

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BENTONİTLERİN NEM ALICI (DESİKANT)
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Maden Müh. Munkhjargal CHIMEDDORJ**

Anabilim Dalı : MADEN MÜHENDİSLİĞİ

Programı : CEVHER VE KÖMÜR HAZIRLAMA

HAZİRAN 2007

**FARKLI BENTONİTLERİN NEM ALICI (DESİKANT)
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Munkhjargal CHİMEDDORJ
(505041105)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Yard. Doç.Dr. Gülay BULUT
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Fahri ESENLİ (İ.T.Ü.)**

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden temin edilen farklı mineralojik bileşimine sahip bentonit numuneleri kullanılarak, nem alıcı (desikant) kil üretimi amaçlanmıştır.

Öncellikle bana bu tezin yapılması için olanak sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Gündüz Ökten, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ali Güney'e ve tez kapsamında bana çalışma imkanı sunan, bilgi ve deneyimlerini paylaşan sevgili hocamız ve tez danışmanım Yard. Doç. Dr. Gülay BULUT'a, projede çalışma imkanı sunan Prof. Dr. Mehmet Sabri Çelik'e teşekkürleri bir borç bilirim. Ayrıca tüm çalışmalarımnda benim yanımda manevi desteğini esirgemeyen aileme ve eşime, çalıştığım süre içerisinde laboratuarda yardımda bulunan Dr. Feridun Boylu'ya M. Fatih Can'a, Neslihan Demirer'e, İlker Erkan'a, Tan Çetinel'e ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim. XRD ve DTA analizlerini yapan Prof.Dr.Fahri ESENLI ve tez yazımında emeği geçen Dr. Kudret Tahsin PEREK'e teşekkür ediyorum.

Haziran 2007

Munkhjargal CHIMEDDORJ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1 GİRİŞ	1
2 KİL MİNERALLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER	2
2.1 Kil Minerallerinin Tanımı ve Kimyasal Bileşimi	2
2.2 Kil Minerallerinin Sınıflandırılması	3
2.3 Çeşitli Kil Minerallerinin Mineralojik Özellikleri	5
2.4 Killerin Yüzey ve Yükleri	9
2.5 Killerin Değişebilir Katyonlar ve Katyon Değiştirme Kapasitesi	11
2.6 Kil Minerallerinin Şişmesi	12
2.7 Kil Minerallerinin Özgül Yüzey Alanı	12
2.8 Killerin Tüketim Alanı	12
2.9 Kil Üretim Yöntemi ve Teknolojisi	13
3 BENTONİT	16
3.1 Bentonitin Tanımı ve Özellikleri	16
3.2 Bentonitin Mineralojisi	17
3.3 Bentonitin Oluşumu	19
3.4 Bentonitin Karakteristik Özellikleri	20
3.4.1 Tabii Şekli	20
3.4.2 Tane Boyutu ve Rengi	20
3.4.3 Özgül Ağırlık	21
3.4.4 Bentonitin Şişmesi	21
3.4.5 Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi	21
3.5 Bentonitin Aktivasyonu	22
3.5.1. Alkali Aktivasyon	23
3.5.2 Karboksil Metil Selüloz (CMC) ile Aktivasyonu	23
3.5.3 Asitle Aktivasyon	23
3.5.4 Organik Aktivasyon	23
3.6 Önemli Bentonit Yatakları	24
3.7 Bentonitin Kullanım Alanları	26
3.7.1 Bentonitin Ağartma Toprağında Kullanımı	26
3.7.2 Bentonitin İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanımı	27
3.7.3 Temizlik Maddelerinde Bentonit Kullanımı ve Aranılan Özellikler	28
3.7.4 Petrol Rafinasyonunda Bentonit Kullanımı	28
3.7.5 Kağıt Sanayiinde Bentonit Kullanımı	28
3.7.6 Boya Sanayiinde Bentonit Kullanımı	29

3.7.7 Lastik Sanayiinde Bentonitin Kullanımı	29
3.7.8 Absorban (Kedi Kumu) Olarak Bentonitin Kullanımı	29
3.7.9 Nem Alıcı Kil Üretiminde	29
3.7.1. Atık Suların Temizlenmesinde, Atık Barajlarında ve Yapı Sanayiinde Kullanımı	29
3.7.11 Hayvan Yemi Sanayiinde	29
3.7.12 Döküm Kumu ve Peletlemede Bentonitin Kullanımı	30
3.7.13 Sondaj Alanında Bentonitin Kullanımı	30
3.7.14 Çimento Sanayiinde Bentonitin Kullanımı	30
3.7.15 İnşaat Mühendisliğinde Bentonit Kullanımı	30
3.7.16 Gıda Sanayiinde Bentonit Kullanımı	31
4 BENTONİTİN NEM ALICI (DESİKANT) OLARAK KULLANILMASI	33
4.1 Nem Hakkında Genel Bilgi	33
4.2 Nem Alıcılar ve Genel Özellikleri	36
4.3 Nem Alıcıların Kullanım Alanları	38
4.4 Nem Alıcı Çeşitleri	38
4.4.1 Sentetik Nem Alıcılar	39
4.4.2 Doğal Nem Alıcılar	43
4.5 Nem Alıcı Seçimi	48
4.5.1 Seçime Etki Eden Faktörler	48
5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
5.1 Deneyde Kullanılan Malzeme ve Özelliklerinin Belirlenmesi	50
5.1.1 Deneyde Kullanılan Numune	50
5.1.2 Numunenin Özelliklerinin Belirlenmesi	51
5.2 Desikant Kil Üretimine Yönelik Deneyler	64
5.2.1 Desikant Kil Üretimi Deney Metodu	65
6 SONUÇLAR VE TARTIŞMA	104
7 GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	111
EK A	114
ÖZGEŞMİŞ	118

KISALTMALAR

DTA	: Diferansiyel Termik Analiz
XRF	: X Işını Difraksiyonu
TOT	: Tetrahedral Oktahedral Tetrahedral
TO	: Tetrahedral Oktahedral
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
A.B.D	: Amerika Birleşik Devletleri
KDK	: Katyon Değişirme Kapasitesi
CMC	: Karboksil Metil Selüloz
QAT	: Kuaterner Amonyum Tuzları
TS	: Türk Standard

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : Bentonitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	27
Tablo 4.1 : Aktive Edilmiş Killerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	45
Tablo 5.1 : Bentonit Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları	51
Tablo 5.2 : Bentonit Numunelerinin XRD Sonuçları	52
Tablo 5.3 : Numunelerin Mineralojik Modal Bileşimleri	53
Tablo 5.4 : Bentonit Numunelerinin DTA, TG Sonuçları	54
Tablo 5.5 : Lalapaşa Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)	55
Tablo 5.6 : Sömaş Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)	55
Tablo 5.7 : Reşadiye Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)	56
Tablo 5.8 : Zamana Bağlı Olarak Kaybedilen Nem, %	58
Tablo 5.9 : Bentonit Numunelerinin Katyon Değiştirme Kapasite Sonuçları	61
Tablo 5.10 : Bentonit Numunelerinin Su Emme Kapasite Sonuçları	62
Tablo 5.11 : Bentonit Numunelerinin Şişme Testi Sonuçları	63
Tablo 5.12 : Bentonit Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Viskozite Ölçüm Sonuçları	64
Tablo 5.13 : Lalapaşa Numunesinin Nem Alma Kapasitesi Sonuçları	69
Tablo 5.14 : Sömaş Numunesinin Nem Alma Kapasitesi Sonuçları	70
Tablo 5.15 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Nem Alma Kapasitesi Sonuçları .	71
Tablo 5.16 : Reşadiye Numunesinin Nem Alma Kapasitesi Sonuçları	72
Tablo 5.17 : Lalapaşa Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	74
Tablo 5.18 : Sömaş Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	75
Tablo 5.19 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	76
Tablo 5.20 : Reşadiye Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	77
Tablo 5.21 : Lalapaşa Numunesi Zenginleştirme Ürünlerinin Nem Alma ve Katyon Değiştirme Kapasitesi Değerleri	82
Tablo 5.22 : Sömaş Numunesi Zenginleştirme Ürünlerinin Nem Alma ve Katyon Değiştirme Kapasitesi Değerleri	82
Tablo 5.23 : Lalapaşa Numunesinin Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri	84
Tablo 5.24 : Sömaş Numunesinin Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri	84
Tablo 5.25 : Lalapaşa Numunesinin Selektif Kırma İle Elde Edilen Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri	86
Tablo 5.26 : Sömaş Numunesinin Selektif Kırma İle Elde Edilen Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri	86
Tablo 5.27 : CaCl ₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi (Kuru Karışım)	87
Tablo 5.28 : CaCl ₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi (Hamur Karışımı) ..	87
Tablo 5.29 : Çanbensan-Sarı, Reşadiye ve Kuvars Numunesinin CaCl ₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	89
Tablo 5.30 : CaSO ₄ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	91

