİTAK KAMAG Projesi, 2008). Bu amaçla, soda ilavelerinde; bentonit numunesi öncelikle su püskürtme yöntemi ile % 40 neme getirilmiş ve hamur karıştırma makinesinde 15-20 dakika süre ile karıştırılarak bentonit nemi homojenize edilmiştir. Nem kazandırma ve homojenizasyon işlemini takiben uygun miktarlardaki soda, karışıma (çamura) ilave edilmiş ve tekrar 15-20 dakika süre ile karıştırılarak ilave soda homojen bir şekilde bentonit numunesine yedirilmiştir. Karıştırma sonrasında elde edilen çamur, daha iyi bir kurutma için küçük parçalara bölünerek oda sıcaklığında kurutma işlemine bırakılmıştır. 4 aylık kurutma işlemini takiben numuneler bilyalı değirmen vasıtasıyla -150 µm boyutuna indirilmiş ve 5 aylık bekleme sürecine alınmıştır. Bu süreç sonunda numunelerin bir kısmı ayrılarak deneylerden 1 gün önce belirli oranlarda kuru toz MgO katılmış ve homojen hale gelinceye kadar karıştırıcıda karıştırılmıştır. Numuneler, Ek 1'de verilen "Numune aktivasyon sırası şeması" ndaki gibi aktive edilmiş ve sınıflandırılarak toplam 44 adet numune döküm kumu testlerine, sonrasında sondaj çamuru testlerine tabii tutulmuşlardır.

7.3. Döküm Kumu Testleri

Döküm kumu testlerinde, Şekil 7.1'de gösterilen kum karıştırma cihazı kullanılarak hazırlanan kumlar üzerinde; sıkıştırılabilirlik, yaş basma mukavemeti (Compressive Strength), ezme mukavemeti (Splitting Strength), yaş kesme mukavemeti (Shear Strength), ıslak çekme mukavemeti (Wet Tensile Strength) ve gaz geçirgenliği (Gas Permeability) testleri gerçekleştirilmiştir. Standart test numunesi hazırlama, kompaktibilite, yaş basma, ezme, yaş kesme mukavemetleri, Şekil 7.2' de gösterilen DISA marka MINILAB cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1 : Döküm kumu karıştırıcısı

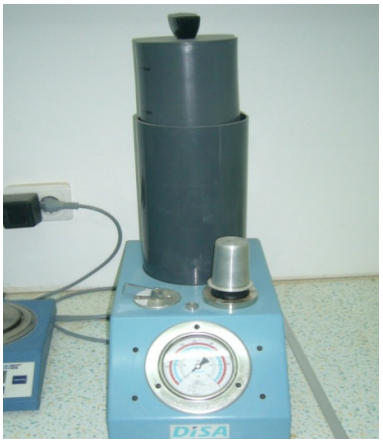


Şekil 7.2 : DISA marka minilab test cihazı

Islak çekme mukavemeti ve gaz geçirgenliği testleri ise Şekil 7.3 ve 7.4' de verilen DISA marka cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.3 : Islak çekme test cihazı



Şekil 7.4 : Gaz geçirgenliği test cihazı

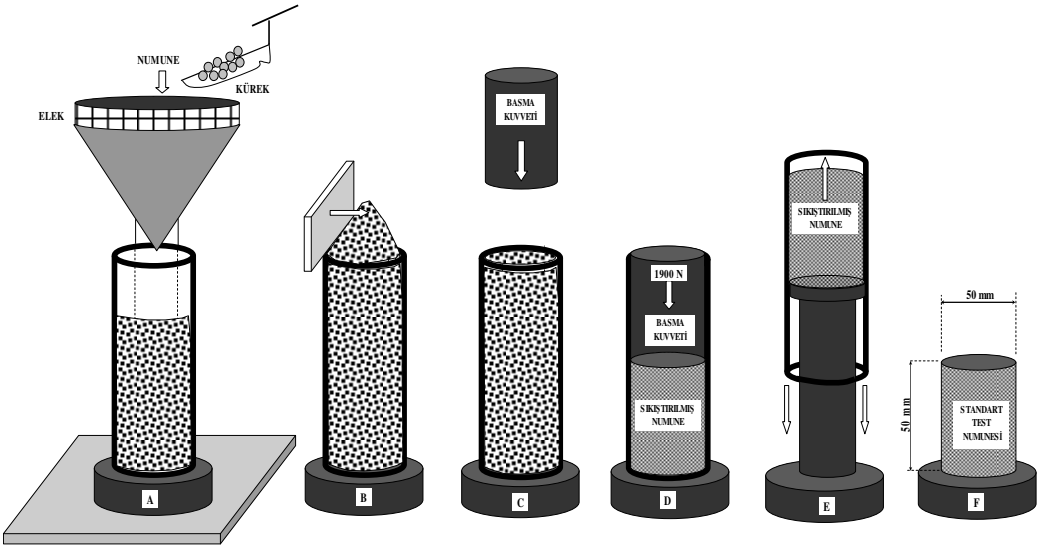
Döküm kumu üretim çalışmalarının ilk aşaması olan, ham bentonit numuneleri üzerinde gerçekleştirilen döküm kumu testlerinde TS-5360 standardında yer alan döküm kumu testleri prosedürü yerine endüstriyel uygulamalarda daha yaygın olarak kullanılan, COMPENANTA DÖKTAŞ firmasının da kullandığı test prosedürü uygulanmıştır. Bu test prosedürünün kullanılmasındaki amaç, çeşitli aktivasyonlar yapılması ile elde edilen ürünün endüstriyel kullanımlara uygunluğunu ölçmektir. Bu test prosedüründe; % 88 oranında AFS 60-70 kumu (4400 gr) ve % 12 oranında bentonit numunesi (600 gr) kuru olarak kum karıştırıcısında 2 dakika karıştırılarak, kum ve bentonit numunesinin iyice harmanlanması sağlanmış ve ardından 80-160 ml su ilave edilerek 15 dakika süre ile karıştırılmıştır. TS 5360 standardı ise % 95 oranında AFS 50 kumu ve % 5 oranında bentonit ilavesi ile hazırlanan kumlar üzerinde gerçekleştirilen testleri tanımlamıştır ve bu durum elde edilen verilerin TS 5360 standardı ile mukayesesini olanaksız hale getirmektedir. Ancak endüstriyel uygulamalarda, döküm cinsine ve kalitesine bağlı olarak farklı AFS kumları ve bentonit oranları kullanılmaktadır (TÜBİTAK KAMAG Projesi, 2008).

Karıştırma sonrasında numuneler karıştırıcıdan çıkartılarak bir poşet içerisine alınmış, ağzı kapatılmış ve ölçüm süresince nemi muhafaza edilmeye çalışılmıştır. Tüm döküm ölçümleri 0-20 dakika arasında gerçekleştirilmiştir.

Döküm kumu testlerinde ilk olarak kompaktibilite değerleri tayin edilmiştir. Pratik uygulamalarda, düşük su ilaveleriyle başlanan karıştırma işleminde, su miktarına bağlı olarak elde edilen kompaktibilitenin % 40'dan daha küçük olduğu durumlarda hazırlanmış karışıma su ilavesi yapılarak, büyük olduğu durumlarda ise bekleme/kurutma işlemi ile % 40'lık kompaktibilite ayarlanmaktadır. Döküm kumu hazırlanması esnasında bu metod tercih edilmiştir. Deneyler sırasında %40 ve %50 kompaktibilite değerleri baz alınmış ve sadece sodalı numuneler bu iki değerde test edilmiştir. Soda ve MgO katkılarının beraber olduğu numuneler, endüstriyel bir değerlendirme yapabilmek için çoğu döküm fabrikasının döküm kumunun kalıplama işleminde kullanmış olduğu %40 kompaktibilite test edilmiştir. % 40 kompaktibilite yakalanmasına müteakip yaş basma mukavemeti 4, yaş çekme mukavemeti ve diğer testler 2 kez tekrarlanıp ortalama değerler dikkate alınmıştır.

7.3.1. Kompaktibilite tayini ve standart test numunesi eldesi

Döküm çalışmaları kapsamında yukarıda bahsedildiği şekilde hazırlanan döküm kumları öncelikli olarak sıkıştırılabilirlik (kompaktibilite) testlerine tabii tutulmuştur. Sıkıştırılabilirlik testlerinde Şekil 7.2'de gösterilen DISA marka MINILAB cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar sonucunda elde edilen yaş döküm kumları, Şekil 7.5' de tarif edildiği gibi hazırlanarak sıkıştırılabilirlik değerleri saptanmıştır. Şekil 7.5' de şematize edildiği gibi; hazırlanan yaş döküm kumu, üzerinde bir elek bulunan, numune hazırlama aleti kullanılarak, numune kabına (herhangi bir sallantı yapılmadan) doldurulmuş ve bir bıçak kullanarak numune fazlası atılmıştır. Daha sonra MINILAB cihazına alınarak sıkıştırılabilirlik testleri yapılmıştır. İstenen kompaktibilite değeri bulunana kadar kum hazırlama cihazına su ilavesi yapılmış ya da karıştırmaya devam edilerek nem içeriği azaltılmıştır. İstenen kompaktibilite değerine ulaşıldığında çıkan numunenin muhafazası nemini yani kompaktibilitesini kaybetmemesi açısından çok önemlidir. Çıkan numune deneyler esnasında bir poşet içerisinde muhafaza edilmiştir.



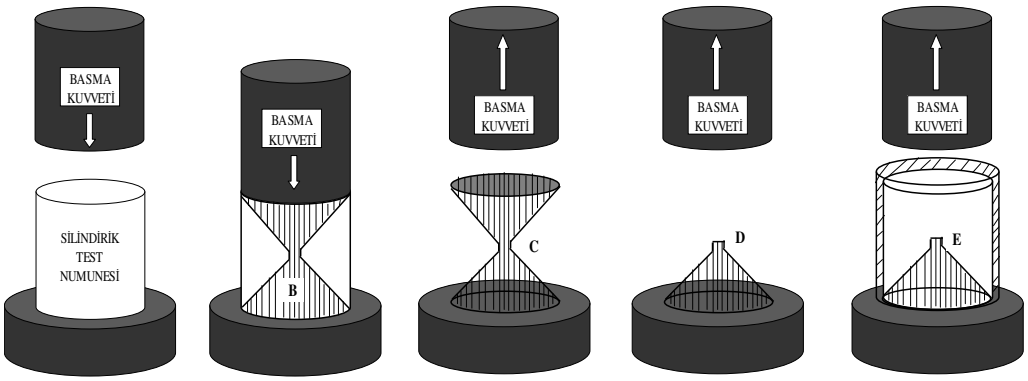
Şekil 7.5 : Döküm kumu için sıkıştırılabilirlik (kompaktibilite) testi; numune hazırlama ve test prosedürü gösterimi

Sıkıştırılabilirlik testleri sonrasında, 50 mm çapında ve 50 mm yüksekliğinde standart test numunesi elde etmek için gerekli olan kum miktarı hesaplanmıştır. Bunun için ilk olarak 145-150 gr civarında numuneler alınarak test numunesi

hazırlanmış ve elde edilen silindirik numunelerin yüksekliği ölçülmüştür. Yükseklik 50 mm den yüksekse numune miktarı azaltılmış eğer düşükse numune arttırılarak 50 ± 0.5 mm yüksekliğine sahip numune elde etmek için gerekli olan yaş kum numune miktarı bu deneylerde 146 gr. olarak saptanmıştır.

7.3.2. Yaş basma mukavemeti testi

Standart test numunesi eldesi için gerekli olan yaş kum miktarı saptandıktan sonra, gerekli miktarda yaş kum kullanılarak standart test numunesi elde edilmiş ve Şekil 7.6'da şematize edildiği gibi yaş basma testi gerçekleştirilmiştir.

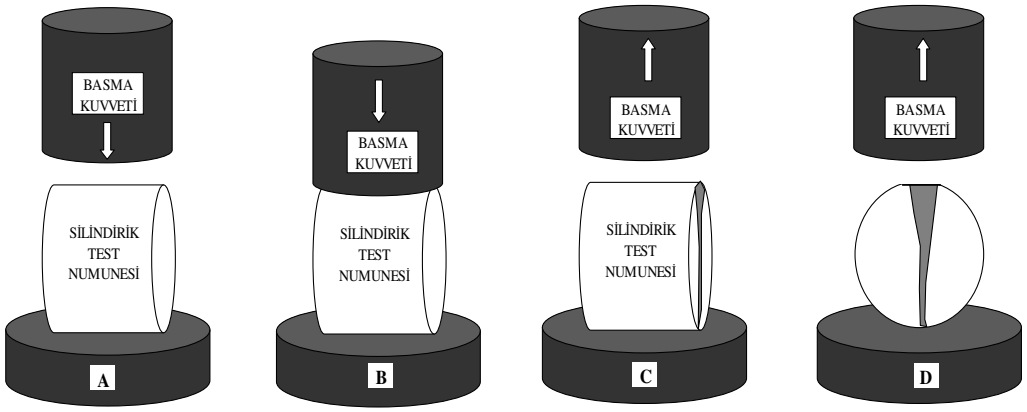


Şekil 7.6 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş basma testi

Yaş basma testinde uygulanan kuvvet sonucunda Şekil 7.6-C de görüldüğü biçimde kırılmış numune elde edilmiştir. Hazırlanmış kumların Şekil 7.6-C'de uygun, Şekil 7.6-D ve 7.6-E'de ise uygun olmayan kırılma biçimleri gösterilmiştir.

7.3.3. Ezme mukavemeti testi

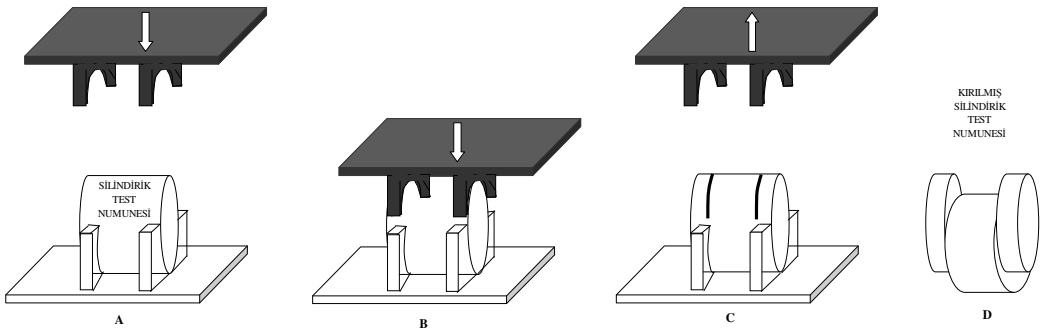
Şekil 7.7'de ezme mukavemeti testi şematize edilmiştir. Burada hazırlanmış olan test numunesi, yaş basma mukavemeti testinin aksine, yatay olarak konumlandırılmıştır. Şekil 7.7-D' de ezme mukavemeti testlerinde uygulanan kuvvet sonucunda numunenin kırılma biçimi gösterilmektedir.



Şekil 7.7 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen ezme testi

7.3.4. Yaş kesme mukavemeti testi

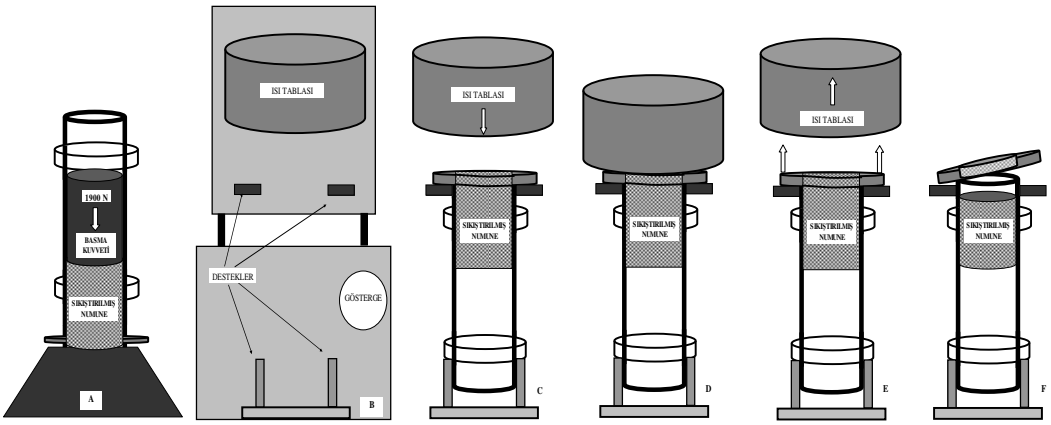
Yaş kesme deneyleri için, cihazın bazı aparatları değiştirilmiştir. Standart olarak hazırlanmış silindirik test numunesi yatay olarak aparata yerleştirilmiştir. Cihazın kesme kuvvetini uyguladığı kısım da yaş basma ve kesme aparatlarının aksine değiştirilmiştir. Şekil 7.8, yaş kesme testini şematize etmekte ve Şekil 7.8-D ise yaş kesme sonucu kesilmiş numuneyi göstermektedir.