Tablo 5.31	: $MgCl_2$ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	92
Tablo 5.32	: $LiCl$ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	93
Tablo 5.33	: $NaCl$ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	94
Tablo 5.34	: Lalapaşa Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	96
Tablo 5.35	: Sömaş Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	97
Tablo 5.36	: Çanbensan-Sarı Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	98
Tablo 5.37	: Reşadiye Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	99
Tablo 5.38	: Bentonit Numunelerinin Sabit Bağlı Nemde Farklı Sıcaklıklarda Nem Alma Kapasitesi	100
Tablo 5.39	: Makarna Şeklinde Malzemenin Nem Alma Kapasitesi	101
Tablo 5.40	: Rejenerasyon Test Sonuçları	102
Tablo 5.41	: Tekrarlanabilirlik Testi	102
Tablo 6.1	: Bentonit Numuneleri Üzerinde Yapılan Karakterizasyon Testlerin Sonuçları	105

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Silikatların Genel Sınıflandırılması	4
Şekil 2.2 : Montmorillonitin Tabaka Yapısı	6
Şekil 2.3 : Kaolinit Kilin Yapısı	7
Şekil 2.4 : Montmorillonit Kilinin Yapısı	8
Şekil 2.5 : İllit Kilinin Yapısı	9
Şekil 2.6 : Montmorillonit Kenar Yükünün pH'la Değişimi	10
Şekil 2.7 : Fransa'daki Bentonit İşletme Tesisinin Akım Şeması	15
Şekil 3.1 : Bentonitin Şişmesi	21
Şekil 3.2 : Montmorillonitin Katyon Değiştirmesi	22
Şekil 3.3 : Türkiye'nin Önemli Bentonit Yatakları	25
Şekil 4.1 : Maddelerin Nem Alıp Bozulması	34
Şekil 4.2 : Normal Silika Jel	40
Şekil 4.3 : Mavi İndikatörlü Silika Jel	41
Şekil 4.4 : Turuncu İndikatörlü Silika Jel	41
Şekil 4.5 : Aktif Alümina	42
Şekil 4.6 : Moleküler Elek	43
Şekil 4.7 : Desikant Kil	43
Şekil 4.8 : Topsorb Firması Üretim Akım Şeması	47
Şekil 5.1 : Bentonit Numunelerinin Tane Boyut Dağılımları	56
Şekil 5.2 : Çanbensan-Sarı Bentonitin Tane Boyut Dağılımı	57
Şekil 5.3 : Bentonit Numunelerinin Zamana Bağlı Olarak Belirlenen Nem Değişimleri	58
Şekil 5.4 : Bentonit Numunelerinin Zamana Bağlı pH Değişimi	59
Şekil 5.5 : Desikant Kil Üretimi Deneyleri Genel Akım Şeması	66
Şekil 5.6 : Deneylerde Kullanılan İklimlendirme Dolabı	67
Şekil 5.7 : Lalapaşa Numunesinin Nem Alma Kapasitesi	69
Şekil 5.8 : Sömaş Numunesinin Nem Alma Kapasitesi	70
Şekil 5.9 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Nem Alma Kapasitesi	71
Şekil 5.10 : Reşadiye Numunesinin Nem Alma Kapasitesi	72
Şekil 5.11 : Lalapaşa Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	75
Şekil 5.12 : Sömaş Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	76
Şekil 5.13 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	77
Şekil 5.14 : Reşadiye Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi	78
Şekil 5.15 : Mozley C-705 Hidrosiklon	80
Şekil 5.16 : Zenginleştirme Deneyi Akım Şeması	81
Şekil 5.17 : Hidrosiklon Ürünlerinin Nem Alma Kapasitesi İle Katyon Değiştirme Kapasitesi Arasındaki İlişki	83
Şekil 5.18 : Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasite ve KDK Değerleri	85
Şekil 5.19 : Lalapaşa Numunesinin CaCl ₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	88

Şekil 5.20	: Sömaş Numunesinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	88
Şekil 5.21	: Çanbensan-Sarı, Reşadiye ve Kuvars Numunelerinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	89
Şekil 5.22	: Lalapaşa Numunesinin CaSO_4 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	91
Şekil 5.23	: MgCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	92
Şekil 5.24	: LiCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	93
Şekil 5.25	: NaCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi	94
Şekil 5.26	: Lalapaşa Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	96
Şekil 5.27	: Sömaş Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	97
Şekil 5.28	: Çanbensan-Sarı Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	98
Şekil 5.29	: Reşadiye Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi	99
Şekil 5.30	: Makarna ve Çubuk Şekilli Malzemeler	101
Şekil 7.1	: Desikant Kil Üretimi Akım Şeması	110
Şekil A.1	: Lalapaşa Numunesinin XRD Sonucu	114
Şekil A.2	: Lalapaşa Numunesinin DTA ve TG Sonuçları	114
Şekil A.3	: Sömaş Numunesinin XRD Sonucu	115
Şekil A.4	: Sömaş Numunesinin DTA ve TG Sonuçları	115
Şekil A.5	: Çanbensan-Sarı Numunesinin XRD Sonucu	116
Şekil A.6	: Çanbensan-Sarı Numunesinin DTA ve TG Sonuçları	116
Şekil A.7	: Reşadiye Numunesinin XRD Sonucu	117
Şekil A.8	: Reşadiye Numunesinin DTA ve TG Sonuçları	117

FARKLI BENTONİTLERİN NEM ALICI (DESİKANT) ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bentonit, başlıca üç tabakalı yapıya sahip smektit grubu minerallerinden montmorillonit ve yanı sıra diğer bazı mineralleri içeren malzemedir. Su ile karıştırıldığında kolloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik ortamlarda şişmesi ve yüksek plastisiteye sahip olması gibi özellikleri nedeniyle bir çok kullanım alanına sahip olan önemli bir hammaddedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden temin edilen farklı mineralojik bileşimlerine sahip bentonit numuneleri kullanılarak, nem alıcı (desikant) kil üretimi amaçlanmıştır. Tez kapsamında kullanılan numuneler Edirne-Enez, İstanbul-Silivri, Çorum-Çankırı ve Tokat-Reşadiye bölgelerinden derlenmişlerdir. Bunlardan Enez ve Silivri bentonitleri "Ca-bentonit", Çankırı oluşumları "Ara tip bentonit" ve Reşadiye oluşumu ise "Na-bentonit" olarak bilinir. Numunelerde ana mineral montmorillonit olup, kuvars, feldspat, kalsit ve kristobalit diğer minerallerdir. Montmorillonit oranı örneklerde Enez bentoniti için %75-80, Silivri %70, Çankırı %50 ve Reşadiye %70-75 olarak belirlenmiştir.

Gerçekleştirilmiş olduğumuz laboratuvar çalışmaları Türkiye'deki bazı bentonit yataklarından alınmış bentonit numunelerinin yanı sıra karşılaştırma yapabilmek amacıyla getirilmiş olan ticari nem alıcı kil ile yapılmıştır.

Nem adsorbe etme özelliklerinin incelenmesi için çeşitli yöntemler ile bentonit numuneleri modifiye edilmiştir. Modifikasyon işlemlerinde, bentonit numuneleri üzerinde öncelikli olarak; kurutmada ısı işlem sıcaklık ve süreleri, uygun tane boyutu tesbiti yapılmıştır. Ayrıca katkısız olarak yeteri kadar nem alma kapasitesine ulaşamayan bentonit numunelerine çeşitli nem alıcı kimyasal maddeler ilave edilerek nem alma kapasitesi standartlarda yer alan %20 nem alma kapasitesine getirilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar nem alıcı ticari ürünlerle karşılaştırıldığında, önerilen yöntemlerle araştırma kapsamında kullanılan ve geliştirilen nem alıcı (desikant) malzemelerin ticari ürünlerin gerektirdiği spesifikasyonları sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca düşük nemli ortamlarda Ca-bentonitlerin ara tip ve Na-bentonitlere göre daha iyi nem aldığı tesbit edilmiştir ve katkısız olarak %16 nem alma kapasitesine sahip Ca-bentonitler az miktarda katkı madde ilavesiyle ticari ürün olarak kullanılabilen bir desikant kil haline getirilmiştir.

DESICCANTS PROPERTIES DETERMINATION OF DIFFERENT BENTONITE

SUMMARY

Bentonite is a clay mineral classified in the smectite group. It exhibits a three layer structure with high montmorillonite content. When mixed with water it acquires a variety of colloidal properties including swelling in water and in some organic media and exhibits high plasticity. Bentonite finds commercial applications in a number of industries such as drilling, bleaching earth, foundry, oil refining, waste water treatment, cat-litter, paint and paper filler.

Four bentonite samples from Turkey, Edirne-Enez, Istanbul-Silivri, Corum-Cankiri and Tokat-Resadiye were studied. Two of these samples were Ca-bentonite, the Cankiri bentonite was mixed type and the Resadiye sample was Na-bentonite. Samples are largely composed of the montmorillonite and the other minerals are quartz, feldspar, calcite and cristobalite. The montmorillonite contents are determined for Enez bentonite %75-80, Silivri bentonite %70, Cankiri %50 and Resadiye bentonite %70-75.

In this study, various bentonites with different mineralogies in Turkey were studied with the aim of producing moisture absorbents so-called desiccants of commercial grade or material competitive in the market.

Bentonites used in this study were upgraded and modified through applying several additives and methods given in the literature. In the modification processes, initially the particle size, heat treatment conditions such as temperature and drying time were examined. In addition to the standard test and parameters, chemical additives such as calcium chloride, lithium chloride and also starch which can enhance the moisture adsorption capacity were mixed with the bentonites. Low moisture adsorption capacities of the bentonites were raised to the %20 level required in the Standards.

The results obtained, in this study together with the standard specifications were compared with the commercial products and found to be compatible with them.

1 GİRİŞ

Killerin endüstriyel ve çevresel kullanımları her yıl giderek artmaktadır. Örneğin, dünya üzerinde 2006 yılında yaklaşık olarak 14 milyon ton bentonit kullanıldığı tahmin edilmektedir (**Roskill, 2005**). Bentonitlerin sondaj çamuru, döküm kumu olmalarının yanı sıra bir çok endüstri dallarında kullanımı vardır.

Türkiye'nin bentonit ticaretinde söz sahibi haline gelebilmesi için bentonit kullanım alanlarının genişletilmesi, bir takım teknolojik ürünlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, Türkiye'deki bazı bentonit yataklarının özellikleri ortaya konarak desikant kil olarak kullanılması, proses akım şemalarının geliştirilmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda bilimsel katkılara ilave olarak teknolojik ve endüstriyel uygulamalarda sağlanacak faydalarla Türk ekonomisine katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

Bentonit nem alıcı (desikant) malzeme olarak su buharını mükemmel adsorplama yeteneklerinden dolayı tavsiye edilmektedir. Bu proses, yüksek bağıl neme desikant malzemeyi maruz bırakarak, ortamdaki nemin emilmesini hedeflemektedir. Bu şartlarda su buharının bir kısmı desikant tarafından uzaklaştırılır. Bentonitler üzerine suyun emilme mekanizması, killerin yapısal ve fiziko-kimyasal özelliklerinden dolayı oldukça karmaşık bir prosestir. Denge şartları altında bentonitlerin su adsorpsiyonu üzerine önemli çalışmalar günümüze kadar yapılmakta ve bu bilgiler literatürde verilmektedir.

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

2 KİL MINERALLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Kil Minerallerinin Tanımı ve Kimyasal Bileşimi

Kil terimi belirli bir kristal yapısına sahip, kimyasal bileşimi sulu alüminyum ve magnezyum silikat olan tane boyutu 2 mikrondan küçük ve plastik özelliklere sahip doğal malzemeler için kullanılabilir. Mühendislikte ise genelde plastik ve kohesif özelliklere sahip, kurutulduğunda büzülen, ıslatıldığında şişen ve sıkıştırıldığında suyunu dışarı atabilen (konsolide olabilen), koloidal tane boyutundaki malzeme için kullanılır.

Kil mineralleri sulu alüminyum ve magnezyum silikatlar, fillosilikatlar veya tabaka/levha silikatlar olarak sınıflandırılır. Bu mineral ailesi içerisinde kimyasal ve fiziksel özelliklerde önemli değişiklikler vardır, fakat büyük bir çoğunluğunun plakamsı morfolojisi, tabakalı atomik yapısının sonucu olarak mükemmel (001) dilinimleri mevcuttur.

1920’li yıllara kadar kil malzemesinin temel bileşiminin ne olduğu konusunda fikir birliği oluşmamıştır. Bunların kesin bir bileşim ve yapıda bulunmadığı, amorf karışımlar halinde bulunduğu ve kaolen bileşimine uymayan bileşenlerin kirletici olarak bulunduğu düşünülmüştür. Kil malzemenin kimyasal analizlerinin yapılmaya başlanmasıyla genelde Si, Al ve su ile değişik miktarlarda demirli alkaliler ve hatta toprak alkalilerden oluştuğu saptanmıştır. Bugün içinde hala geçerliliği olan bir diğer durum ise zeolit benzeri minerallerin killeriyle benzer kimyasal bileşim sergilemesidir.

X-ışınları yöntemi geliştikten sonra kil mineralleri kristalin yapıda olmakla birlikte bileşimde az miktarlarda amorf madde içerdiği, killerin büyük bir çoğunluğunun genellikle fazlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yöntemin kullanılması sonucu killerin büyük bir kısmının asıl bileşeninin tabak yapılı Al silikatlar olduğu belirlenmiştir.

Kil mineralleri çoğunlukla yer kabuğunun üst kesiminde hidrosferle feldispatların reaksiyonu ile oluşur. Genellikle 500°C’in üzerinde oluşmuş kayalarda nadirdirler (metamorfik ve magmatik). Kil mineralleri topraklarda, sedimanlarda, sedimanter

kayaçlarda ve birçok hidrotermal alterasyon zonlarında bol oranda bulunurlar. Sedimanter kayaçlar yeryüzünde oldukça bol bulunan kayaçlar olup bunların en bol bulunanı şeyllerdir. Kil mineralleri de şeylerin en büyük bileşeni olduklarından yeryüzünde en bol bulunan minerallerdir. Şeyl ve sedimanlardaki killerin en önemli bölümü daha önce kayaçlarda bulunan minerallerin mekanik parçalanması ile oluşurlar. Bu detritik (allojenik) killer yüksek sıcaklık mikaları ve diğer killeri kapsar. Kil minerallerinin kimyasal süreçlerle oluşumu iki mekanizma ile açıklanabilir. Bunlar:

- Neoformasyon; çözeltilen çökeltme
- Dönüşüm; daha önce mevcut genellikle fillosilikat mineralinden önemli bir bölümünden itibaren oluşurlar.

Bu iki mekanizmanın birbirinden ayırt edilmesi oldukça zordur. Bu süreçler topraklarda kimyasal alterasyonlar, sediman çökeltim ortamında otijenik minerallerin oluşumu, çökeltim sonrası diyajenetik minerallerin oluşumu ve hidrotermal alterasyonla oluşan kil minerallerini kapsar. Sedimanter kayaçlarda killerin dağılımı yukarıda tanımlanan bütün süreçlerle denetlenir, bununla birlikte herhangi bir durumda bir veya iki süreç birlikte etkin rol oynar. Diyajenetik olarak oluşmuş kil (örneğin illit) detritik bir bileşen olarak yeni oluşan sediman içine geri dönebilir. Metamorfik ve magmatik kayaçlarda Al genelde feldispatlarda tetrahedral koordinasyondadır. Fakat sedimanlardaki Al'un çoğunluğu magmatik kayaçlardan türer ve kil minerallerinde oktahedral koordinasyondadır. Feldispatlar magmatik kayaçların önemli bir bileşeni iken; kil mineralleri sedimanların ana bileşenidir. Uzun jeolojik süreçler sonrasında feldispatlar kil minerallerine dönüşüm yapar. Killerin çoğunluğu fillosilikat iken, feldispatlar tektosilikat grubundadır. Kil minerallerinin çeşitli etkenlerin rol oynaması ile feldispatlardan itibaren neoformasyonla oluşmaları söz konusudur. Ancak kil minerallerinin neoformasyonunda başka oluşum mekanizması da söz konusudur (**Karakaya, 2006**).

2.2 Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Kil mineralleri silikat grubuna ait minerallerdendir. Silikatların genel sınıflandırılması Şekil 2.1'de görülmektedir.

Killer kristal yapılarına, kimyasal bileşimlerine, bulundukları ortamlarına göre sınıflandırılmıştır.