Şekil 7.8 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş kesme testi

7.3.5. Yaş çekme mukavemeti testi

Şekil 7.9'da ıslak çekme mukavemeti testi şematize edilmiştir. Burada, numune kabı ve parçaları diğer testlere göre değişiklik göstermektedir. Uygun şekilde hazırlanan ve sıkıştırılan silindirik numune, kabından çıkartılmadan ters çevrili olarak (ilave bilezik kısmı üstte olacak şekilde) ıslak çekme test cihazı kanallarına oturtulmuştur. Numune kabı cihaz kanallarına oturduktan sonra, cihazın üst kısmındaki ısı tablası (önceden 300 ^{o}C' ye ısıtılmış) numune üzerine doğru hareket eder (Şekil 7.9-C - 7.9-D) ve numunenin üst kısmını (bilezikli kısmı) 24-28 sn süresince ısıtır. Sonrasında geri çekilerek (Şekil 7.9-E), numune kabının bilezikli kısmının oturduğu kanalların etrafındaki yaylar vasıtasıyla bilezikli kısım yukarı doğru çekilerek koparılmaya çalışılır. Bilezikli kısmın ana numuneden koptuğu çekme gerilimi, ıslak çekme mukavemeti olarak saptanır (Şekil 7.9-F). Islak çekme mukavemet testi uygulanmış ve kırılmış numune Şekil 7.9-F'de gösterilmiştir.

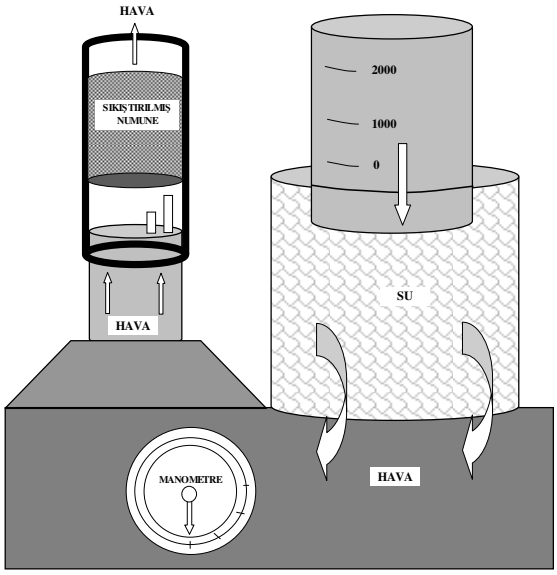


Şekil 7.9 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen yaş çekme testi

7.3.6. Gaz geçirgenliği testi

Gaz geçirgenliği testi ise Şekil 7.10'da şematize edilmiştir. Uygun miktardaki numune sıkıştırılıp, standart test numunesi hazırlandıktan sonra elde edilen numune, kabından çıkartılmadan cihaz üzerine yerleştirilir. Cihazın su haznesi ölçüm öncesinde sıfır pozisyonuna getirilir ve numune konulduktan sonra su kabının hareket etmesi ve hava akımı oluşturulması için cihazın kolu ayarlanır. Su kabı, su içerisinde hareket ederken oluşturulan hava akımı silindirik numune içerisinden

geçer ve bu esnada silindirik numuneden geçen hava akımı saptanır. Gaz geçirgenliği değeri skala üzerinden, mmss (milimetre su sütunu) cinsinden okunur ve kaydedilir.



Şekil 7.10 : Döküm kumu için standart numuneler üzerinde gerçekleştirilen gaz geçirgenliği testi

7.4. Sondaj Çamuru Testleri

7.4.1. Şişme testi

Bentonitin bünyesine fiziksel su alması ve kristal yapısının C ekseni yönünde 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 halojen kurutucuda 105º 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 yavaşça 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.

7.4.2. Filtrasyon kaybı testi

Filtrasyon deneyleri ise Şekil 7.11'de verilen 100 psi (yaklaşık 6,8 bar) basınçla çalışan FANN marka filtrasyon kaybı cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.11 : FANN filtrasyon kaybı ölçüm cihazı

Ölçümler viskozite ölçümlerinde kullanılan ve 24 saat bekletilen numune ile yapılmıştır. Belirtilen şartlarda 24 saat bekletilip viskozite ölçümleri yapılan numune pH'ı alındıktan hemen sonra filtre presi hücresine 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. 100 psi'lık basınç altında ml cinsinden elde edilen süzüntü hacmi ise 30 dakika ve 7,5 dakikalarda belirlenen sıvı miktarları farkının iki katıdır.

Süzüntü Hacmi = 2 x Vc

Burada, Vc: 7,5. dakika ve 30. dakika arasındaki toplam süzüntü hacmidir.

7.4.3. Viskozite ölçümleri testi

Reolojik özelliklerin belirlenmesi aşamasında, Şekil 7.12'de gösterilen Arçelik Blender kullanılarak bentonit-su süspansiyonları hazırlanmış ve hazırlanan karışımların viskoziteleri Şekil 7.13' de gösterilen FANN Viskozimetresi kullanılarak ölçülmüştür.

Ölçüm şartları:

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

Tek ve çok değerlikli katyonların değişen konsantrasyonlarında toplam 350 cc.'lik pülpte katı oranı %6 olacak şekilde 22,5 gr. kuru öğütülmüş malzeme ile 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. 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 değerin 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

8. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR

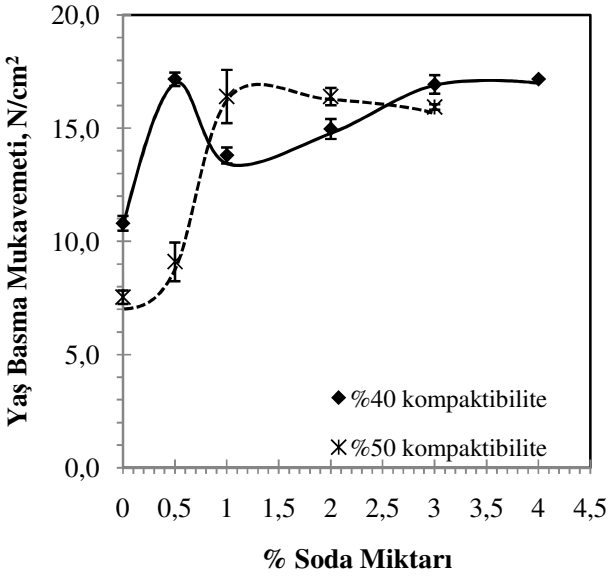
Aşağıdaki Çizelge 8.1'de Türkiye' nin en büyük döküm fabrikalarından biri olan COMPENANTA DÖKTAŞ Laboratuarı'nda testleri yapılmış bazı piyasa bentonitlerinin döküm özelliklerine ilave olarak Ceylan ve Çanbensan bentonitlerinin döküm özelikleri verilmiştir. Çizelge 8.1 dikkate alınarak bu tez çalışması kapsamında elde edilen aktif ürünlerin endüstriyel ürünlerle karşılaştırmaları yapılmıştır. Endüstriyel test uygulamalarında bentonitin daha çok yaş basma, yaş çekme ve şişme değerleri baz alınmakta ve sipariş edilen bentonit kamyondan indirilmeden önce numune alınarak laboratuarda seri bir şekilde bu değerler kontrol edilmektedir. Aranan min. değerler; döküm kumuna %12 bentonit ilavesi ve %40 kompaktibilitede, yaş basma mukavemeti min. 18 N/cm^2, yaş çekme mukavemeti min. 0,35 N/cm^2 ve şişme min. 22 ml. olmaktadır. Gerek bu testlerin yapılış yöntemleri gerekse de aranılan nicelikler bakımından bu değerlerin TS 5360 Döküm Bentoniti Standardı ile mukayesesi mümkün olmamaktadır.

Çizelge 8.1 : COMPENANTA DÖKTAŞ firmasında yapılan bazı ticari ürünlere ait döküm bentoniti test sonuçları ve aranan minimum değerlerle mukayesesi

	MİLOS İKO-BOND	**GEKOS**	**ASKANA**	**ÇANBEN-SAN**	**CEYLAN (Osmancık aktive)**	**ARANAN MİN. DEĞER**
KOMPAKTİBİLİTE (%)	40,4	40,3	40,0	40,2	40,4	**40**
YAŞ BASMA MUKAVEMETİ (N/cm^2)	21,4	23,1	21,0	19,5	17,5	**18**
EZME MUKAVEMETİ (N/cm^2)	3,4	4,0	3,6	3,4	3,1	**3,0**
YAŞ KESME MUKAVEMETİ (N/cm^2)	5,6	5,7	5,6	5,2	5,0	**4,5**
YAŞ ÇEKME MUKAVEMETİ (N/cm^2)	0,44	0,41	0,46	0,37	0,42	**0,35**
ŞİŞME (2gr./100 ml.)	27	25	32	26	26	**22**
GAZ GEÇİRGENLİĞİ (mmss)	52	50	58	56	56	**50**

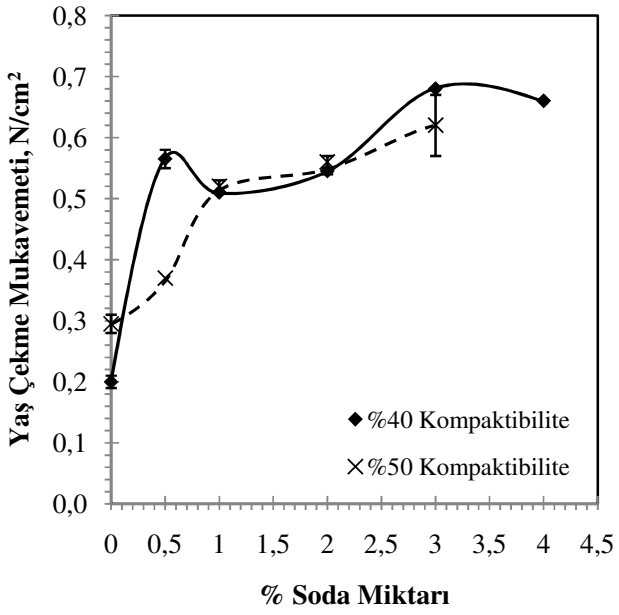
8.1. Sadece Soda İle Aktive Edilmiş Numunelerin Döküm Kumu Testi Sonuçları

Bu bölümde, önceden soda ile aktive edilmiş bentonit numunelerine uygulanan döküm testleri sonuçları irdelenmektedir. Karşılaştırmalar, değişik soda ilavelerine göre yapılmış ve grafikler oluşturulurken %40 ve %50 kompaktibilite değerlerindeki sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler Ek 2'de gösterilmiştir. Şekil 8.1'de iki farklı kompaktibilite değerlerinde yaş basma mukavemetinin soda ilavesine göre davranışı görülmektedir. Değerler, her numunenin 4 er defa ölçülmesi sonucu belirlenmiş ve çıkan farklılıkları belirtmek amacıyla hata barları ile birlikte şematize edilmiştir. Düşük nem miktarlarında ara tip bentonitler yüksek basma mukavemetleri göstermektedir. Şekilde, ayrıca soda aktivasyonunun artı yöndeki etkisi %1 soda ilavesinden sonra açıkça belli olmaktadır. Görüldüğü gibi %0,5 ve %3 soda ilaveli numuneler %40 kompaktibilitede yaş basma mukavemeti yönünden ticari ürünlere benzer değerler vermekte ve gerekli olan min. 18 N/cm^2 yaş basma mukavemeti değerini sağlamaktadır.



Şekil 8.1 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş basma mukavemeti değerleri

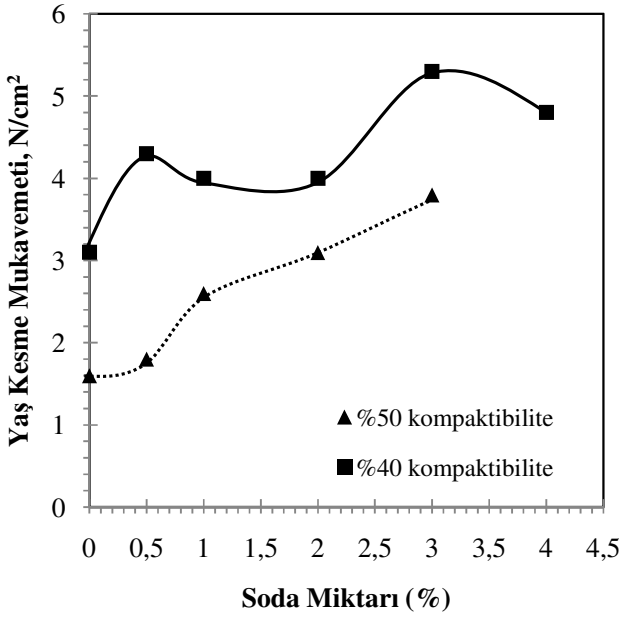
Şekil 8.2'de iki farklı kompaktibilite değerlerinde yaş çekme mukavemetinin soda ilavesine göre davranışı görülmektedir. Değerler, her numunenin 2 şer defa ölçülmesi sonucu belirlenmiş ve çıkan farklılıkları belirtmek amacıyla hata barları ile birlikte şematize edilmiştir. Düşük nem miktarlarında, numune yüksek çekme mukavemetleri göstermektedir. Ölçümler sırasında birçok kez cihaz ölçüm ibresinin dışına çıkmış ve sonra bobini çekerek kırmıştır. Bu durum bize bu bentonitin soda ilavesi ile çok iyi bir yaş çekme mukavemeti yani çok iyi bir bağlayıcılık sergilediğini göstermiştir. Şekilde, soda aktivasyonunun basma mukavemetinde olduğu gibi artı yöndeki etkisi açıkça belli olmaktadır. Tabloda görülen değerlere bakılacak olunursa hazırlanan soda aktiveli numuneler, ticari bentonitlerin verdiği yaş çekme mukavemetlerinden daha yüksek değerler vermektedir.



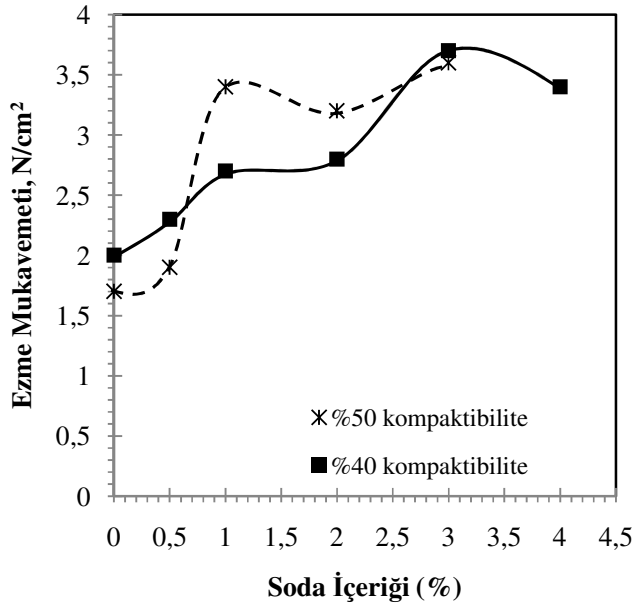
Şekil 8.2 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş çekme mukavemeti değerleri

Şekil 8.3'de iki farklı kompaktibilite değerlerinde yaş kesme mukavemetinin soda ilavesine göre davranışı görülmektedir. Ölçümler esnasında stabil değerler yakalandığından 2'şer defa test yapılmış ve hata barları ile grafikleme gereği duyulmamıştır. Aynı şekilde Ezme Mukavemeti-Soda Miktarı ilişkisi Şekil 8.4'de gösterilmiştir. Soda aktivasyonun etkisi her iki şekilde de önceki deneylerde olduğu

gibi olumlu yönde görülmektedir. %3 ve %4 soda aktivasyonun verdiği değerler min. 3 N/cm^2 olan ticari bentonitlerdeki ezme mukavemeti değerini yakalamıştır.

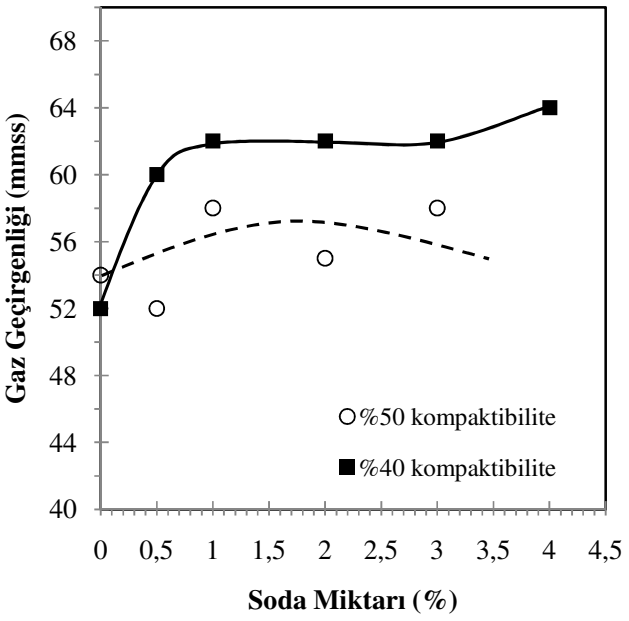


Şekil 8.3 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen yaş kesme mukavemeti değerleri



Şekil 8.4 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen ezme mukavemeti değerleri

Şekil 8.5'de iki farklı kompaktibilite değerlerinde gaz geçirgenliği değerlerinin davranışı görülmektedir. Diğer numunelerde olduğu gibi burada da aynı şekilde %1 soda ilavesinden sonra değerler artmaktadır. %50 kompaktibilitede numunedeki nem içeriği fazla olduğundan gaz geçirgenliği değerleri düzensizlik göstermektedir. Numune ocak çıkışı ve aktivasyonlu durumlarda ticari bentonitlerin sahip olması gereken min. 50 mmss. gaz geçirgenliği değerini sağlamaktadır.



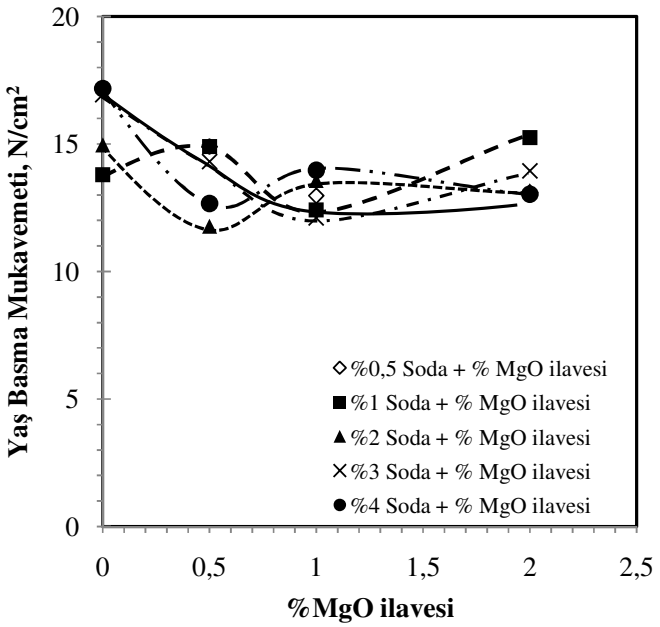
Şekil 8.5 : %40 ve %50 kompaktibilitelerde soda miktarına bağlı olarak elde edilen gaz geçirgenliği değerleri

Sadece soda ile yapılan aktivasyon değerlerine bakarak ocak çıkışı numunenin endüstriyel uygulamalarda kullanılabilecek bir bentonit haline geldiği görülmektedir. Ülkemizdeki dökümhanelerde bentonit alımları sırasında bentonit kamyondan indirilmeden önce alınan numuneler laboratuara analiz için gönderilmektedir. Bu analizler sadece yaş basma mukavemeti, yaş çekme mukavemeti, gaz geçirgenliği, katyon değişim kapasitesi ve şişme testlerinden oluşmaktadır.

8.2. Soda İle Aktive Edilmiş Numunelerin Kuru MgO İlavesinden Sonraki Döküm Kumu Testi Sonuçları

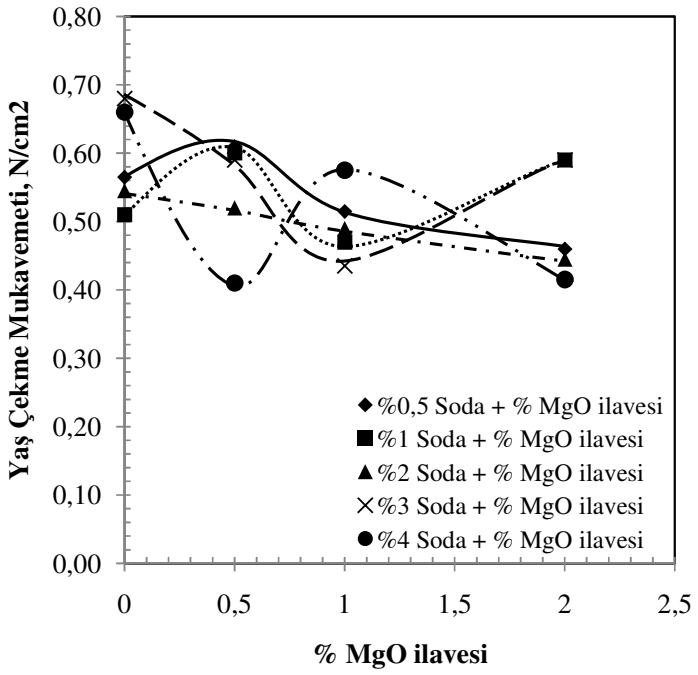
Bu bölümdeki amaç, her bir soda seviyesinde önceden aktive edilmiş numunelere %0,5, %1, ve %2 oranlarında kuru olarak MgO ilavesi yapılarak kuru aktivasyonun etkilerini endüstriyel reçete ile hazırlanan döküm kumu testlerinde görebilmektir. Bu yöntemde numuneler kuru MgO ilavesi ile homojenize edilerek 1 gün sonra döküm testlerine tabii tutulmuştur. Elde edilen değerler Ek 3'de gösterilmiştir.

Şekil 8.6'da önceden hazırlanmış soda aktiveli numunelere eklenen MgO ile Yaş Basma mukavemeti arasında nasıl bir davranış sergilediği görülmektedir. %0,5 ve %1 MgO ilavelerinde değerler düşüş göstermekte ve %2 MgO ilavesi ile artmaktadır. Fakat artış, sadece soda aktivesi görmüş numunelerde elde edilen değerleri aşamamaktadır. Bu da bize eklenen kuru MgO 'in endüstriyel uygulamalardaki toplam 12 dakika olan döküm kumu karıştırma süresi içerisinde herhangi bir artı etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu etki döküm kumu karıştırma süresinin artırılması ile artı yönde değişebilir.

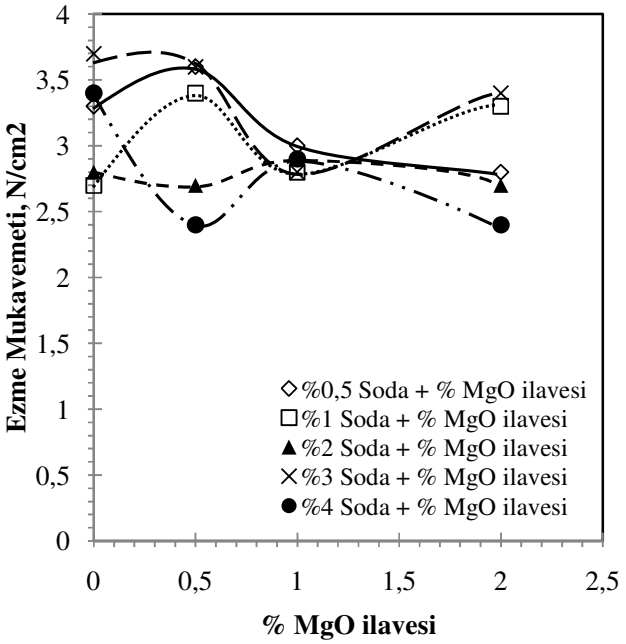


Şekil 8.6 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş basma mukavemeti değerleri

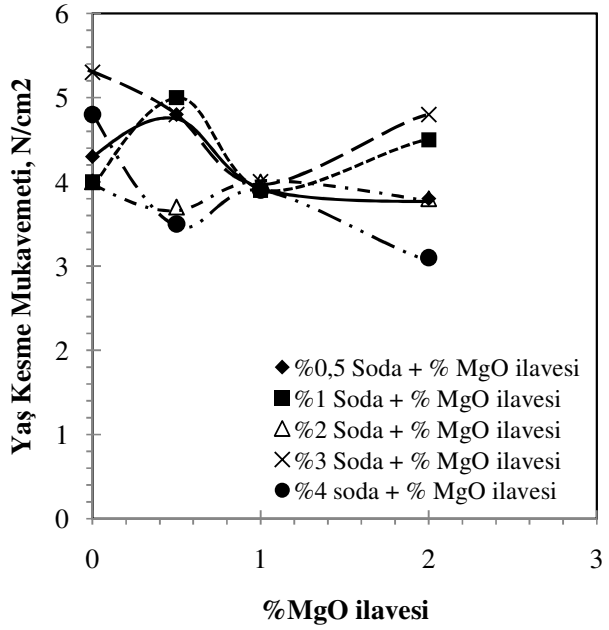
Şekil 8.7'de önceden hazırlanmış soda aktiveli numunelere eklenen MgO ile yaş çekme mukavemeti arasındaki ilişki sergilenmiştir. Burada MgO ilavesi arttıkça değerlerin düştüğü görülmektedir. Aynı biçimde, değişkenlik çok belirgin değildir. Şekil 8.8 ve 8.9'da ezme ve yaş kesme mukavemetlerinde, artan MgO ilavesine göre çok belirgin bir değişimin olmadığı görülmektedir. Fakat tüm grafiklere bakılacak olursa herhangi bir değerdeki soda aktiveli numuneye %1 MgO ilavesi ile değerler birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu durum %1 MgO ilavesi ile değişen pH seviyesinin numunenin içindeki soda miktarına rağmen bentonitin bağ yapısını aynı yönde etkilediği şeklinde değerlendirilmiştir. Şekil 8.10'da ise gaz geçirgenliği değerlerinin MgO ilavesine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Görüldüğü üzere değerler artı yönde eğilim göstermektedir.



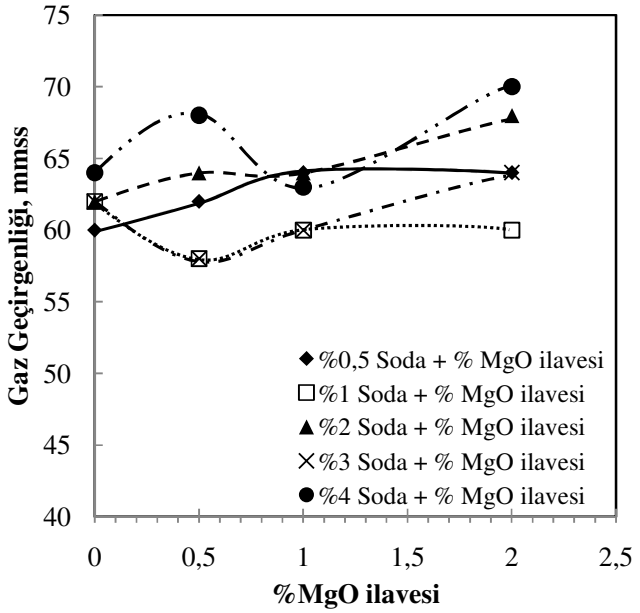
Şekil 8.7 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş çekme mukavemeti değerleri



Şekil 8.8 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen ezme mukavemeti değerleri



Şekil 8.9 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen yaş kesme mukavemeti değerleri



Şekil 8.10 : Soda aktivasyonu görmüş numunelere eklenen MgO ile elde edilen gaz geçirgenliği değerleri

Değişimlerin bu denli az belirgin olmasında MgO ilaveli bentonitlerin karıştırma sürelerinin az geldiği tahmin edilmektedir. Ayrıca önceki TÜBİTAK KAMAG Projesi raporlarında MgO ilavesi ile birlikte bentonitlerin %40 kompaktibilite değerlerine ulaşması için normalden daha fazla su gerektirdiği belirtilmektedir. Bu çalışmada döküm kumuna verilen su değerleri dikkate alınmayıp sadece elde edilen kompaktibilite değerleri üzerinde testler yapılmıştır. Değerlerin düşmesinin düşük karıştırma süresi ile ilgili olduğu yorumunu yapmak yanlış olmayacaktır. Fakat endüstriyel anlamda döküm kumu karıştırma süresi dökümhaneler için hayati bir değer olmakla beraber daha nasıl azaltılabileceği araştırılmaktadır. Bu sebeple döküm kumu karıştırma süresinin uzatılması pek mümkün görülmemektedir.

%0,5 ve %1 oranlarındaki MgO ilavesinin bentonitin fiziksel değerlerini pek de etkilemediği açıktır. Fakat aksine mukavemet değerleri %2 MgO ilavesinde biraz daha artış göstermektedir. Teorik olarak %3 MgO ilavesi yapılırsa değerler daha da artabilecektir. Fakat MgO doğası gereği refrakter bir malzeme olup yüksek döküm sıcaklıklarında döküm kumu içerisinde varlığını sürdürebilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda yanan bentonit kadar bentonit ilavesinde sisteme eklenen bentonit

için de devamlı MgO ilave edildiği düşünüldüğünde, bu durum bir süre sonra sistemde aşırı birikme yaratacak ve pH'nın artması, montmorillonitin yapısının bozulması ile birlikte bentonitin tüm özelliklerinin birden kaybolmasına sebebiyet verebilecektir.

Bu duruma örnek olarak, 2007 senesinde Ceylan Bentonit San. Tic. Ltd. Şti.'nin MgO ile yaptığı bir uygulama verilebilir. Bu uygulamada, Osmancık ocağından 2006 yazında çıkan ham bentonite soda ilavesi yapılmış ve 2007 sezonunda pazarlanmak üzere kurutmaya bırakılmıştır. Ortaya çıkan bentonitin şişme değerlerinin mevcut müşterilerin değerlerini karşılamaması üzerine radikal bir karar alınmış ve bentonitlere kuru şekilde öğütme esnasında %3 oranında kalsine MgO ilave edilmiştir. MgO ilavesi ile değerleri şaşırtıcı biçimde yükselmiş olan bentonitlerin gönderildiği BMC ve FERRO DÖKÜM firmaları üründen çok memnun kalmıştır. Fakat bu memnuniyet 4. Parti mal sevkiyatından sonra değişmiş ve firmalarda çok fazla döküm sakatı meydana gelmeye başlamıştır. Laboratuar sonuçları uygun değerlerde çıkan MgO ilaveli bentonit, uygulamada iyi sonuçlar vermemiştir. Yaklaşık 2 hafta süren araştırmalar sonucunda sistemde bulunan döküm kumunda yüksek oranda MgO birikmesi olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun önüne geçebilmek için sisteme sadece aktivesiz bentonit ilavesi yapılmış ve sistemdeki döküm kumu kurtarılmıştır. Bu olay sonucunda Ceylan Bentonit San. Tic. Ltd. Şti. ürünlerine MgO ilavesini bir daha yapmamaya karar vermiştir.

Bu duruma ek olarak S&B Industrial Minerals SA'ya ait Milos bentonit ocaklarından çıkarılan bentonit sadece soda aktivasyonu yapılarak piyasaya sürülmektedir. Bu firmanın da yıllarca MgO üzerinde çalıştığı ve sonuçlardan memnun kalınmadığından kullanımına gerek görülmediği ifade edilmiştir. Firmanın Ar-Ge departmanı tarafından MgO katkısı, döküm bentoniti açısından tehlikeli olarak nitelendirilmektedir.