Çeşitli kil minerallerinin yapısal özelliklerine dayanarak;

Amorf olanlar:

Allofin grubu

Kristalin Olanlar:

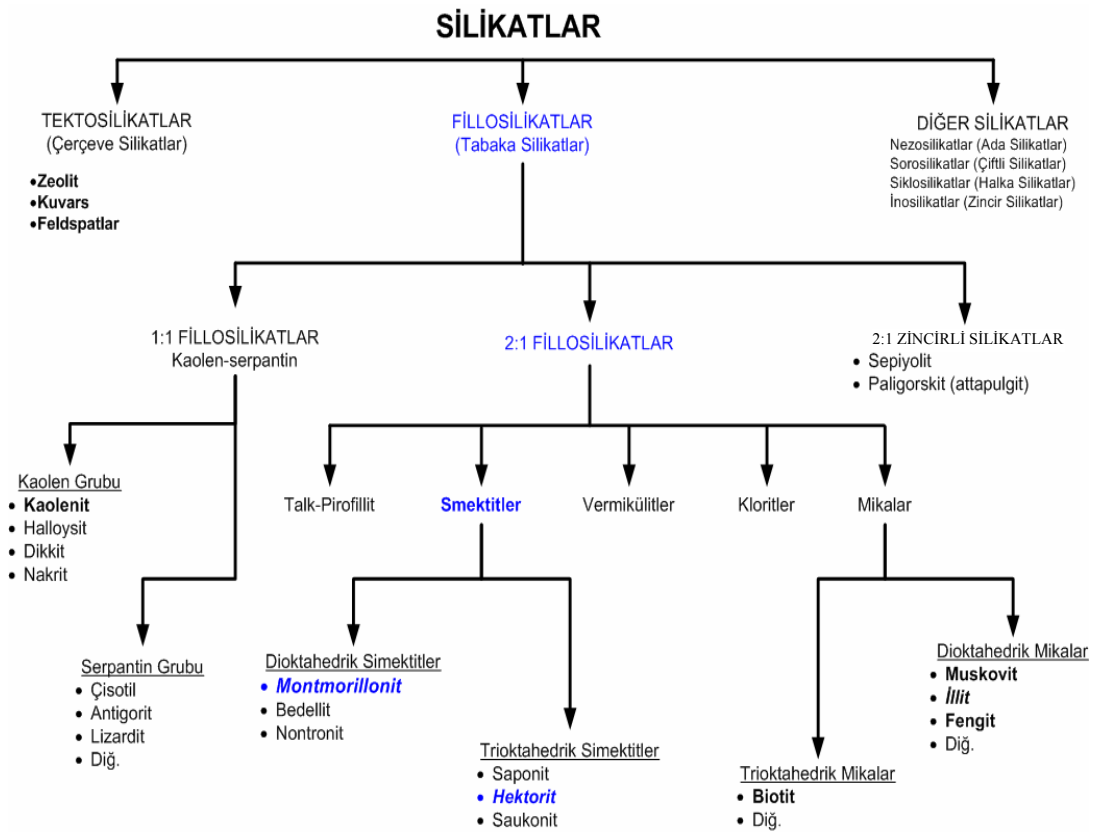
a) İki tabakalı tipler (bir silis tetrahedral tabakası ile bir alüminyum oktahedral tabakasından ibarettir)

- Eşboyutlu olanlar:

Kaolin grubu kaolinit, dikit, nakrit

- Uzamış olanlar:

Halloysit grubu



Şekil 2.1 : Silikatların Genel Sınıflandırılması
(<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc231.htm>, 2007)

b) Üç tabakalı tipler (2 silis tetrahedral tabakasıyla bir merkezi dioktahedral veya trioktahedral tabakadan ibarettir)

- Genişleyen şebeke yapılı olanlar:

Eşboyutlu olanlar: Montmorillonit grubu: montmorillonit, saponit vb.

Uzamış olanlar: Montmorillonit grubu: montronit, saponit, hektorit.

- Genişlemeyen şebeke yapılı olanlar:

İllit grubu

- c) Düzenli karışık tabakalı tipler

Klorit grubu

- d) Zincir yapılı tipler (Hornblende benzer silis tetrahedral zincirleri birbiriyle Al ve Mg atomlarını ihtiva eden hidroksiller ve oktahedral oksijen gruplarıyla bağlanır)

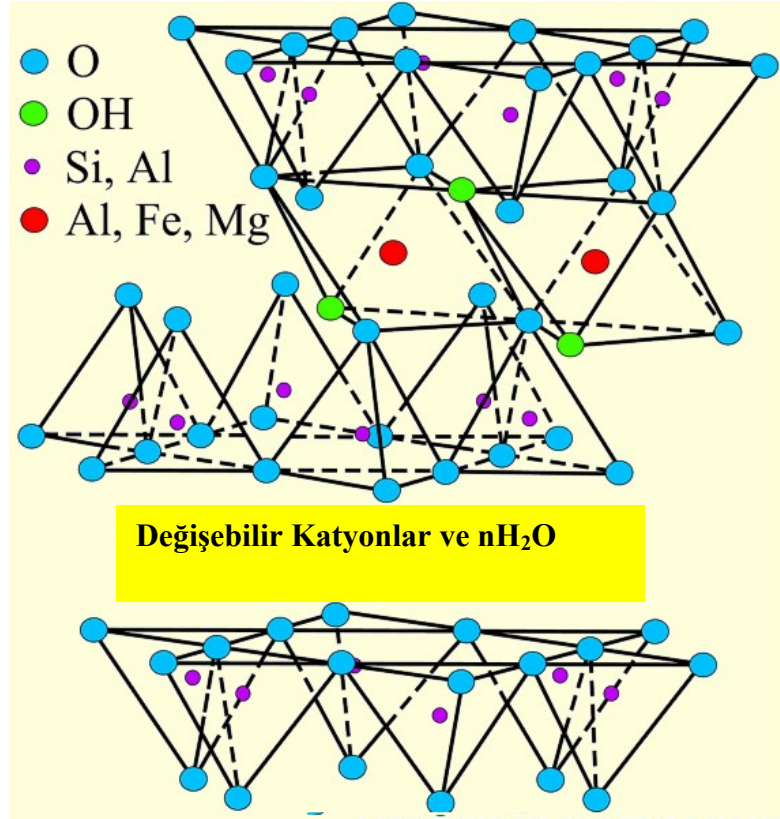
Atapulgit, sepiyolit, paligorskit (**Grim, 1968**).

2.3 Çeşitli Kil Minerallerinin Mineralojik Özellikleri

Kil minerallerinin yapısal iskeleti silika ve alümina levhalarının birlikte bağlanmasıyla oluşan birbiri üzerine istiflenmiş tabakalardan meydana gelir. İki yapısal birim (oktahedral ve tetrahedral) bir çok kil mineralinin atomik kafes sisteminde yer almaktadır (**Grim, 1968**). Birinci birim oktahedral levha olarak adlandırılmakta ve oksijen ve hidroksillerle sıkıca sarılmış iki levhadan oluşmakta ve bu oktahedral koordinasyon içerisine alüminyum, demir veya magnezyum atomları da yer almakta ve bunlar 6 oksijen veya hidroksil atomundan eşit mesafededir (Şekil 2.2). İkinci birim silika tetrahedrallarından oluşur ve tetrahedral levha olarak adlandırılır. Her tetrahedralda bulunan silikon atomları dört oksijen atomundan veya yapıdaki denge için gerekli hidroksillerden eşit mesafededir. Silika tetrahedral grupları hegzagonal bir ağ meydana getirir. Bu ağda $Si_4O_6(OH)_4$ kompozisyonunda bulunan levhalar sınırsız tekrarlanmaktadır (Şekil 2.2).

Tetrahedral ve oktahedral levhalar içindeki benzer simetri ve boyutlar, levhalar arası oksijen atomlarının paylaşımına izin verir. Üç katmanlı mineraller veya smektit kil mineralleri göz önüne alındığında, iki silika levhası, bir alüminyum veya magnezyum levhası ile oksijen atomlarını paylaşır. Bir veya iki tetrahedral levhanın, bir oktahedral levha ile kombinasyonu bir birim tabaka (layer) olarak adlandırılır. Bir çok kil minerali birbirine paralel olarak istiflenmiş birim tabakalardan (layer) oluşur. Üç katmanlı bir kil için bir birim hücre içerisindeki, atom düzenlerinin şematik

gösterimi, örneğin montmorillonit için Şekil 2.2’de görülmektedir. Bu yapı Hoffmann yapısı olarak adlandırılmaktadır. Birim tabaka içinde birim yapı yanıl yönde kendi kendini tekrarlar. Bu birim yapı birim hücre olarak da adlandırılır.