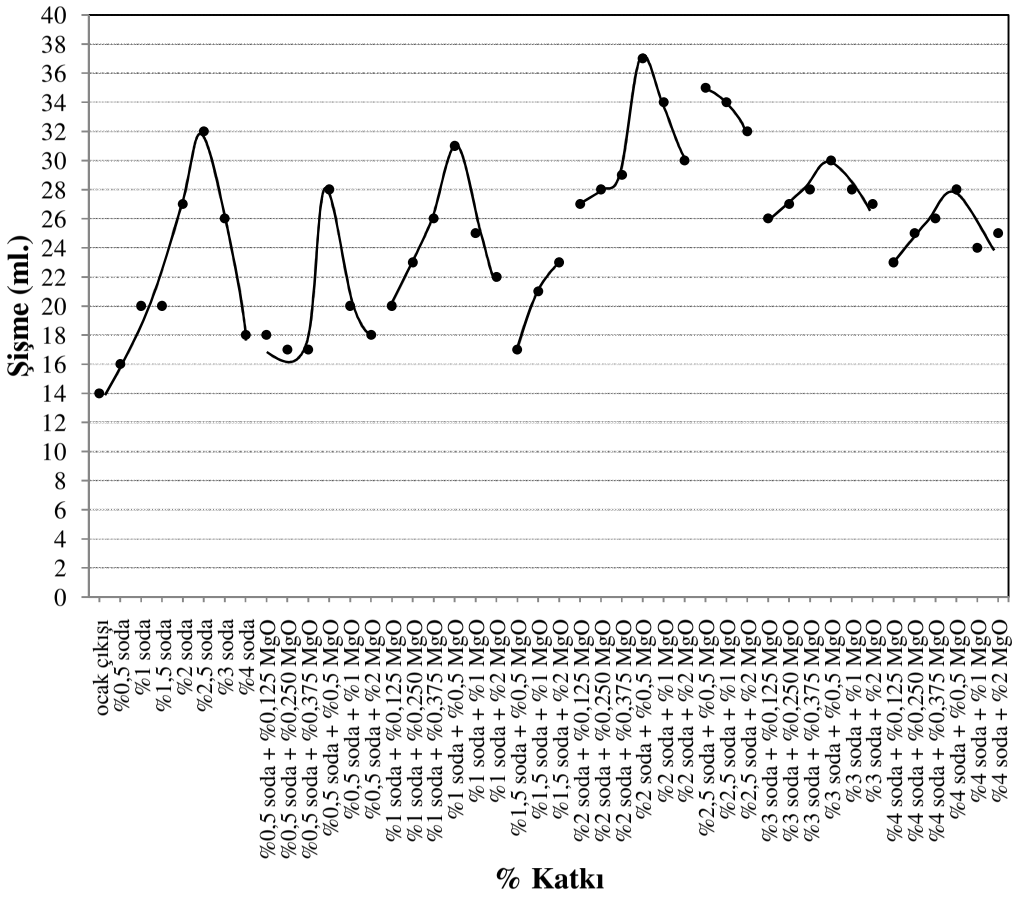
8.3. Soda ve MgO İle Aktive Edilmiş Numunelerin Sondaj Çamuru Testi Sonuçları

Soda ile aktive edilmiş Osmancık aratip bentonitinin MgO ilavesi ile elde edilen döküm bentoniti test sonuçlarına ilave olarak daha detaylı bir fiziksel değerlendirme yapabilmek amacı ile hazırlanan numunelere sondaj çamuru testlerinden olan şişme viskozite ve filtrasyon kaybı testleri uygulanmış ve sonuçlar grafikler ile

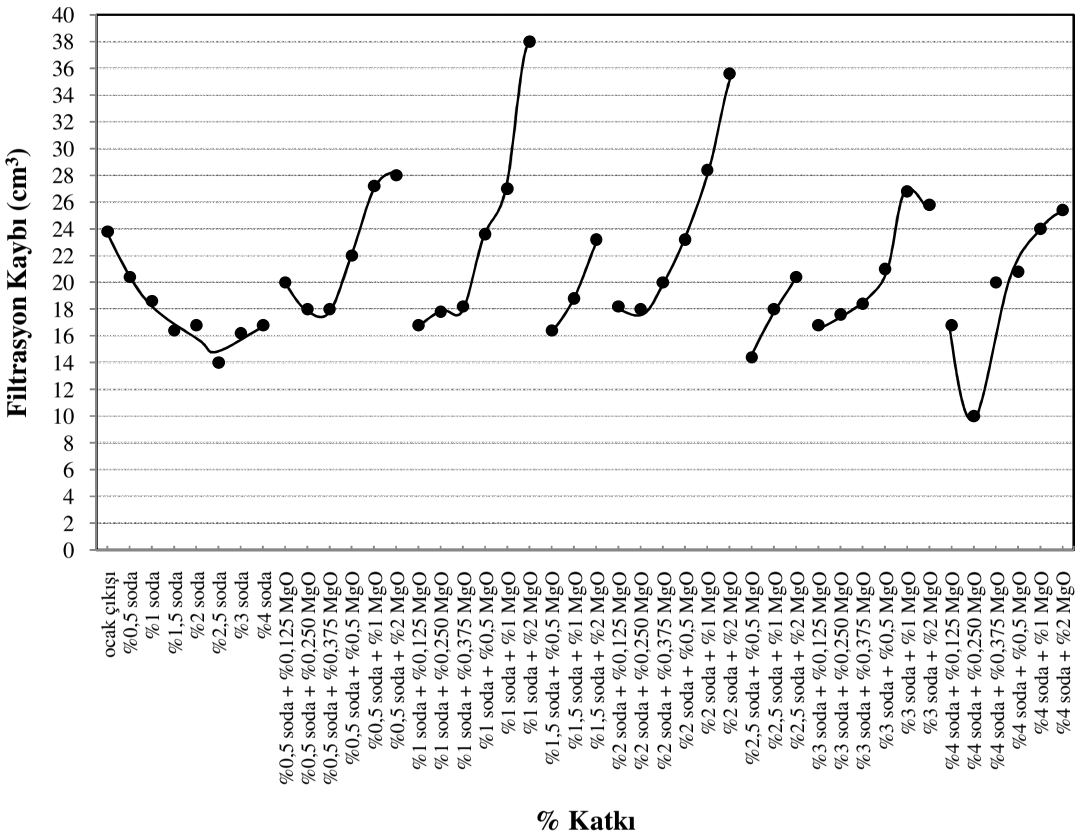
değerlendirilmiştir. Buradaki amaç, testlerin prosedür gereği sulu ortamlarda yapılmasına dayanılarak daha homojen elde edilen numunelerin tam analizini yapabilmek ve birbirleri ile kıyaslayarak bentonitin davranışını ilişkilendirebilmektir. Sondaj çamuru testleri yapılan numunelere %0,125, %0,250, %0,375, %0,5, %1 ve %2 oranlarında kuru MgO ilavesi yapılmıştır. Elde edilen değerler Ek 4 ve Ek 5'de gösterilmiştir.

Şekil 8.11'de ocak çıkışı bentonite yapılan katkı miktarına bağlı olarak elde edilen şişme değerleri grafik ile gösterilmiştir. Grafikte ocak çıkışı bentonite sadece soda ile yapılan yaş aktivasyonun şişme değerlerinde lineer bir artışa neden olduğu görülmektedir. Ortama MgO girmesi ile şişme değerleri çok farklı bir yapı göstermeye başlamaktadır. Öyle ki; her bir soda seviyesinde MgO ilavesinin artmasına bağlı olarak şişme değeri düşmektedir. Fakat genel olarak şişme tedrici olarak artmakta ve başlangıçta gösterilen sadece soda ile aktivasyonda elde edilen değerleri taklit etmektedir. Özetle, her bir soda seviyesine ilave edilen %0,5 lik MgO ilavesinin grafikteki noktaları birleştirilirse, başlangıçta grafikte gösterilen sadece soda ile yapılan aktivasyon değerleri eğrisi ortaya çıkmaktadır. Bu durum bize aktivasyonun bir sistematik içinde ve homojen olduğunu göstermektedir. %2 soda seviyesine yapılan MgO ilaveleri tüm grup içinde en yüksek şişme değerlerini vermiştir.

Şekil 8.12' de ocak çıkışı bentonite yapılan katkı miktarına bağlı olarak elde edilen filtrasyon kaybı değerleri grafik ile gösterilmiştir. Grafikte MgO ilavesi filtrasyon kaybını artırmakta, soda aktivasyonu ise tam tersine düşürmektedir. Bu durum montmorillonitin yapısında oluşan CARD-HOUSE yapısının MgO ilavesi ile olumsuz yönde etkilenmesiyle, yapıda hapsedilen suyun çabucak kaybedilmesi olarak açıklanabilir. Aksine soda CARD-HOUSE yapısını kuvvetlendirmekte ve sıvı kaybını düşürmektedir. Şekil 8.11 ve Şekil 8.12' de görüldüğü gibi filtrasyon kaybı değerleri ile şişme değerleri birbirleri ile ilişki içerisindedir. MgO ilavesine bağlı olarak şişme değerleri artarken filtrasyon kayıpları da artmaktadır. Sondaj çamuru olarak kullanılan bentonitlerde filtrasyon kaybı değeri min. 14 cm^3 olmaktadır ve yapılan analiz sonucunda hiçbir aktiveli bentonit numunesi bu değere ulaşamamıştır.

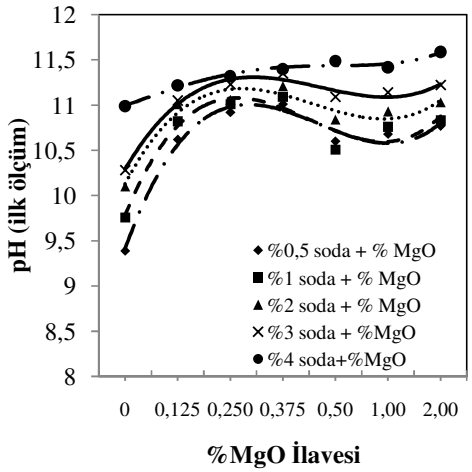


Şekil 8.11 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre elde edilen şişme değerleri

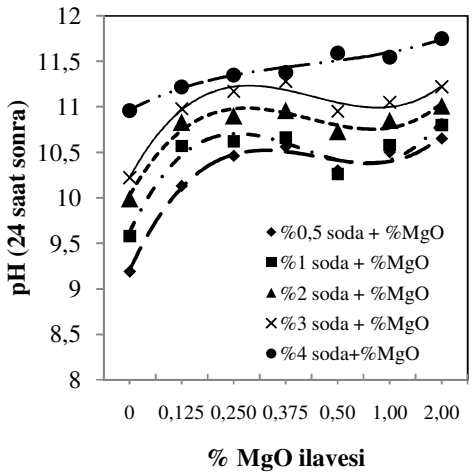


Şekil 8.12 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre elde edilen filtrasyon kaybı değerleri

Şekil 8.13 ve Şekil 8.14'de değişik oranlarda katkı yapılmış numunelerin viskozite ölçümleri yapıldıktan sonraki elde edilen pH değerleri verilmiştir. Sisteme MgO ilavesi ile birlikte pH değerleri artmış fakat %0,5 MgO ilavesinden sonraki değerler çok farklı olmamaktadır. İlk ölçüm ve 24 saat sonraki ölçüm grafiklerindeki pH değerlerinin çok farklı olmaması sistem içinde herhangi bir harici kimyasal aktivitenin olmadığını göstermekte, aktivasyonun çok önceden tamamlandığını belirtmektedir.

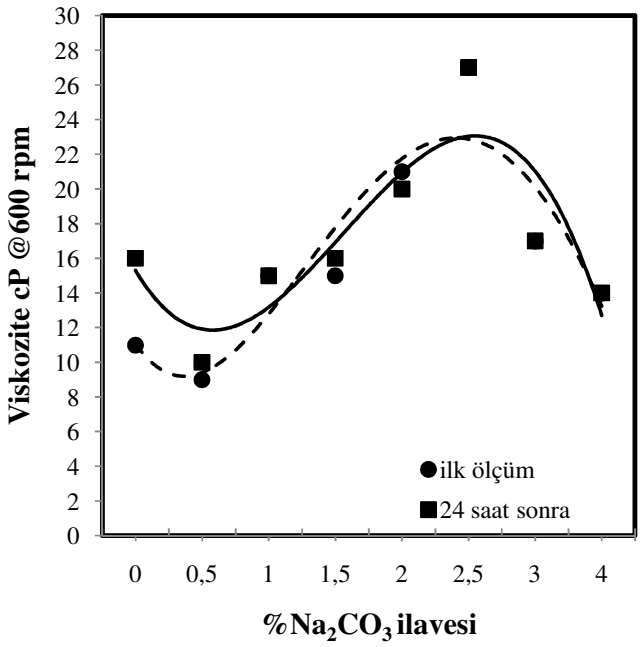


Şekil 8.13 : İlk ölçüm pH değerleri



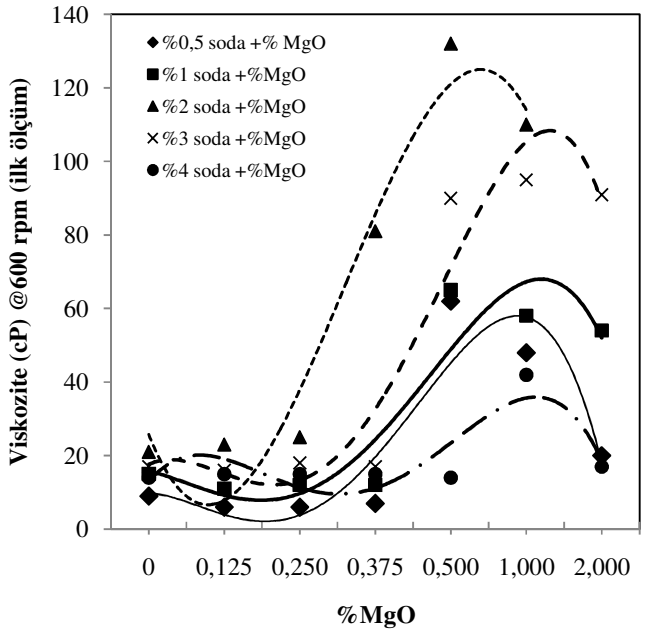
Şekil 8.14 : İlk ölçümden 24 saat sonraki pH değerleri

Şekil 8.15'de sadece soda ile aktive edilmiş bentonitin ilk ölçüm ve 24 saat sonraki viskozite değerleri gösterilmektedir. %2 soda ilavesi ile bentonit en yüksek viskozite değerini elde etmiştir fakat bu ticari bir sondaj bentoniti için yeterli bir değer değildir. İlk ölçüm ve 24 saat sonraki değerlerin birbirinden farklı olmaması aktivasyonun numune hazırlanırken etkin bir şekilde gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Genelde viskozite ölçümleri için hazırlanan %6 lık bentonit-saf su süspansiyonuna ilave edilen soda sonucunda ilk ölçüm ve 24 saat sonraki değerler arasında büyük farklar çıkmaktadır.

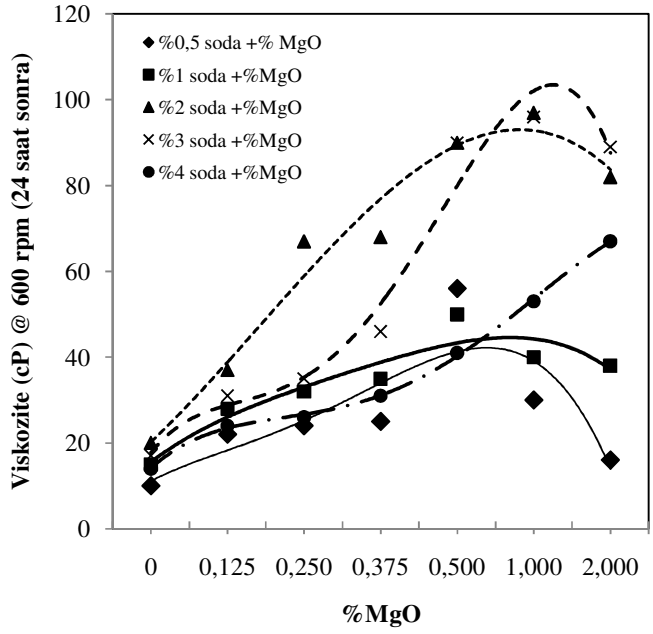


Şekil 8.15 : Sadece soda ilavesi yapılmış bentonitin ilk ölçüm ve 24 saat sonraki viskozite değerleri

Şekil 8.16 ve 8.17'de soda ve MgO kombinasyonlu katkıların viskozite üzerindeki etkileri görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi viskozite değerleri sistemdeki MgO sayesinde çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bu MgO in bentonitteki tabakalar arası mesafeyi artırması ve jelleşen montmorillonit yapılarının kolayca hareketinden kaynaklanmaktadır. Şekil 8.17'de görüldüğü üzere viskozitedeki yüksek artış çok uzun ömürlü olmamakta 24 saat sonra düşmektedir. %2 ve %3 soda aktiveli numunelere yapılan MgO ilavesi çok iyi viskozite sonuçları vermiştir. %0,5 soda ilaveli numuneye yapılan %0,5 MgO ilavesi viskozite değerine pik yaptırmış, %1 ve %2 MgO ilavelerinde ise ani düşüşe sebep olmuştur. En iyi değerler %2 ve %3 soda aktiveli numunelere yapılan MgO ilavelerinde olmuştur. %0,125 ve %0,375 oranları arasında yapılan MgO ilavesi ilk ölçümlerde herhangi etki göstermemiş ancak 24 saat sonra etkisini gösterebilmiştir. %0,5 MgO ilavesinden sonraki her numune ticari sondaj bentoniti sınırı olan 30 cP değerini geçmiştir. Filtrasyon kayıplarının biraz daha düşürülebilmesi durumunda bentonit, ticari sondaj bentoniti sınıfına dahil edilebilir.