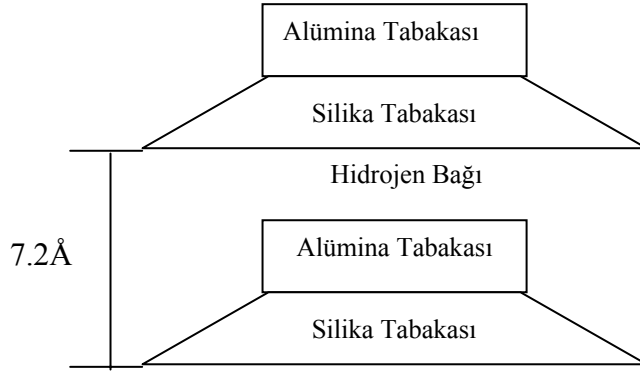


Şekil 2.2 : Montmorillonitin Tabaka Yapısı

Kil mineralleri çok küçük olmalarına rağmen kristal bir yapı gösterirler. Kristal özelliklerine göre genel olarak dört grup kil minerali bulunur.

- Kaolinit grubu
- Smektit grubu
- İllit grubu
- Klorit grubu

Kaolinit Grubu; bu grup içine bir çok kil mineralleri girer. Bu minerallerin kristalleri levha şeklindedir ve düz kristal üniteleri oluştururlar. Kristal üniteleri bir alümina ve bir silika tabakasının üst üste gelmesiyle meydana gelmiştir. Her bir tabaka 7.2 Å kalınlığındadır. Her bir tabakanın yanıl boyutları 1000 Å-2000 Å ve kalınlığı 100 Å-1000 Å arasındadır. Bu sebeple bunlara 1:1 kristal tipinde olan killer denir. Kaolinit kilin yapısı Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir.



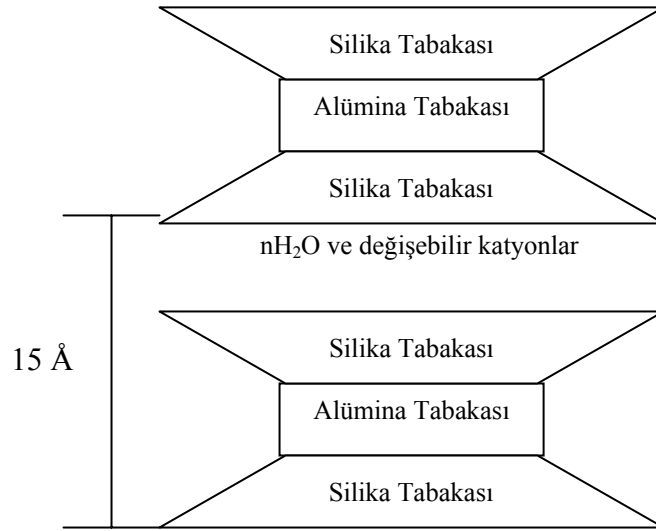
Şekil 2.3 : Kaolinit Kilin Yapısı

Kristali oluşturan üniteler birbirine oksijen ve hidroksit ile sıkıca bağlanmıştır. Bu yüzden kil ıslandığı zaman kristal üniteleri arasındaki mesafe genişlemez. Kristal üniteleri arasına su moleküllerinin ve kationlarının girmesi çok güçtür. Bu sebeple kaolinitin efektif yüzeyi sadece dış yüzeylerdir. Bunun sonucu olarak kaolinitin kation değişim kapasitesi diğer kil mineralleri gruplarından daha düşüktür.

Kaolinit kristalleri kabaca hekzagonaldır. Montmorillonit kristallerine nazaran daha büyüktür. Çapları genel olarak 0,1-0,5 mikron arasında değişir. Diğer silikat kil minerallerinin aksine, kaolinitin plastiklik, kohezyon, büzülme ve şişme özellikleri çok zayıftır. Kaolinit yüksek oranda kolloid özellikleri göstermez. Kaolinit ıslandığı zaman orta derecede bir plastisiteye sahip olurken, diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Bu gruptaki minerallerinin özgül ağırlıkları 2,60-2,68 gr/cm³ ve özgül yüzeyleri 10 m²/gr civarındadır. Kaolinit kilin formülü 2H₂O·Al₂O₃·2SiO₂ şeklindedir (Yalçın, 1997).

Smektit Grubu; smektit grubu killer bir çok mineral içerir. Bu grupta montmorillonit, saponit, hektorit, nontronit gibi mineraller vardır. Yapı alt ve üstten iki silisyum tabakası ile kuşatılmış bir alüminyum tabakasından ibaret kristal ünitelerinin üst üste gelmesiyle meydana gelmiştir. Silis ve alüminyum tabakaları oksijen atomuyla birbirine bağlanmıştır. Grubun yapısı 2:1 tipindedir. Yani iki silika tabakası ve bir alüminyum tabakasından oluşan ünitelerden meydana gelmiştir. Smektit grubun veya en yaygın bilinen montmorillonit kilinin yapısı Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilmiştir.

Kristal üniteleri birbirine H₂O ve kationlar ile bağlanmıştır ve kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebilir. Montmorillonit kristallerinin çapları 0,01-2 mikron arasında değişir.



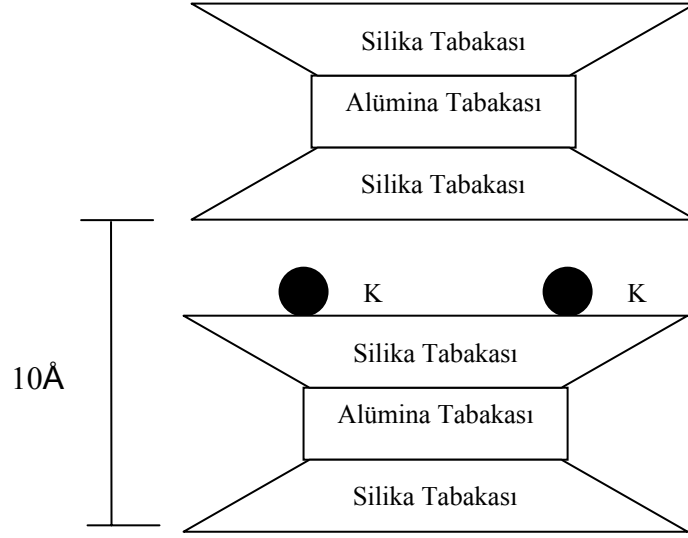
Şekil 2.4 : Montmorillonit Kilinin Yapısı

Kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebildiğinden katyonlar ve su molekülleri üniteler arasına girebilir. Böylece montmorillonit miktarı yüksek olan killeri ihtiva ettikleri değişebilir katyonların tabiatına bağlı olarak önemli miktarda şişme veya büzülme gösterebilir. Montmorillonit kil kristalinin dış yüzeylerine ek olarak geniş bir iç yüzey mevcuttur. Bu iç yüzeylerde negatif elektrikle yüklüdür. Bu yüzden montmorillonit kili yüksek bir katyon değişim kapasitesine sahiptir. Katyon değişim kapasitesi 80-150 meq/100 gr arasında değişmektedir ve kaolinitin 10-12 mislidir (Yalçın, 1997).

İllit Grubu; kristal yapısı 2:1 tipindedir. Genel yapısı bakımından montmorillonit kiline benzerdir. Bununla beraber taneciklerin çapı nispeten daha büyüktür. Silis tabakasındaki silisin %15'i alüminyumla yer değiştirir. Açıkta kalan valanslar ise geniş ölçüde K^+ iyonları tarafından doldurulmuştur. Potasyum atomlarının kristal üniteleri arasında yer aldığı ve üniteleri birbirine bağladığı kabul edilmektedir. Bu sebeple kristal üniteleri arasındaki mesafeler fazla genişleme göstermez. Bunun sonucu olarak hidrasyon, katyon adsorpsiyonu, şişme, büzülme ve plastiklik gibi özellikler belirgin değildir. Fakat bu özellikleri kaolinit ile montmorillonit arasındadır.

İllit kilinin yapısı şematik olarak Şekil 2.5'de gösterilmiştir.

İllit kilinin şişme özelliği montmorillonit kilinden az, içsel sürtünmesi ise fazladır. Bu gruptaki kil minerallerinin özgül ağırlıkları $2,64-3,0 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir, özgül yüzeyleri ise $80 \text{ m}^2/\text{gr}$ civarındadır.



Şekil 2.5 : İllit Kilinin Yapısı

Klorit Grubu; Klorit grubu killeri ince taneli ve yeşil renklidir. Bu grup killeri bol miktarda magnezyum, demir(II), demir(III) ve alüminyum içerir. Klorit grubu mineraller genellikle fillosilikatlar içinde aynı grup olarak bulunabilen ve genellikle killerin bir parçası olarak kabul edilmeyen gruplardır. Bu grubun amesit, nimit, dafnit, panantit ve peninit gibi birçok üyesi vardır. Bu grup killeri endüstride kullanım alanı bulamamıştır.