Şekil 8.16 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre ilk ölçümde elde edilen viskozite değerleri



Şekil 8.17 : Bentonite yapılan katkı miktarlarına göre ilk ölçümden 24 saat sonra elde edilen viskozite değerleri

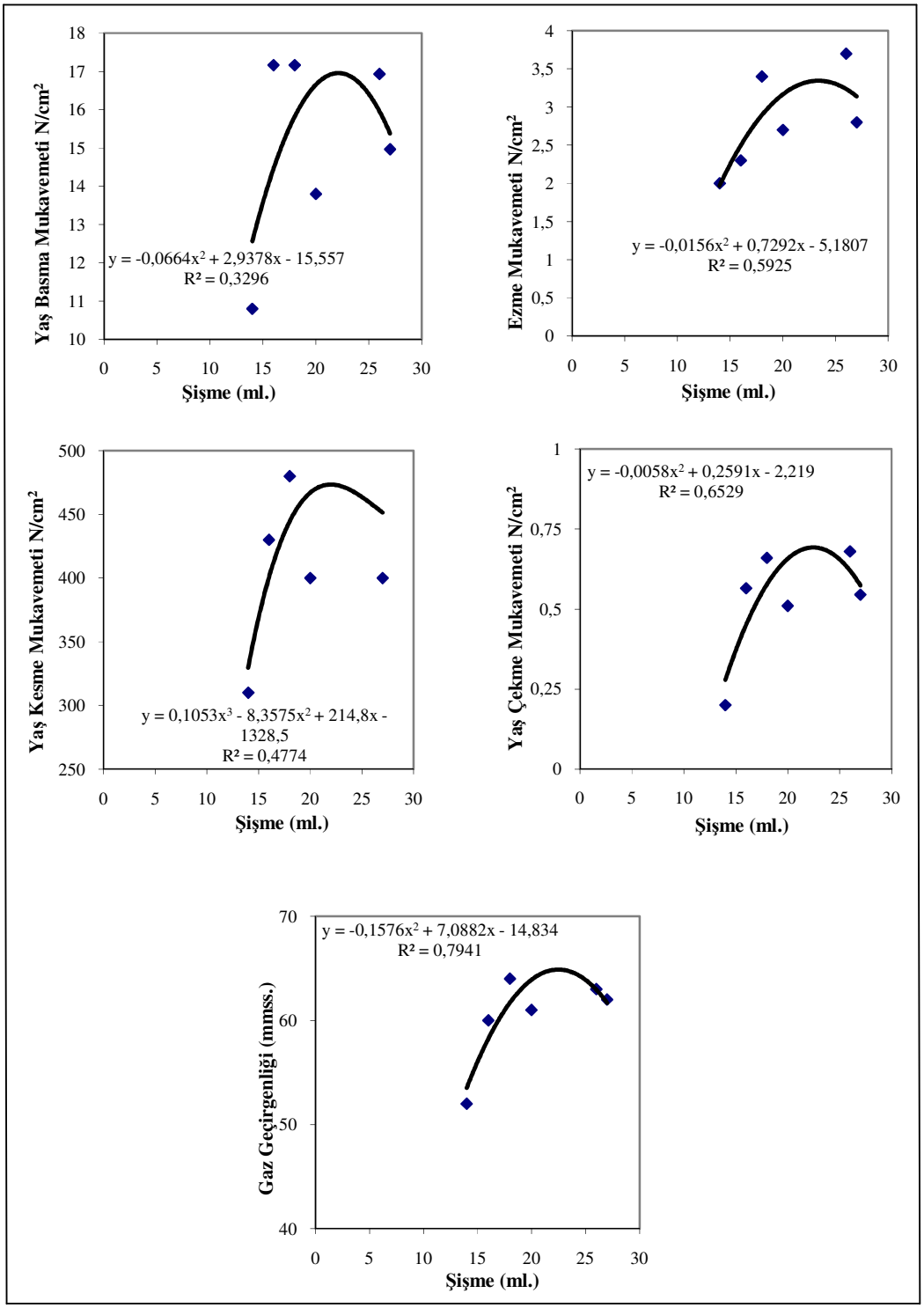
8.4. Elde Edilen Veriler Arasındaki İlişkilerin Grafiklerle İncelenmesi

Yapılan döküm bentoniti ve sondaj bentoniti testleri sonucunda elde edilen veriler bentonitin eklenen katkı miktarına bağlı olarak kendi arasında bir ilişki içerisinde hareket ettiğini göstermektedir. Bu bölümde aynı türden bir ilişkinin döküm kumu ve sondaj bentoniti özelliklerine göre var olabileceği ihtimalinden yola çıkılarak veriler grafiklere konulup incelenmeye çalışılmıştır. Grafiklerde sırası ile tüm mukavemet ve gaz geçirgenliği değerleri ile şişme, viskozite ve filtrasyon kaybı değerleri karşılaştırılmıştır.

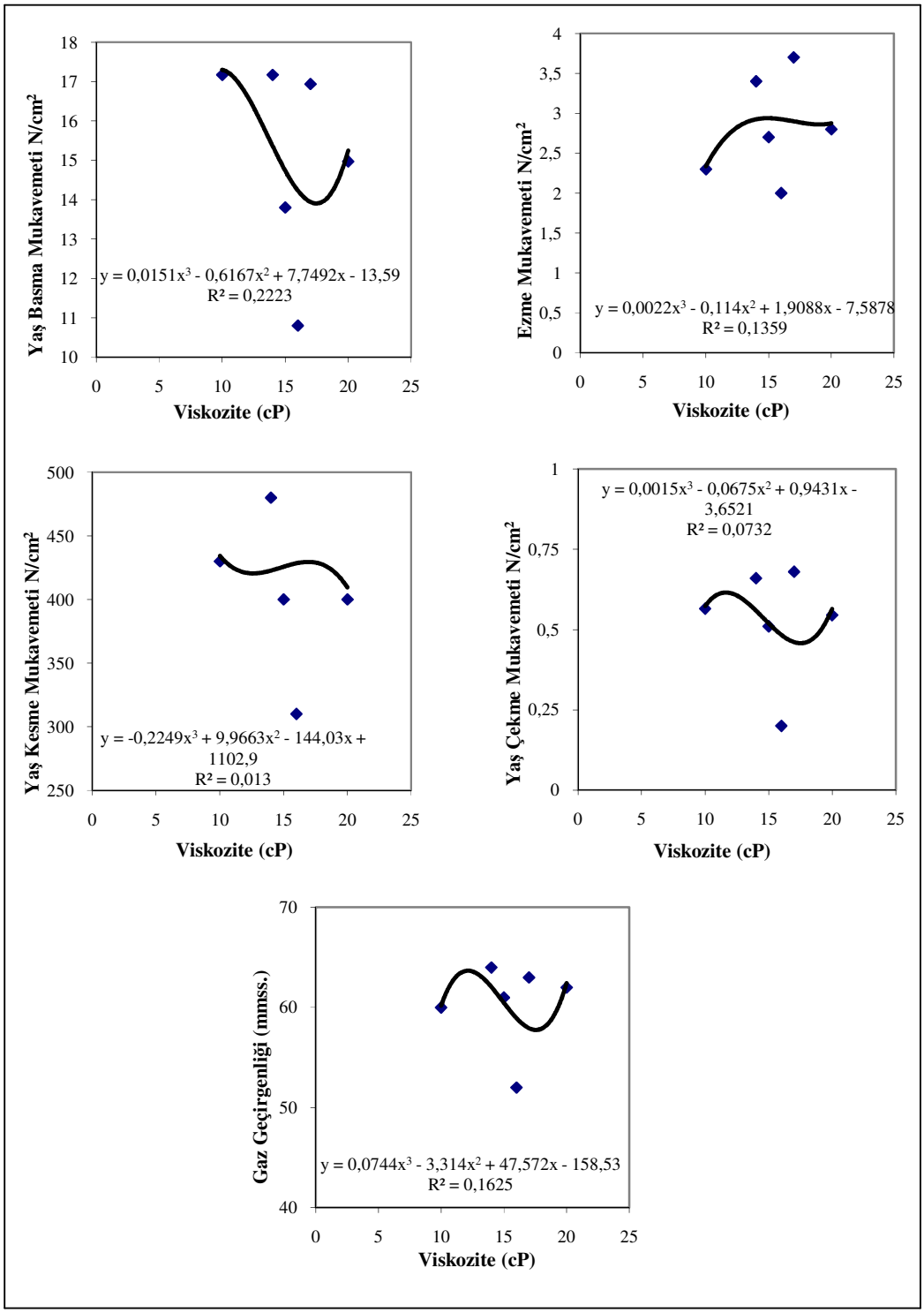
Şekil 8.18'de sodasız ve %0,5, %1, %2, %3 ve %4 oranlarında soda aktivesi yapılmış bentonit numunelerinin tüm mukavemetler ve gaz geçirgenliği değerleri ile şişme değerleri arasındaki ilişki açıklanmaya çalışılmıştır. Bunun için noktaların en yakınından geçecek ortalama polinom eğrisi çizilmiş, ayrıca bu eğrinin denklemi ile regresyonu belirtilmiştir. Tam bir sonuç ve eğri denklemi eldesi için regresyon (R^2) değerinin 1 ya da 1'e yakın olması gerekmektedir. Böylece ortaya çıkan iki bilinmeyenli eğri denklemine herhangi bir değer atandığı takdirde aranan diğer değeri tahmin etme imkanı ortaya çıkacaktır. Şekil 8.18'de gösterilen grafikler içerisinde sadece "yaş çekme mukavemeti – şişme" ve "gaz geçirgenliği – şişme" grafiklerindeki eğriler ikinci dereceden denklem halinde 1'e yaklaşabilmişlerdir. Bu da bize değerler arasında çok açık bir ilişkinin olmadığını göstermektedir.

Şekil 8.19'da sodasız ve değişik soda oranlarında aktive edilmiş bentonit numunelerinin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin viskozite ile ilişkisi gösterilmeye çalışılmıştır. Grafiklerde oluşturulan polinom eğrilerinin regresyon değerleri 1'den çok uzak olmaktadır.

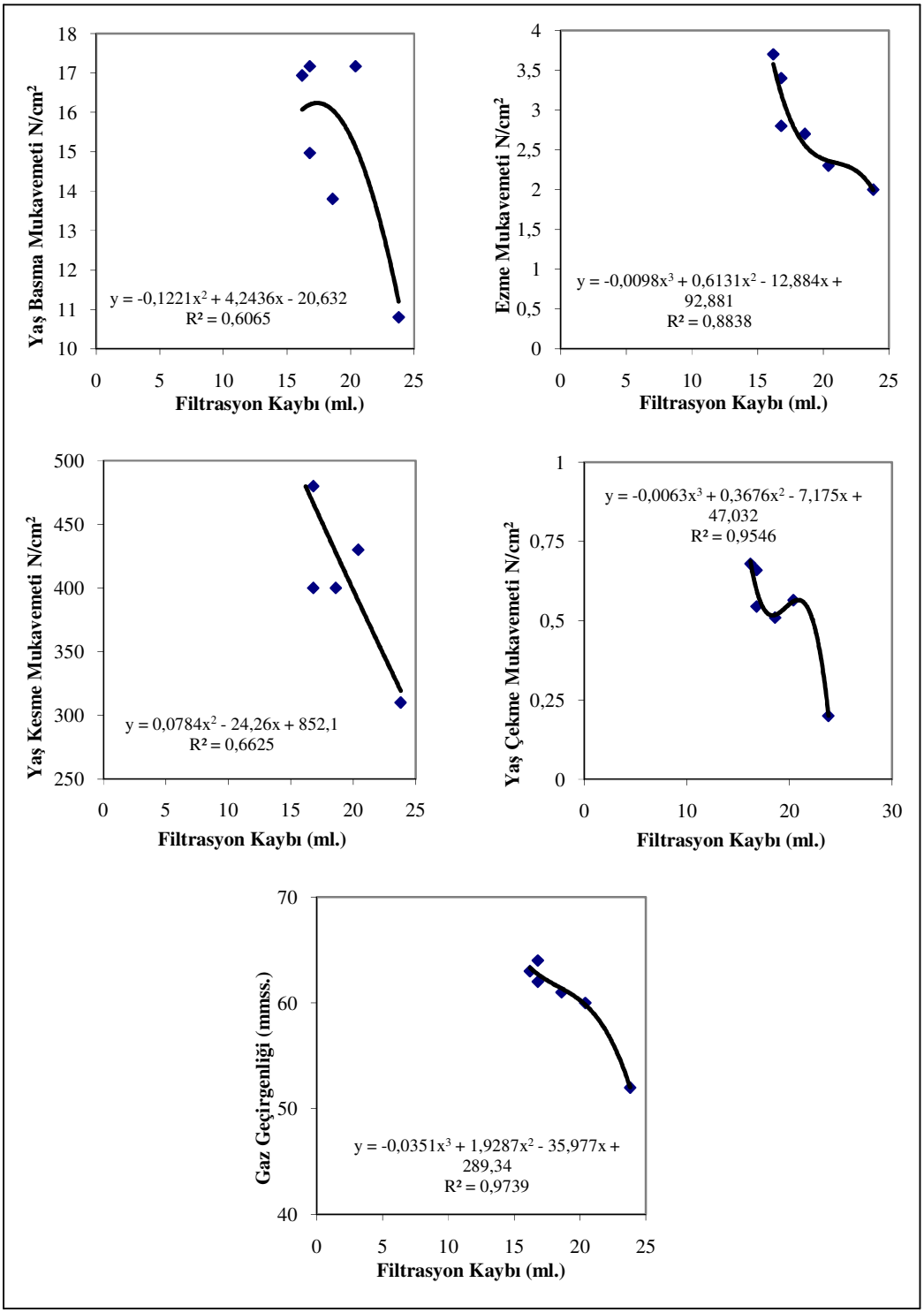
Şekil 8.20'de de önceki grafiklerde olduğu gibi mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin bu sefer filtrasyon kaybı ile ilişkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Grafiklerden de anlaşılacağı gibi oluşturulan polinom eğrilerinin regresyonları 1 değerine oldukça yakındır. Bu durum mukavemet değerleri ve filtrasyon kayıpları arasında bir ilişki olabileceğini göstermektedir. Oluşturulan iki bilinmeyenli denklemlere herhangi bir değer atanarak tahminde bulunmak mümkündür.



Şekil 8.18 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi



Şekil 8.19 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi

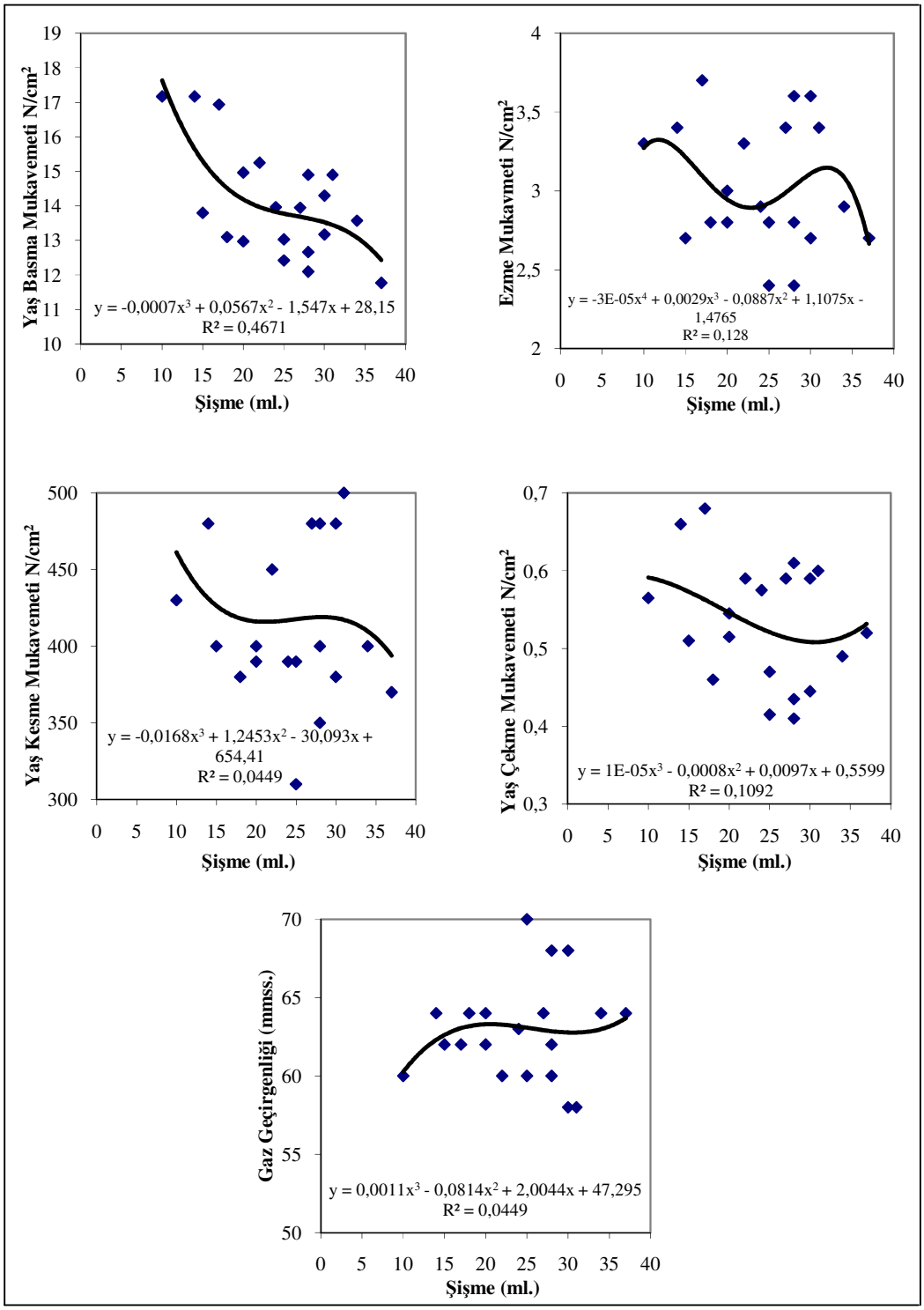


Şekil 8.20 : Soda aktivasyonlu bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişkisi

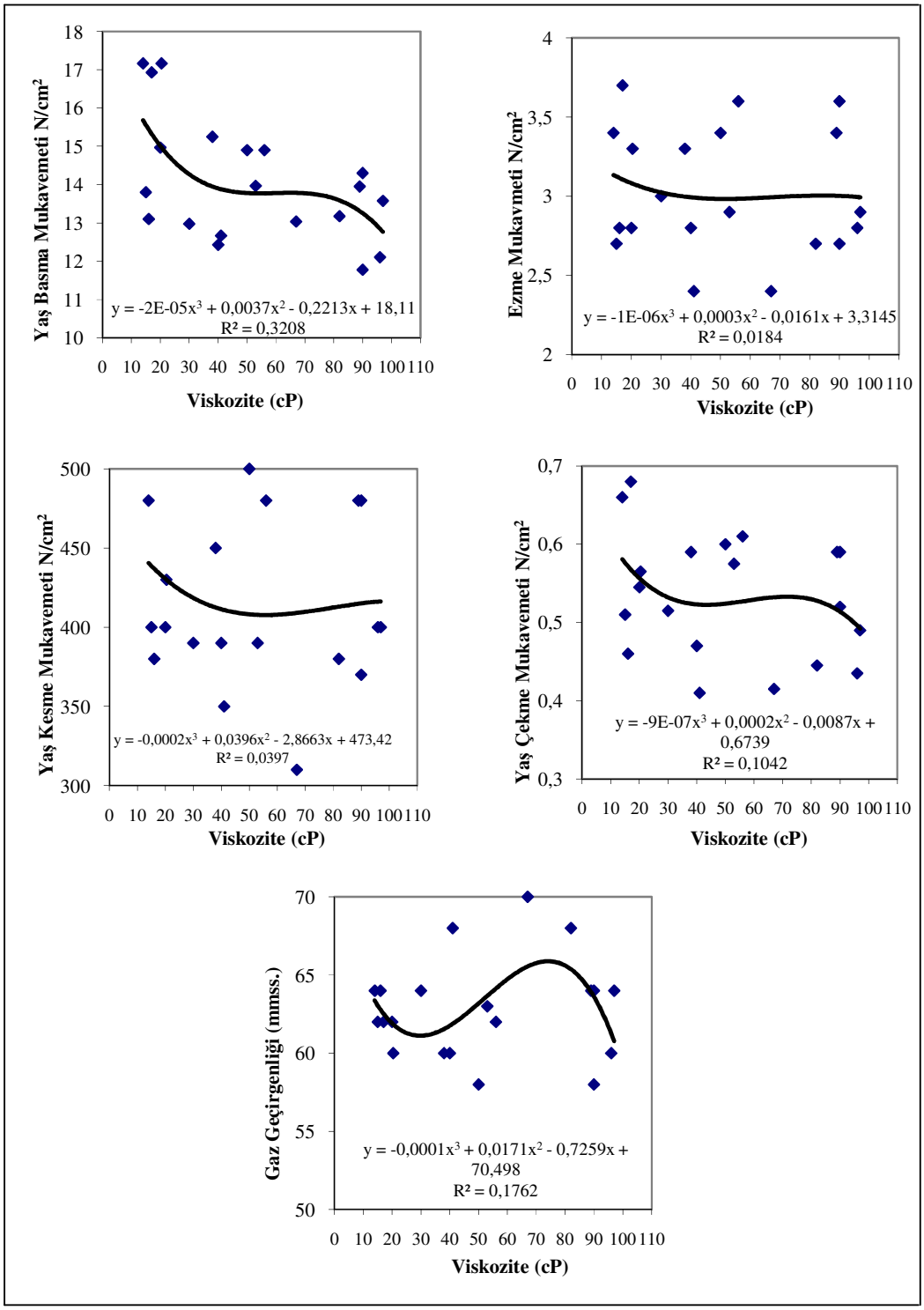
Şekil 8.21, 8.22 ve 8.23'de soda aktiveli numunelere değişik oranlarda kuru MgO aktivesi yapılması sonrası elde edilen numunelerin tüm mukavemet ve gaz geçirgenlikleri değerlerinin; sırası ile şişme, viskozite ve filtrasyon kayıpları ile ilişkisi incelenmiştir.

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi birçok değerin varlığı aşırı dağılım göstermekte ve aralarında bir ilişkinin gözlemlenmesi güçleşmektedir. Oluşturulan polinom eğrileri ve bunların regresyon değerlerinden birçoğu 1'den çok uzaktadır.

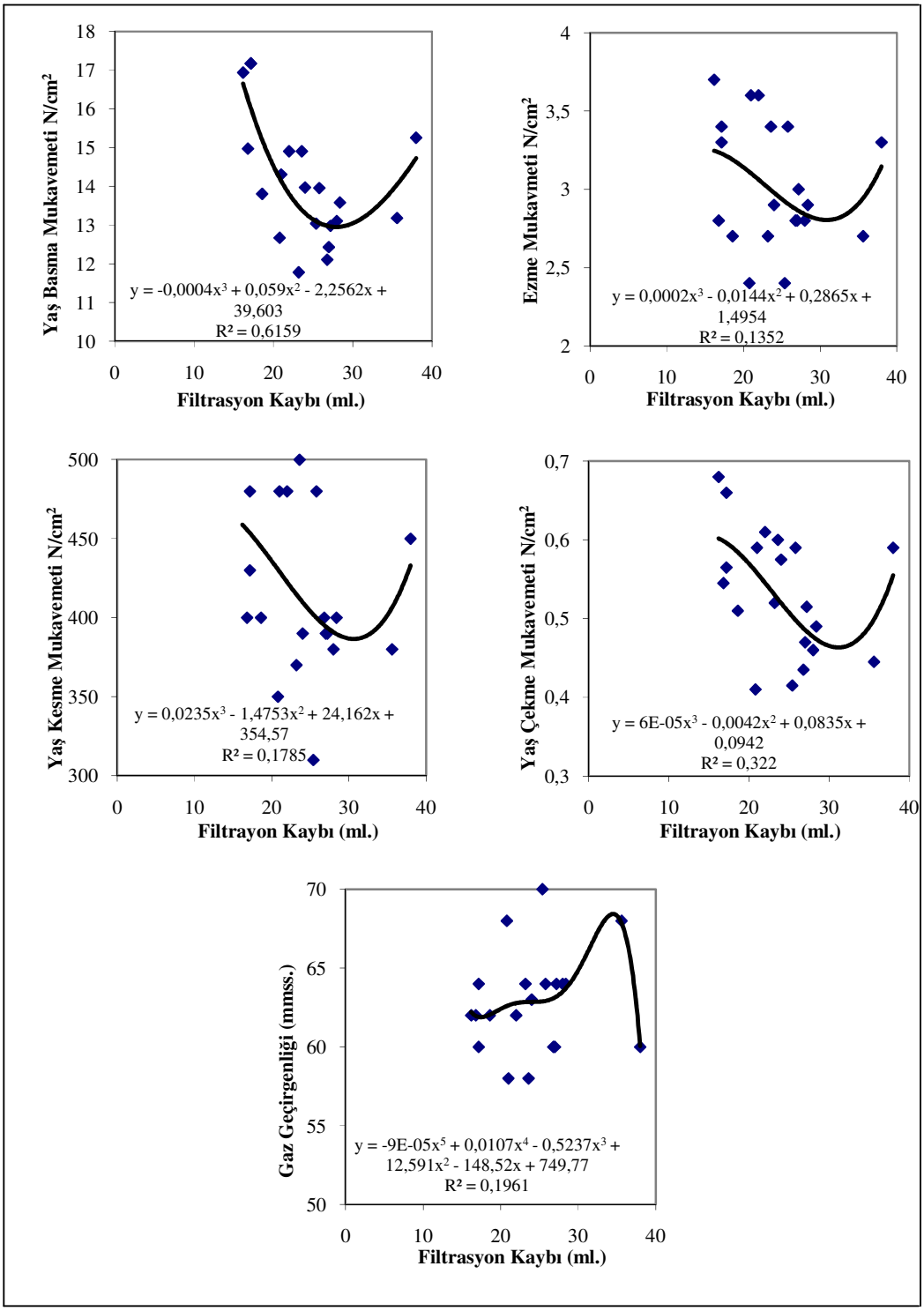
Şekil 8.24, 8.25 ve 8.26'da ise soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş numunelerin her bir aktivasyon dozuna karşılık gelen yaş basma mukavemeti ve yaş çekme mukavemeti değerlerinin sırası ile şişme, viskozite ve filtrasyon kayıpları değerleri ile karşılaştırılmaları verilmiştir. Elde edilen değerler tek tek incelendiğinde ve bunlardan polinom eğrileri oluşturulduğunda regresyonların hemen hepsi 1 değerini vermektedir.



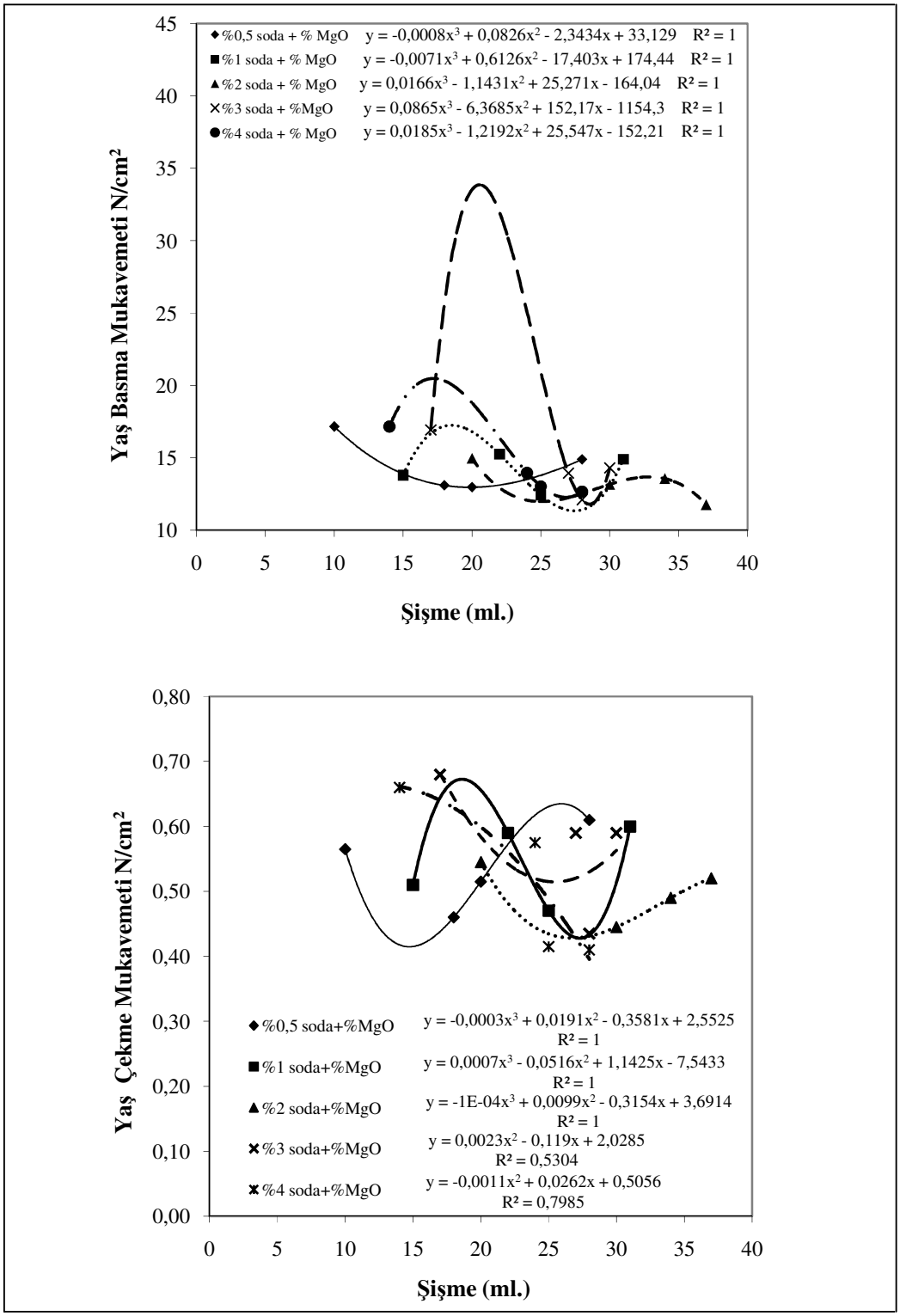
Şekil 8.21 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi



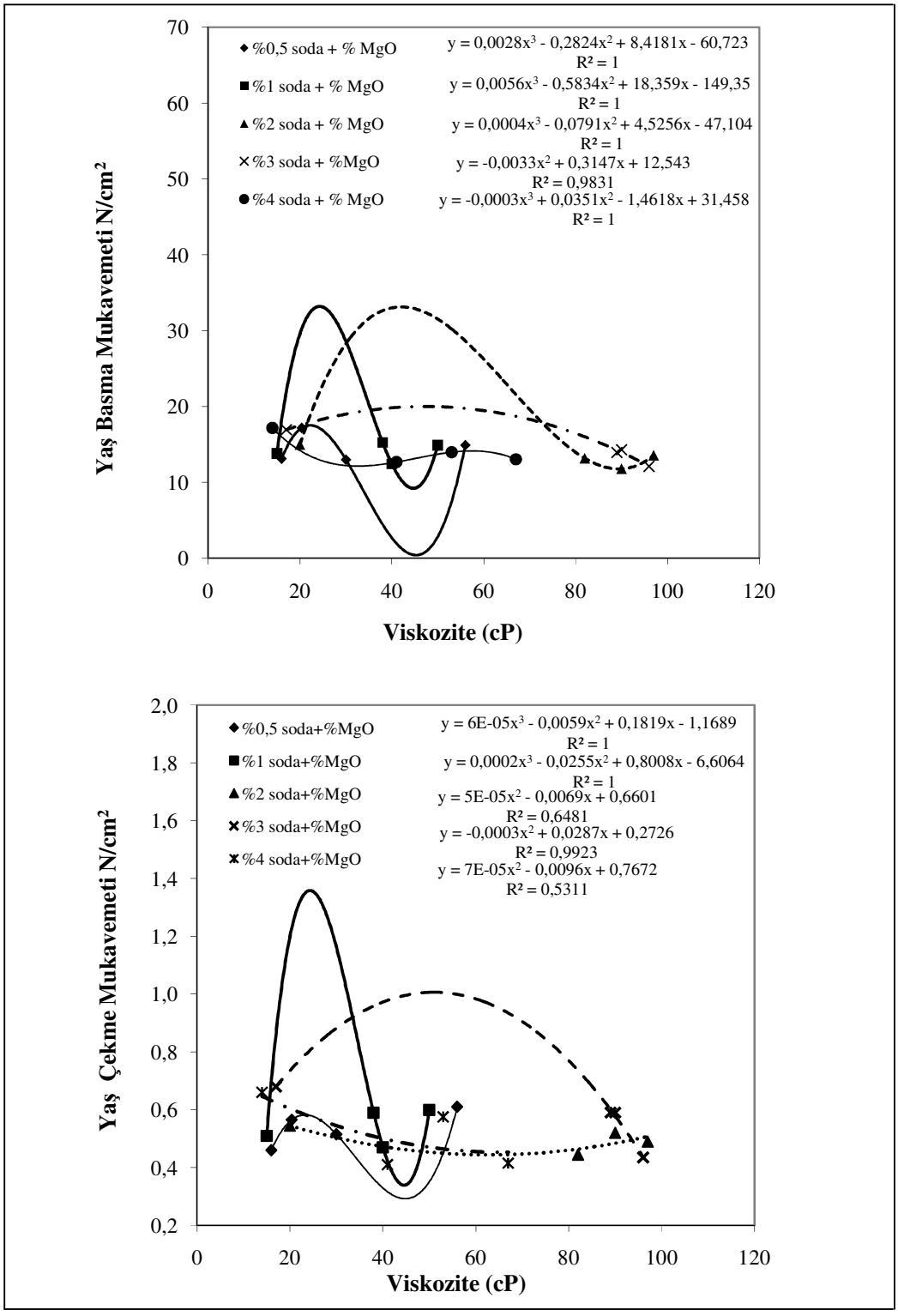
Şekil 8.22 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi



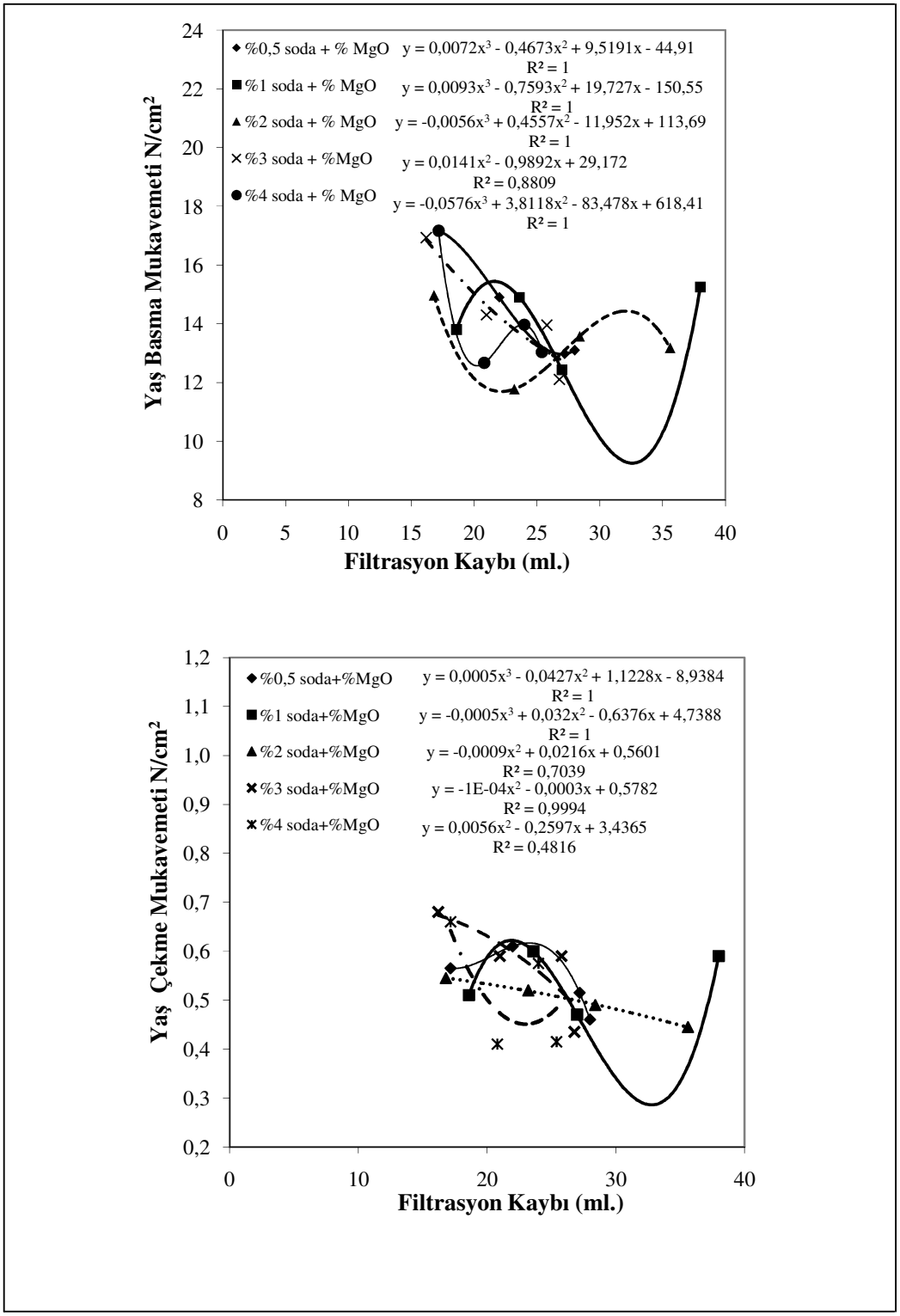
Şekil 8.23 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin mukavemet ve gaz geçirgenliği değerlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişki



Şekil 8.24 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, şişme değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri



Şekil 8.25 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, viskozite değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri



Şekil 8.26 : Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonitlerin yaş basma ve yaş çekme mukavemetlerinin, filtrasyon kaybı değerleri ile ilişkisi ve polinom denklemleri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çorum, Osmancık aratip bentonitleri ile yapılan aktiflendirme çalışmaları sonucunda döküm ve sondaj çamuru testlerine tabii tutularak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Ocak çıkışı ham olan bentonit endüstriyel kullanıma uygun bir bentonit olmamakla birlikte soda aktivasyonuna çok yatkın olduğunu sergilemektedir. Elde edilen değerler ışığında %2 ve %3 soda ilavesinde bentonit, endüstriyel anlamda kullanılabilecek bir kaliteye ulaşmaktadır. Fakat bu aktivasyonun laboratuar ortamında yapıldığı ve uygulamada değerlerin daha farklı olabileceği unutulmamalıdır.

Genelde dökümhaneler standart olmayan döküm bentoniti tedarikinden şikayet etmektedirler. Ülkemizde halen bentonit üreticileri gerekli know-how üniversitelerde olduğu halde bu standart ürünü elde etmek için yeterli ilgiyi göstermemekte ve bu da yurtdışı üretimlerinin ülkemize girişini rahatlatmaktadır. Tablolardan da açıkça görülebileceği gibi sadece bir örnek olan soda aktiveli Çorum–Osmancık bentonitlerinin yabancı bentonitler ile arasında çok fark olmadığı anlaşılmaktadır. Yerli bentonit üreticileri ise elindeki malzemeyi daha tam tanımadan ve böyle gelişmelere ilgisiz davranarak müşterilerini gün geçtikçe yabancı firmalara kaptırmaktadır.

Soda aktiveli bentonitlere kuru MgO ilavesindeki temel amaç; soda aktivesinde elde edilen değerlerin pratik bir uygulama ile biraz daha üstüne çıkıp daha kaliteli bir bentonit elde etmek olmuştur. Fakat sonuçlar ışığında açık bir etki görülmemiştir. Buna neden olarak döküm kumu hazırlanmasındaki karıştırma süresinin azlığı gösterilebilir. Döküm kumu karıştırma süresi dökümhanelerce çok önemli bir parametre olup sürenin azaltılması ve üretimde sürekliliğin artması için çalışmalar yapılmaktadır. Kısaca bu sürenin artırılması pek mümkün görünmemektedir. TÜBİTAK KAMAG Proje raporlarında da belirtildiği üzere; daha iyi döküm özelliklerine ulaşmak açısından, ham bentonitlere MgO ile aktivasyon soda ile aktivasyona nazaran çok daha faydalı olmaktadır. Ancak, bu durumun düşük katkı

oranları için geçerli olduğu anlaşılmıştır. % 0,5-1'den daha yüksek MgO katkı oranlarında döküm özellikleri olumsuz etkilenmektedir.

Değerler ışığında elde edilen grafiklere göre soda aktiveli bentonitlere %0,5 MgO ilavesi artış, %1 MgO ilavesi düşüş ve %2 MgO ilavesi sonuçlarda tekrar artış göstermekte ve çoğu zaman %0,5 MgO ilavesi ile aynı değerlerde olmaktadır. %1 MgO ilavesi her türlü soda seviyesinde değer düşmesine neden olmaktadır. Bu duruma açıklama olarak bentonitin yapısındaki tabaka düzeninin bu konsantrasyonda bozulduğu söylenebilir. Diğer katkı değerlerinde elde edilen artışlar pek de tatminkar olmamış fakat daha fazla araştırma ile cazip hale getirilmesi mümkündür.

Yapılan sondaj çamuru testlerinde, aktive edilmiş bentonite MgO ilavesi ile birlikte şişme ve filtrasyon kayıpları arasında doğru bir orantı olduğu sonucu çıkmıştır. Bu durum sadece soda ile aktive edilen bentonitlerde ters orantı şeklinde görülmektedir. İlk ölçüm ve 24 saat sonraki viskozite değerlerinin birbirine yakınlığı, sadece soda ile yapılan aktivasyonun tam olarak gerçekleştiğini göstermektedir. MgO ilavesi viskoziteyi artırmakta fakat aynı şekilde filtrasyon kaybını da artırmaktadır. Bu durumun önüne geçilirse bentonit sondaj bentoniti sınıfına dahil edilebilir.

Son aşamada elde edilen döküm bentoniti değerlerini, sondaj bentoniti değerleri ile karşılaştırılabilmek amacıyla regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen verilere en yakın polinom eğrileri çizilerek bunların regresyonlarına bakılmış ve ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır. Grafiklere göre sadece soda aktiveli bentonitlerin şişme ve filtrasyon kayıpları ile ilişki içerisinde olduğu söylenebilir. Soda ve MgO kombinasyonu ile aktive edilmiş bentonit numuneleri bir arada değerlendirildikleri zaman oluşan verilerin çokluğu nedeni ile şişme, viskozite ve filtrasyon kaybı değerleri arasında bir ilişki görülememiştir. Fakat bu aktivasyon oranları tek tek kendi içerisinde değerlendirildiğinde oluşturulan polinom eğrilerinin regresyonları 1 ve 1'e yakın olmaktadır. Elde edilen polinom denklemlerine değer atayarak ara değerler bulmak mümkün görünmektedir.

Sonuç olarak çok az miktarlarda MgO'nun önceden soda ile aktive edilmiş ham bentonitlere ilavesi endüstriyel uygulamalara uygun döküm bentoniti ve sondaj bentoniti eldesi için cazip görünmekte fakat bu uygulamanın çok dikkatli ve hassas bir biçimde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu konular hakkında yapılacak çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abend S., Lagaly G., 2000, Sol-gel transitions on sodium montmorillonite dispersions. *Applied Clay Science*, 16, 201-227.

Akbulut, A., "Bentonit", MTA eğitim serisi no:32, Ankara, 1996.

Alemdar, A., 2001. Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlannın Reolojik, Viskoelastik, Kolloidal özellikleri üzerine organik ve inorganik Tuzların etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fizik Mühendisliği, İstanbul.

Ali, Z. "Detoxificiation of aflatoxin B1 in brolier diet by usuing adsorptive property of HI-MAX BS7 and its effect on growthtrait", *Ravi Feed İndustries Catalogue*, Pakistan, 1996.

American Petroleum Institute Standarts, "Spec, 3A; Drilling fluid materials", section, 4,5,6. Arroyo, F. J., Carrique, F., Jim´enez-Olivares, M. L., Delgado, A. V. "Rheological and Electrokinetic Properties of Sodium Montmorillonite Suspensions II. Low-Frequency Dielectric Dispersion", Journal of Colloid and Interface Science 229(200), 118–122.

Bailey, A.E. "Refining and bleaching", Bailey's industrial oil and fat products,1963.

Bensan A.Ş., "Ağartma toprağı", *Ürün kataloğu*, İstanbul, 1996.

Christidis G.E., Kosiari, S. "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(2003) 327–333.

Çakıcıoğlu F., ve diğ., "Kilin kuru yöntemle asit aktivasyonuna etki eden parametrelerin incelenmesi", *II. Ulusal Kil Sempozyumu*, s: 187-203, Ankara, 1985.

Çelik, K., Denli, M., Ersoy, İ.E. "Yem mikotoksinleriyle savaşımda killerin ve değişik adsorbanların kullanımı", *XI. Ulusal Kil Sempozyumu* (2003).

Çinku, K. "Yazır (Trakya) bentonitinin boya sanayinde kıvamlaştırıcı olarak kullanılmak üzere hazırlanması olanaklarının araştırılması", *Y.Lisans Tezi,* İ.Ü., 1999.

Çinku, K., Bilge, Y. "Bentonit ve Aktivasyon Yöntemleri", *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, 19-22 Eylül 2001, Konya pp. 1-10.

Demirel H. ve diğ., "Bentonit ve diğer killerin absorbant olarak kulanımı", *Endüstriyel Hammaddeler Sezpozyumu*, İzmir, 1995.

Deraj, R.N., and Guy, R.D., 1981. Clays and ClayMin., 29, 205 - 212.

DPT, VIII. *Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Raporu*

Erdinç, Ş. Ş. "Bentonitlerin Metalurjideki Uygulanmaları Yönünden Araştırılması ve Reşadiye Bentonitlerinin Bu Açıdan İncelenmesi", *Doktora tezi*, İTÜ Maden Fakültesi Ofset Baskı atölyesi, İstanbul, 16-7-1976.

Fukushima, Y., 1984. Clays ClayMin., 32, 320 - 326.

Grim R.E., "*Clay Mineralogy*", 2nd edition, McGraw Hill, New York, 1968.

Grim R.E., Gwen, N. "Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses", *Developments in Sedimentology* 24, Elsevier Publishing Company, New York, 256 pages (1978).

Guggenheim, S.T., Martin, R.T., 1995. Clays and Clay Mimrals, 43,255 - 256.

Gücer, D. "Türkiye ticari bentonit killerinin özellikleri ve kullanım alanlarının tespiti", TÜBİTAK-MAM, 1992.

Güngör, N. "Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi", *Doktora tezi*, İ.Ü. 1981.

Hendricks, S.B., Jefferson, M.E. 1938. Am.Minerol, 23, 863.

Huntur, R.J., 1986. *Foundation of Colloid Science Vol.l*, Clarendon Press-Oxford New York.

Israelachvili, T.N. and McGuiggan, P.M., 1988. Science 241, 795 - 800.

Jalil, H., Rehman, A., Jehangir, M., "Study on the effect of sodium bentonite supplementation on the performance of the brolier chicks", Poultry Research Enstitute, Shamasabad-Pakistan, 1996.

Jones, K.G. "Iron ore pelletisation", *Industrial Minerals*, no:138, 61-74p, 1979

Kendall, J. "Desiccant clay", *Industrial Minerals*, May, 1996.

Kocakuşak, S. ve diğ., "Bentonitlerin, Silanlama Yöntemi ile Tiksotropilerinin Araştırılması", *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir-Türkiye, 1997.

Lagaly, G., 1986. Colloids in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, pp. Vol A7.

Lagaly, G., 1993. Coagulation and Flocculation Theory and Applications, pp.427 - 491 Eds. Bohuslav Dobias, Marcel Dekker Inc., New York.

Malayoğlu U., Akar, A. "Killerin sınıflandırılmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi", *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, Köse ve Kızıl, İzmir-Türkiye, 21-22 Nisan 1995, pp. 125-132.

Meier, L.P. 1998. Organic Cations - Related Adsorption Behaviour of Surface Modified Smectites, *PhD Dissertation*, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.

O' Driscoll, M. "European Cat Litter; Absorbing Market Growth", *Industrial Minerals*, No:298, p.46-65, 1992.

Olphen, H.,1979. Data Handbook for Clay Materials and Other Non-Metallic Mineralles,*Oxford Pergamon Pres.*

Onikata, M., Annaka, G. "Modifizierter Bentonit", Offenlegungsschrift, DE 4 300 996 A1., 1963.

Parfîtt, R.L. and Greenland, D.J., 1970. ClayMin 8, 305 - 315,

Pasin, G., Acar, J., "Kilin gıda endüstrisinde kullanım alanları", *II. Ulusal Kil Sempozyumu*, 1985.

Quirk, I.P. and Marcelja, S., 1997. Langmuir, 13, 6241 - 6248.

Rheox, "Rheology handbook", Catalogue, 1997

Robertson, R.H.S. "Fuller's Earth - a History of Calcium Montmorillonite", Mineralogical Sociery, Occasional publication, Volturna Press, 412 pages (1986).

Saeed, A. "Bentonite in Animal Feed, A Living Mineral", *Industrial Minerals*, No:346, p.47-51, 1996.

Santaren, J. "European market developments for for absorbent clays", *Industrial Minerals*, No:393, p.35-50, 1993.

Sarıkaya, Y., Biçer, C., Biçer, M., Ceylan, H., Bozdoğan, İ. "Asit aktivasyonu ile killerin fiziko-kimyasal özelliklerinin değişimi", *II. Ulusal Kil Sempozyumu* (1985).

Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T., Noyan, H. "Bir Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki", *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, 19-22 Eylül 2001, Konya pp. 27-38.

Sayın, M. "Kil minerallerinin kantitatif analizinde metedolojik ve intrinsik sorunlar", *I. Ulusal Kil Sempozyumu* (1983).

Searle, B.A. and Grimshaw. R.W., 1960. The Chemistry and Physics of Clays and Other Ceramic Materials, Ernest Bem Ltd., London.

Süd Chemie, "What is bentonite", Catalogue, München, Germany, 1996.

Süd-Chemie, "Tonsil, Hochactive bleicherden", Catalogue, Munchen, Germany, 1996.

TSE (Türk Standardı), "Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan", *TS 11326*/Nisan 1994.

TSE (Türk Standardı), "Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan", *TS 10252*/Nisan 1992.

TSE (Türk Standardı), "Bentonit-Kağıt Sanayinde Kullanılan", *TS 11441*/Kasım 1994.

TSE (Türk Standardı), "Bentonit-Lastik Sanayinde Kullanılan", *TS 11442*/Kasım 1994

TSE (Türk Standardı), "Bentonit-Sondaj İşleminde Kullanılan", *TS 977*.

TSE (Türk Standardı), "Döküm Bentoniti", *TS 5360*/Nisan 1996.

TSE (Türk Standardı), "Seramik Sanayinde Kullanılan", *TS 11136*/ 1993.

Türkiye Bentonitlerinden Teknolojik Ürünlerin Elde Edilmesi, *TÜBİTAK KAMAG Projesi*, 3. Ve 4. Ara raporları, Mart 2008, Ekim 2008).

United States Patent "Blended drilling fluid thinner", Patent no: 5,399,548 (Mar. 1995)

United States Patent, "Drilling fluids", Patent no: 4,425,241 (Jan.10, 1984)

Uz, B., Esenli, F., Özdamar, Ş. "Atsa (ordu) Güneyindeki Çaltumar ve Hoylu Bentonit Oluşumlarının Kristobalit Yapısındaki Düzenlilik Açısından Karşılaştırılması", *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, 19-22 Eylül 2001, Konya pp. 221-227.