2.4 Killerin Yüzey ve Yükleri

Kil mineralleri tek TOT (Tetrahedral-Oktahedral-Tetrahedral) ya da TO tabakaları arasında iç ve dış kristal yüzeylerine sahiptirler. Sadece smektit ve vermikulitler su moleküllerinin içine girebileceği iç yüzeylere sahiptirler ve bu aralıklar 10 Å'den daha büyük olabilen değişebilir bazal mesafelerdir. Geniş yüzey alanları adsorpsiyon deneyleri için oldukça önemlidir. Saf bir smektit için teorik yüzey alanı yaklaşık 800 m²/gr'dır.

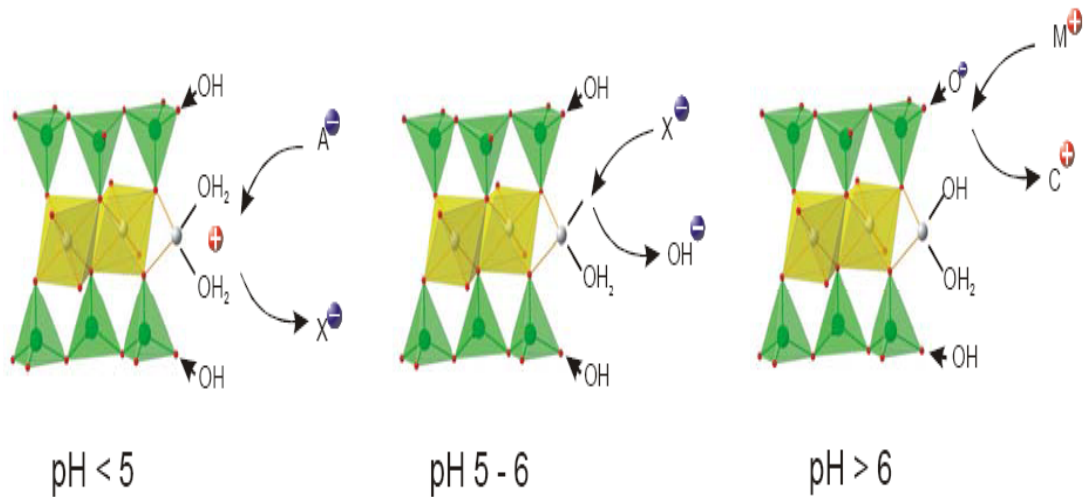
İç ve dış yüzey alanlarının toplamı, su ya da gliserol gibi tabakalararasına girebilen polar moleküllerinin adsorpsiyonu yöntemi ile saptanır. BET (Brunauer-Emmett-Teller) ölçümleri kuru numunelere uygulanır ve sadece kenar ve serbest tabaka yüzeylerinden meydana gelen dış yüzeyleri saptar. İç ve dış yüzeyler her iki metodun birlikte uygulanması ile birbirinden ayırdedilebilir (Alemdar, 2001).

Tabaka yükleri killeri için en önemli parametrelerden biridir ve endüstriyel uygulamalar için son derece önemli özellikleri belirtir. Bu özellikler temel olarak;

reoloji özellikleri, şişme ve büzülme, kation değiştirme kapasitesi ve örneğin kationik karakterdeki yüzey aktif maddelerin adsorbsiyonu ile hazırlanan endüstriyel kullanımı olan organokiller gibi modifiye olmuş killerin özellikleridir. Tabaka yükü aynı zamanda 2:1 killerin sınıflandırılmasında en önemli kriterlerden birisidir (Czimerova ve diğ. 2006). Pek çok kil minerali net negatif tabaka yüküne sahiptir. Bu net negatif yük tabakalardaki elementlerin daha düşük değerlikli başka elementlerle yer değiştirmesi sonucunda oluşur. Oktahedral tabakada Al^{+3} , Mg^{+2} ile, tetrahedral tabakadaki Si^{+4} , Al^{+3} ile yer değiştirir. 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 kationların tabaka yüzeyine adsorplanması ile karşılanır.

Negatif tabaka yükü montmorillonitte çoğunlukla oktahedral tabakadaki Al^{+3}/Fe^{+3} 'ün Mg^{+2}/Fe^{+2} ile yer değiştirmesi sonucunda oluşur.

Kil mineralinin sadece geniş yüzeyleri değil, kenarları da kation değiştirebilirler. Tüm kil minerallerinde hidroksil gruplarının çözünmesinden dolayı pH bağımlılıkları vardır. Şekil 2.6'da montmorillonitin kenar yükünün pH'a bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmektedir. Düşük pH değerinde kenarlar pozitif yük taşırlar. pH arttıkça yük azalır. Yüzeylerdeki yük pH'a bağımlı değildir.



Şekil 2.6 : Montmorillonit Kenar Yükünün pH'la Değişimi

2.5 Killerin Değişebilir Katyonlar ve Katyon Değişirme Kapasitesi

Belirli bir kilin, herhangi bir katyondan tutabileceği maksimum miktarı sabittir. Kilin adsorp edebileceği katyon miktarına o kilin katyon değişirme kapasitesi denir. Katyon değişirme kapasitesi 100 gr kuru kilin adsorp ettiği katyonun miliekivalent sayısı ile ifade edilir. Çeşitli killerin katyon değişirme kapasiteleri aşağıda verilmiştir.

Kil Minerallerinin Katyon Değişirme Kapasiteleri (pH=7).

<u>Kil Minerali</u>	<u>100 gramda miliekivalent</u>
Kaolinit	3-5
Halloysit, 2H ₂ O	5-10
Halloysit, 4H ₂ O	40-50
Montmorillonit	80-150
İllit	10-40
Vermikülit	100-150
Klorit	10-40
Sepiyolit, Atapulgit, Paligorskit	20-30

Katyon değişirme, çok değişik faktörlerle ilgili olduğundan, kil minerali grupları için tek bir değer verilememektedir. Solüsyonun pH'sı, kil konsantrasyonu, kristalleşmenin tam olup olmaması, tane büyüklüğü, katyonun kil plaka yüzeyine mi, yoksa plakanın ucuna mı bağlı bulunduğu, katyonun cinsi bu faktörlerin başlıcalarını teşkil ederler.

Killerde katyon değişimlerinin nedenleri:

- Silika-alümina birimlerinin kenarlarındaki kırık bağlar, değişebilir katyonlarla dengelenmiş olan doyurulmamış yükler oluşturur. Tane boyutu küçüldükçe kırık bağ sayısı ve buna bağlı olarak da katyon değişim kapasitesi artar. Kaolinit kilinde kırık bağlar katyon değişiminin en önemli nedenidir. Montmorillonit kilinde ise katyon değişimin %20'si kırık bağlardan, %80'i örgü içi yer değiştirmelerinden ileri gelir.

- Örgü içi yer değiştirme ile örgü içinde dengelenmemiş yükler oluşur ve yüklerin çoğu adsorplanmış katyonlarla dengelenmiştir.
- Açıktaki hidroksillerin hidrojeni değişebilir katyonlarla yer değiştirebilir. Bu etki de kaolinit kilinde önemlidir (**Yurdakoç ve diğ. 1989**).

2.6 Kil Minerallerinin Şişmesi

Killerin en belirgin özelliklerinin su ya da polar madde adsorbsiyonu ile hacminin değişmesidir. Bu açıdan kil mineralleri şişen (smektit) ve şişmeyen (mika) tip olarak sınıflanır. Doğal şişen kil mineralleri Na^+ , Li^+ gibi hidratlı katyonlara sahiptirler. Smektitler hava neminin adsorplanmasıyla bile şişer. Şişmeyen kil mineralleri genellikle tabakalar arası katyon olarak hidratlı olmayan K^+ ve iki değerlikli katyon içerirler. Kil minerallerinin şişme özellikleri değişebilir katyonların tipine ve sayısına bağlıdır (**Alemdar, 2001**).

Killer ya da kil minerallerinden bazılarının hiç şişmediği, bazılarının az şiştiği, bazılarının ise çok şiştiği bilinmektedir. Özellikle smektitler ve onları ana kil minerali olarak içeren bentonitlerin şişmesi ve dağılması 2:1 tabakaları arasındaki katyonların türü ve miktarı ile yakından ilgilidir (**Sarıkaya ve diğ. 2001**).

2.7 Kil Minerallerinin Özgül Yüzey Alanı

Kil mineralinin özgül yüzey alanı kil tanesinin davranışına etki eden en önemli özelliklerinden biridir. Flokülasyon, dispersiyon ve iyon değişimi kil tanesinin yüzey alanına bağlıdır. Yüzey alanı da kil tanesinin cinsine, şekline, çapına ve katyon değişim kapasitesine bağlıdır (**Tuncan, 1995**).

2.8 Killerin Tüketim Alanı

Geology of Industrial Rock and Minerals, **Bates (1969)**'da verilen, killerin kullanım alanları sınıflandırması aşağıda sunulmuştur.

I- Pişirilen Kil Ürünleri (% 35)

- Tuğla, kiremit
- Drenaj boruları
- Yapısal karo
- Pis su borusu

- Fayans, yerkarosu, cam, çini, çanak, çömlek, porselen, sıhhi tesisat, elektro porselen (%40)

II- Diğer Tüketim (%25)

- Refrakter sanayii
- Çimento
- Sondaj Çamuru
- Dolgu maddesi
- Kaplama malzemesi

2.9 Kil Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Kil yatakları genellikle, açık işletme usulleri ile işletilirler. Yeraltı işletmeciliği nadir olup, daha çok şiferton yataklarında görülür. Dünya kil üretiminin büyük kısmı, açık işletme ekipmanlarının kullanıldığı, açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Daha az miktarda kil üretimi ise, kapalı (yeraltı) işletme yöntemleri ile yapılmaktadır. Gerek açık işletme, gerekse kapalı işletme yöntemlerinde; kil seviyesinin kalınlığına göre makina ve ekipmanla üretimin yanı sıra, emek yoğun bir şekilde üretim de yapılmaktadır.

Seramik kili üretiminin yaklaşık %90'ı açık işletme olarak yapılmakta olup, %10'luk çok az bir kısmı kapalı işletme şeklindedir. Emek yoğun bir şekilde yapılan üretim, kil tabakası kalınlıkları 20-25 cm'den 1 m'ye kadar olan ocaklarda daha fazladır.

Kilin oluşum sırasındaki şartlara bağlı olarak çok kısa mesafelerde yatay ve dikey değişimler göstermesi, özellikle fayans-seramik-sıhhi tesisat, porselen ve elektro porselen yapımında kullanılan killerin harmanlanması ve homojenleştirilmesini gerektirmektedir (Çınar, 2006).

Bir kil yatağının işletilebilmesi için her şeyden önce ülke gereksinimleri ile dışsatım olanakları araştırılmalıdır. Araştırmalar sonunda işletmeye karar verilirse yatağın üzerindeki dekapaj miktarı, işletilebilir kil rezervi, gerekiyorsa cevher hazırlama giderleri ile işletme maliyetleri hesaplanır.

Bir kil minerali olan bentonitte cevher hazırlama giderleri özellikle CMC, soda vb. katkı maddelerinin miktarı ve fiyatlarıyla bu işlemin getirdiği harcamaları kapsar.

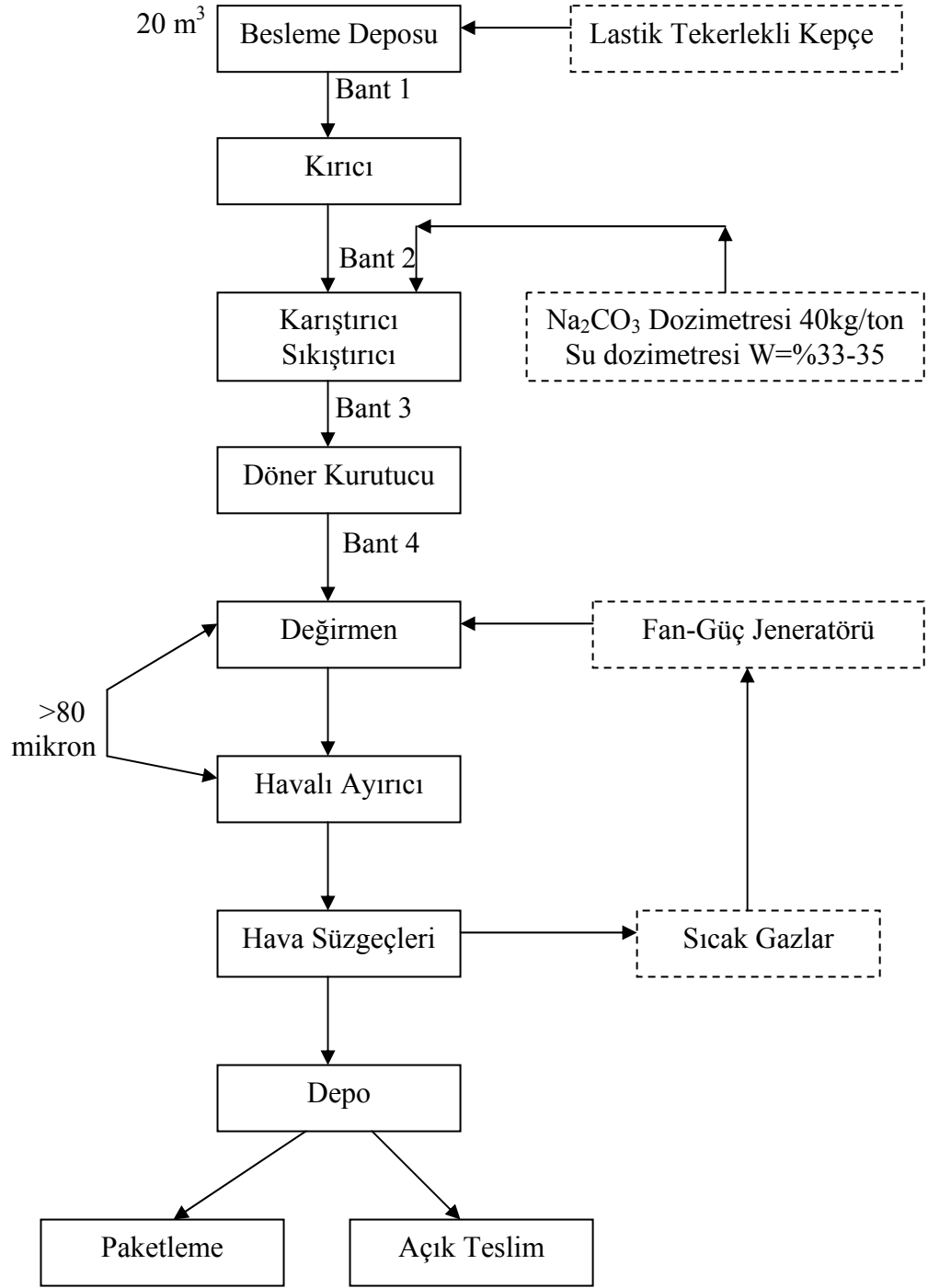
Kil yatakları hemen bütünüyle açık işletme yöntemiyle işletilir. İşletilecek blok üzerindeki örtü buldozer ve skreyperler ile kaldırılır. Örtüsü kaldırıldıktan sonra çeşitli büyüklükte işletme basamakları oluşturularak işletilir.

Kil yatakları işletilirken dikkat edilmesi gereken konular vardır. Örneğin, yağışlı mevsimlerde örtü gerecin yamaçlardan temiz kil üzerine gelmesini önlemek için kenarlarda 45 derecelik veya daha küçük açılı bir şev ile drenaj oluşturulmalıdır. Kil yatağının içinde sellerle açılıp örtü gereciyle doldurulmuş kanallar varsa belirlenmelidir. Yüzde ellinin üzerinde istenmeyen gereç içeren bentonit seviyeleri ayrılıp atılacak kısım olarak kabul edilebilir.

İşletme programında önce yatağın kaliteli bölümleri ele alınıp işletilmeli, daha sonra düşük kaliteli işletilebilir bölümlere geçilmelidir. Ancak örtü kazı oranları da göz önünde bulundurulmalıdır. Sınır tenörün üstündeki bölümler için ayrı ayrı ekonomik örtü kazı miktarları belirlendikten sonra, en fazla nakit alanı sağlayacak kısımlardan başlayarak daha az nakit alanı yaratan kısımlarına geçilir. Çünkü gelecekte sağlayacak karların bugünkü değerinin maksimum olması istenir.

Zenginleştirme sınır tenörü, değerlendirme aşamasındaki en önemli sorunlardan biridir. Zenginleştirme sınır tenörleri önceden belirlenememekte, ancak nakit akımları hesaplanarak sermayenin artan maliyetinin faiz oranına eşit bir faiz oranıyla indirgendiği zaman en yüksek bugünkü değeri veren seçenek optimum kabul edilmektedir (Akbulut, 1996).