Van Oss, C.J. and Giese, R.F., 1995. Clays Clay Minerals, 43, 474 - 481,

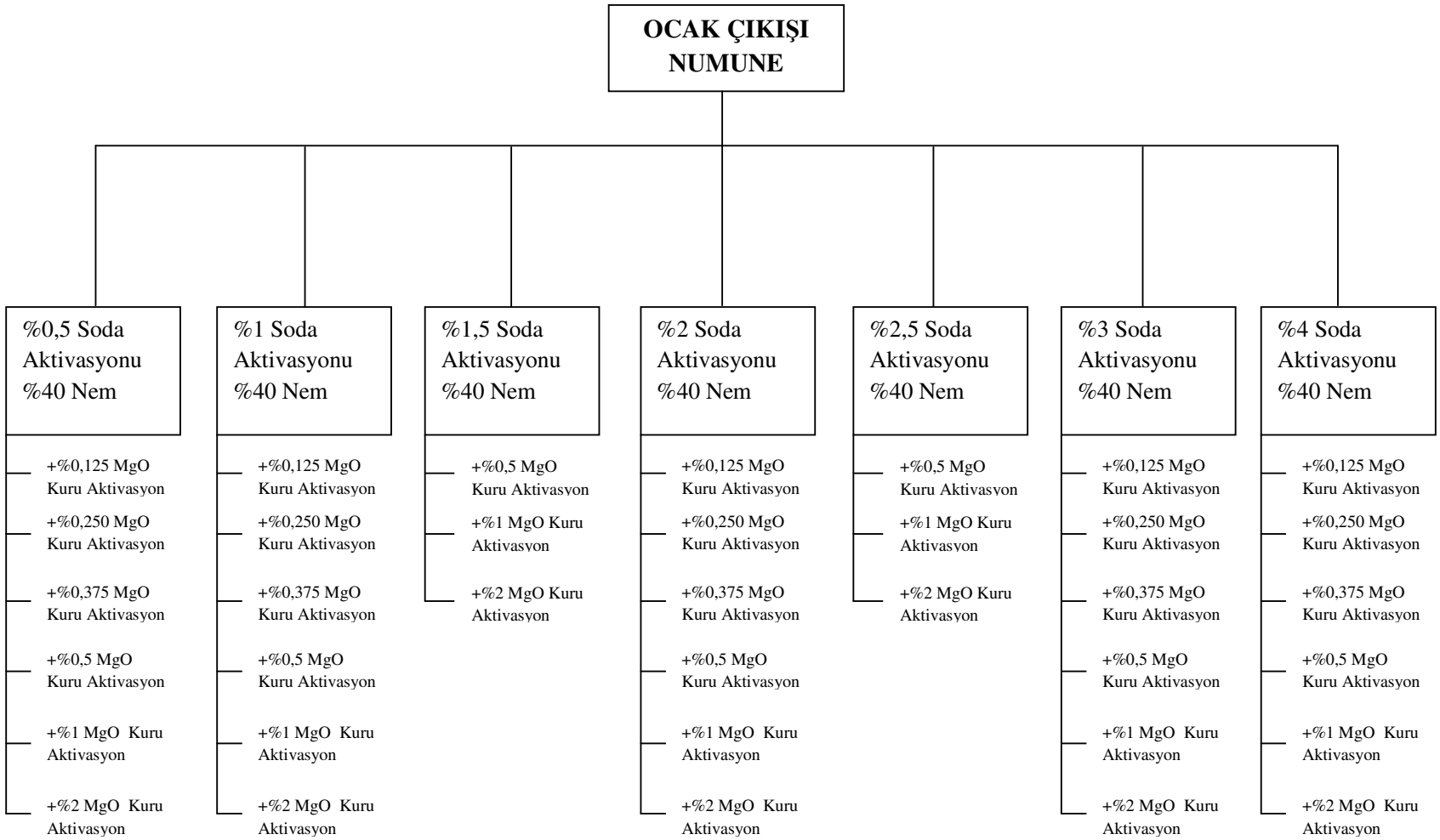
VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim , Worral, W.e., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier, London,

Vorral, W.E., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier, London

Yalçın, S., Özbelge, Ö. "Bentonitin asit ile aktifleştirilmesi", *II. Ulusal Kil Sempozyumu* (1985)

Yalçın, T., Alemdar, A., Ece O.I., Güngör, N. "The viscosity and zeta potential of bentonite dispersions inpresence of anionic surfactants", Materials Letters 57 (2002), 420–424.

EKLER


OCAK ÇIKIŞI NUMUNE
%0,5 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,125 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,250 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,375 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%1 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,125 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,250 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,375 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%1,5 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%2 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,125 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,250 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,375 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%2,5 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%3 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,125 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,250 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,375 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon
%4 Soda Aktivasyonu %40 Nem
+%0,125 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,250 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,375 MgO Kuru Aktivasyon
+%0,5 MgO Kuru Aktivasyon
+%1 MgO Kuru Aktivasyon
+%2 MgO Kuru Aktivasyon

EK- 2

SADECE SODA İLAVELİ NUMUNELERİN DÖKÜM KUMU ÖLÇÜM DEĞERLERİ

Numune	Ölçüm no.	Yaş Basma Mukavemeti (N/cm2)	Yaş Çekme Mukavemeti (N/cm2)	Yaş Kesme Mukavemeti (N/cm2)	Ezme Mukavemeti (N/cm2)	Gaz Geçirgenliği (mmss.)
%0 soda ilaveli	1	10,3	0,21	**3,1**	**2**	**52**
	2	11,4	0,19			
	3	10,7				
	Ortalama	**10,8**	**0,20**			
%0,5 soda ilaveli	1	17,6	0,55	**4,3**	**2,3**	**60**
	2	17,3	0,58			
	3	16,6				
	Ortalama	**17,2**	**0,57**			
%1 soda ilaveli	1	14,5	0,51	**4**	**2,7**	**62**
	2	13,5	0,51			
	3	13,4				
	Ortalama	**13,8**	**0,51**			
%2 soda ilaveli	1	15,8	0,55	**4**	**2,8**	**62**
	2	14,8	0,54			
	3	14,3				
	Ortalama	**15**	**0,55**			
%3 soda ilaveli	1	16,3	0,68	**5,3**	**3,7**	**62**
	2	17,7	0,68			
	3	16,8				
	Ortalama	**16,9**	**0,68**			
%4 soda ilaveli	1	17,2	0,66	**4,8**	**3,4**	**64**
	2	16,5	0,66			
	3	17,8				
	Ortalama	**17,2**	**0,66**			

EK-3

SODA VE MgO İLAVELİ NUMUNELERİN DÖKÜM KUMU ÖLÇÜM DEĞERLERİ

Soda İçeriği	MgO ilavesi (%)	Yaş Basma Mukavemeti (N/cm2)	Yaş Çekme Mukavemeti (N/cm2)	Yaş Kesme Mukavemeti (N/cm2)	Ezme Mukavemeti (N/cm2)	Gaz Geçirgenliği (mmss.)
%0,5	0,0	17,17	0,57	4,30	3,30	60,00
	0,5	14,90	0,61	4,80	3,60	62,00
	1,0	12,98	0,52	3,90	3,00	64,00
	2,0	13,10	0,46	3,80	2,80	64,00
%1	0,0	13,80	0,51	4,00	2,70	62,00
	0,5	14,90	0,60	5,00	3,40	58,00
	1,0	12,43	0,47	3,90	2,80	60,00
	2,0	15,25	0,59	4,50	3,30	60,00
%2	0,0	14,97	0,55	4,00	2,80	62,00
	0,5	11,78	0,52	3,70	2,70	64,00
	1,0	13,58	0,49	4,00	2,90	64,00
	2,0	13,18	0,45	3,80	2,70	68,00
%3	0,0	16,93	0,68	5,30	3,70	62,00
	0,5	14,30	0,59	4,80	3,60	58,00
	1,0	12,10	0,44	4,00	2,80	60,00
	2,0	13,95	0,59	4,80	3,40	64,00
%4	0,0	17,17	0,66	4,80	3,40	64,00
	0,5	12,67	0,41	3,50	2,40	68,00
	1,0	13,97	0,57	3,90	2,90	63,00
	2,0	13,03	0,41	3,10	2,40	70,00

NUMUNE	ŞİŞME (ml)	FİLTRASYON KAYBI			VİSKOZİTE VE pH (İLK ÖLÇÜM)					VİSKOZİTE VE pH (24 SAAT SONRA)				
		7dk.	30dk.	S.Hacmi	300 rpm	600 rpm	Plastik Vis.	Görünür Vis.	pH	300 rpm	600 rpm	Plastik Vis.	Görünür Vis.	pH
ocak çıkışı	14	7,40	19,30	23,80	7,00	11,00	4,00	5,50	9,37	10,00	16,00	6,00	8,00	9,28
%0,5 soda	16	8,60	18,80	20,40	6,00	9,00	3,00	4,50	9,39	6,00	10,00	4,00	5,00	9,19
%1 soda	20	6,30	15,60	18,60	10,00	15,00	5,00	7,50	9,76	9,00	15,00	6,00	7,50	9,58
%1,5 soda	20	6,80	15,00	16,40	10,00	15,00	5,00	7,50	10,08	11,00	16,00	5,00	8,00	10,05
%2 soda	27	6,00	14,40	16,80	15,00	21,00	6,00	10,50	10,10	14,00	20,00	6,00	10,00	9,99
%2,5 soda	32	6,80	13,80	14,00	20,00	27,00	7,00	13,50	10,16	20,00	27,00	7,00	13,50	10,47
%3 soda	26	6,20	14,30	16,20	12,00	17,00	5,00	8,50	10,28	11,00	17,00	6,00	8,50	10,22
%4 soda	18	6,60	15,00	16,80	9,00	14,00	5,00	7,00	10,99	9,00	14,00	5,00	7,00	10,96
%0,5 soda + %0,125 MgO	18	9,00	19,00	20,00	3,00	6,00	3,00	3,00	10,62	14,00	22,00	8,00	11,00	10,13
%0,5 soda + %0,250 MgO	17	8,00	17,00	18,00	3,00	6,00	3,00	3,00	10,92	17,00	24,00	7,00	12,00	10,46
%0,5 soda + %0,375 MgO	17	8,00	17,00	18,00	4,00	7,00	3,00	3,50	11,01	18,00	25,00	7,00	12,50	10,56
%0,5 soda + %0,5 MgO	28	9,00	20,00	22,00	56,00	62,00	6,00	31,00	10,60	48,00	56,00	8,00	28,00	10,30
%0,5 soda + %1 MgO	20	11,50	25,10	27,20	44,00	48,00	4,00	24,00	10,68	25,00	30,00	5,00	15,00	10,50
%0,5 soda + %2 MgO	18	18,00	32,00	28,00	17,00	20,00	3,00	10,00	10,77	13,00	16,00	3,00	8,00	10,65
%1 soda + %0,125 MgO	20	7,00	15,40	16,80	7,00	11,00	4,00	5,50	10,82	20,00	28,00	8,00	14,00	10,57
%1 soda + %0,250 MgO	23	7,20	16,10	17,80	8,00	12,00	4,00	6,00	11,01	24,00	32,00	8,00	16,00	10,62
%1 soda + %0,375 MgO	26	7,20	16,30	18,20	8,00	12,00	4,00	6,00	11,09	25,00	35,00	10,00	17,50	10,66
%1 soda + %0,5 MgO	31	8,20	20,00	23,60	59,00	65,00	6,00	32,50	10,51	43,00	50,00	7,00	25,00	10,26
%1 soda + %1 MgO	25	11,50	25,00	27,00	54,00	58,00	4,00	29,00	10,76	34,00	40,00	6,00	20,00	10,58
%1 soda + %2 MgO	22	13,00	32,00	38,00	52,00	54,00	2,00	27,00	10,83	33,00	38,00	5,00	19,00	10,80
%1,5 soda + %0,5 MgO	17	7,20	15,40	16,40	13,00	19,00	6,00	9,50	10,97	44,00	52,00	8,00	26,00	10,96
%1,5 soda + %1 MgO	21	8,40	17,80	18,80	66,00	71,00	5,00	35,50	11,36	62,00	67,00	5,00	33,50	11,11
%1,5 soda + %2 MgO	23	11,20	22,80	23,20	60,00	66,00	6,00	33,00	11,55	51,00	55,00	4,00	27,50	11,22
%2 soda + %0,125 MgO	27	7,20	16,30	18,20	14,00	20,00	6,00	10,00	11,01	28,00	37,00	9,00	18,50	10,83
%2 soda + %0,250 MgO	28	8,00	17,00	18,00	17,00	23,00	6,00	11,50	11,06	55,00	67,00	12,00	33,50	10,90
%2 soda + %0,375 MgO	29	8,00	18,00	20,00	19,00	25,00	6,00	12,50	11,21	62,00	68,00	6,00	34,00	10,96
%2 soda + %0,5 MgO	37	8,20	19,80	23,20	72,00	81,00	9,00	40,50	10,84	80,00	90,00	10,00	45,00	10,73
%2 soda + %1 MgO	34	9,60	23,80	28,40	126,00	132,00	6,00	66,00	10,93	90,00	97,00	7,00	48,50	10,85
%2 soda + %2 MgO	30	11,50	29,30	35,60	102,00	110,00	8,00	55,00	11,03	76,00	82,00	6,00	41,00	11,01

NUMUNE	ŞİŞME (ml)	FİLTRASYON KAYBI			VİSKOZİTE (cP) VE pH (İLK ÖLÇÜM)					VİSKOZİTE (cP) VE pH (24 SAAT SONRA)				
		7dk.	30dk.	S.Hacmi	300 rpm	600 rpm	Plastik Vis.	Görünür Vis.	pH	300 rpm	600 rpm	Plastik Vis.	Görünür Vis.	pH
%2,5 soda + %0,5 MgO	35	7,80	15,00	14,40	31,00	39,00	8,00	19,50	11,14	65,00	76,00	11,00	38,00	11,20
%2,5 soda + %1 MgO	34	8,40	17,40	18,00	34,00	45,00	11,00	22,50	11,27	92,00	99,00	7,00	49,50	11,31
%2,5 soda + %2 MgO	32	9,40	19,60	20,40	44,00	54,00	10,00	27,00	11,30	122,00	130,00	8,00	65,00	11,44
%3 soda + %0,125 MgO	26	6,20	14,60	16,80	11,00	16,00	5,00	8,00	11,05	22,00	31,00	9,00	15,50	10,98
%3 soda + %0,250 MgO	27	7,00	15,80	17,60	13,00	18,00	5,00	9,00	11,23	26,00	35,00	9,00	17,50	11,17
%3 soda + %0,375 MgO	28	7,60	16,80	18,40	12,00	17,00	5,00	8,50	11,35	36,00	46,00	10,00	23,00	11,28
%3 soda + %0,5 MgO	30	7,50	18,00	21,00	81,00	90,00	9,00	45,00	11,09	85,00	90,00	5,00	45,00	10,95
%3 soda + %1 MgO	28	8,20	21,60	26,80	88,00	95,00	7,00	47,50	11,14	88,00	96,00	8,00	48,00	11,05
%3 soda + %2 MgO	27	9,60	22,50	25,80	86,00	91,00	5,00	45,50	11,22	83,00	89,00	6,00	44,50	11,22
%4 soda + %0,125 MgO	23	7,40	15,80	16,80	10,00	15,00	5,00	7,50	11,22	16,00	24,00	8,00	12,00	11,22
%4 soda + %0,250 MgO	25	8,40	13,40	10,00	10,00	15,00	5,00	7,50	11,32	18,00	26,00	8,00	13,00	11,35
%4 soda + %0,375 MgO	26	9,40	19,40	20,00	10,00	15,00	5,00	7,50	11,40	25,00	31,00	6,00	15,50	11,38
%4 soda + %0,5 MgO	28	9,2	19,6	20,80	9,00	14,00	5,00	7,00	11,49	38,00	41,00	3,00	20,50	11,59
%4 soda + %1 MgO	24	11,2	23,2	24,00	36,00	42,00	6,00	21,00	11,42	48,00	53,00	5,00	26,50	11,55
%4 soda + %2 MgO	25	12	24,7	25,40	12,00	17,00	5,00	8,50	11,59	64,00	67,00	3,00	33,50	11,75

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: **Sinan Burak AVCI**

Doğum Yeri ve Tarihi: **24/07/1982**

Adres: **Yeni Mahalle Bahçelievler 110. Sokak No: 14 Akçay/BALIKESİR**

Lisans Üniversite: **İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

Yayın Listesi:

▪ Avcı, S. B., Çınar, M. Çinku, K., Kılınç, T. ve Çelik, M.S., 2005. "Yaş Yöntemle Zenginleştirilmiş Çankırı Bentonitinden Çeşitli Endüstriyel Ürün Geliştirilmesi", *12. Ulusal Kil Sempozyumu*, Ed. T. Yakupoğlu, M. Açlan ve O. Köse, Van, s. 406-406. , (2005)