Fransa'da kurulu 5 ton/saat kapasiteli bir bentonit işletme tesisinin akım şeması Şekil 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.7 : Fransa'daki Bentonit İşletme Tesisinin Akım Şeması (Rozes, 1981)

3. BENTONİT

3.1 Bentonitin Tanımı ve Özellikleri

Başlangıçta Wyoming’de (A.B.D.) Ford-Benton yakınlarında bulunmuştur. Koloidal özellik gösteren, plastisitesi yüksek olan bir kil çeşididir. A.B.D.’de bentonit adı altında tanınmıştır. Daha sonra Fransa’nın Montmorillon bölgesinde de aynı kil bulunduğu için bu kil mineraline montmorillonit adı verilmiştir. Bentonitle birlikte kuvars, mika, feldspat, pirit ve diğer bazı mineraller bulunur.

Bentonit en az %85 Montmorillonit (kimyasal formülü $Al_4 SiO_8 O_{20} (OH)_4 \cdot nH_2O$) içeren ince taneli, yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ olan yumuşak bir hammaddedir. Rengi beyaz, hafif sarı, sarı, bej, pembemsi, yeşilimsi sarı veya açık pembe olabilmektedir (İşcan, 1987).

Bentonit, volkanik orijinli kayaların devitrifikasyonu, bazen de asit volkanik kayaların hidrotermal alterasyonu ile oluşan ve iyon değiştirme özelliğine sahip, çok ince taneli bir malzemedir.

Bentonitler esas itibariyle suda hacimce şişen Na-bentonit ve bu özelliği daha az olan Ca-bentoniti olmak üzere iki kısma ayrılabilirler gibi, içerdikleri değişebilen katyonlara göre de gruplandırılırlar. Şişmeyen türler, değişebilen katyon olarak Ca iyonu içerirler.

Ca-bentonitlerinin bazıları doğal olarak aktiftirler, diğerleri ise asitle aktifleştirilebilmektedirler, bunlara “aktifleştirilmiş bentonit” denildiği gibi, Ca-iyonu nedeniyle Ca-bentoniti de denilmektedir. Ca-bentonitlerinin içerdiği Ca-iyonu, Na-iyonu ile değiştirilerek, Na-bentoniti haline getirilmektedir. Oluşturulan Na-bentoniti için, sentetik bentonit deyiimi kullanılmaktadır. Şişen tip bentonitlerde değişebilen katyon, Na-iyonudur. Bundan ötürü Na-bentoniti denilmektedir (Eruslu, 1993).

Ayrıca bentonitler şişme yeteneklerine ve işletildikleri yöre isimlerine göre sınıflandırılmaları yanında, istenen niteliklerini arttırmak için asit, soda, polimerler

vb. katkı maddeleriyle tepkimeye sokularak “katkılı bentonit” veya “aktif bentonit” biçiminde de sınıflandırılır.

Bentonitlere bazen volkanik kil, sabun kili, mineral sabunu, emme killeri ve ağartma toprakları denir. Özellikle A.B.D.’inde kullanılan bazı bentonit deyimleri aşağıda verilmiştir.

Subbentonit, orta-düşük şişme kapasiteli bentonitlere sanayide verilen isimdir.

Güney bentoniti, Meksika körfezi kıyılarında bulunan düşük şişme kapasiteli kalsiyum bentonitidir.

Batı bentoniti (hektorit), yüksek şişme özelliğine sahip lityumlu smektittir.

Potasyum bentonit (metabentonit), illit ve karışık katmanlı kil mineralleriyle çok az smektit içeren, hafifçe metamorfizma veya diyajenez geçirmiş olan killerdir.

Ağartma toprağı, emici ve renk giderici özelliğıyle yağların arıtılmasında, petrol rafinasyonunda ve diğer temizleme konularında kullanılan killere verilen isimdir.

Asit killer, kalsiyum bentonitlerin kalsiyumunun bir bölümü hidrojen iyonu tarafından ornatılmış olanlarıdır.

Organofilik bentonit, organik moleküllerle kaplanarak su itici özellik kazanmış bentonittir.

Beyaz bentonit, parlak beyaz kalsiyum bentonittir (Akbulut, 1996).

3.2 Bentonitin Mineralojisi

Bentonitin mineralojisi 3 kısımda incelenmektedir. Bunlar Dioktaedrik mineraller, Trioktaedrik mineraller ve Lifli yapıda olan minerallerdir. Bu minerallerin kimyasal formülleri ise:

a) Dioktaedrik mineraller

1. Montmorillonit..... $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
2. Beidellit..... $\text{Mg}_2\text{Al}_{10}\text{Si}_{24}\text{O}_{60}(\text{OH})_{12}[\text{NaCa}]$
3. Nontronit..... $\text{Fe}^{+3}\text{Si}_{22}\text{Al}_2(\text{OH})_{12}[\text{NaCa}]$

b) Trioktaedrik mineraller

4. Hektorit..... $\text{Li}_2\text{Mg}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{60}(\text{OH})_{12}[\text{Na}_2]$

5. Saponit..... $Mg_{18}Si_{22}Al_2O_{60}(OH)_{12}[Na_2]$

c) Lifli yapıda olan mineraller

6. Atapulgit (Paligorskit)..... $(OH_2)_4(OH)_2Mg_5Si_8O_{20}4H_2O$

7. Sepiyolit..... $(Si_{12})(Mg_9)O_{30}(OH)_6(OH_2)_46H_2O$

Bentonitin mineralleri X-ışını difraksiyonu ve Diferansiyel termik analiz yardımıyla belirlenebilirler. Bentonitteki esas kil minerali smektittir. Smektit terimi, bir grup adı olarak kullanılmaktadır. Hem sodyum hem de kalsiyum elementlerini kapsayan montmorillonit, bentonitte görülen smektit grubunun en yaygın bulunan üyesidir. Smektitlerin hidrotermal kararlılıkları 50°C'den 850°C'ye geniş bir sıcaklık aralığında değişir. Smektit hidrasyonunu kontrol eden faktörler; tabaka yükleri, tetrahedral ve oktahedral yerleşim konumları, ara tabaka katyonlarının karakterleri, dioktahedral veya trioktahedral karakter, kristal boyutu, Al, Si iyonlarının mevcut yapısal birimler üzerindeki yerleşimidir **(Eruslu ve diğ. 1993)**.

Bir magnezyum smektit olan saponit ve lityum ve magnezyum elementi içeren hektorit bazı bentonitlerde esas mineral olmaktadır.

Tüm kil minerallerinin, farklı iki yapıtaşından oluştuğu belirlenmiştir. Merkezinde silisyum iyonu, köşelerinde ise oksijen veya hidroksil iyonları bulunan birinci yapıtaşı, düzgün dörtyüzlü (tetrahedron) şeklindedir. Düzgün dörtyüzlülerin tabanları aynı düzlem üzerinde kalmak üzere, köşelerinden altılı halkalar vererek birleşmeleri ile tetrahedral tabakası (T) veya diğer bir adıyla silika tabakası oluşur.

Merkezinde alüminyum iyonu, köşelerinde ise oksijen veya hidroksil iyonları bulunan ikinci yapıtaşı, düzgün sekizyüzlü (oktahedral) şeklindedir. Düzgün sekizyüzlülerin birer yüzeyleri aynı düzlem üzerinde kalacak şekilde, köşelerinden birleşmesiyle oktahedral tabakası (O) veya diğer adıyla alümina tabakası oluşur.

İki silika tabakası arasına bir alümina tabakasının girmesiyle, montmorillonit mineralinin (TOT) şeklinde simgelenen birim katmanı oluşmuştur. İki silika tabakasındaki bazı tetrahedralların tepeleri, alümina tabakasındaki oktahedrallerin köşelerine, ortaklaşa kullanılan oksijen iyonlarıyla bağlanmıştır. Çok sayıda (TOT) birim katmanının birbirlerine paralel olarak üst üste istiflenmesi ile oluşan partiküllerdeki katmanlar arasında, su ve değişebilen katyonlar bulunmaktadır. Her bir katmanın kalınlığı, su miktarına bağlı olarak 9.6 Å ile 21,4 Å arasında

değişmektedir. Katmanlar arasındaki su ve değişebilen katyonlar göz önüne alınmadığı zaman, montmorillonit mineralinin birim hücresinin formülü $(OH)_4Al_4Si_8O_{20}$ şeklinde verilebilir.

Montmorillonit minerali için tanımlanan (TOT) katmanlarındaki Si^{+4} iyonlarının bir kısmı yerine daha küçük yükseltgenme basamağındaki (Mg^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} ve Li^{+} gibi) iyonların gelmesiyle illit adı verilen ve genel formülü $(OH)_4K_y(Al_4.Fe_4.Mg_4.Mg_6)(Si_{8-y}.Al_y)O_{20}$ olan kil minerali oluşmuştur. İllit mineralinin birim katmanının kalınlığı 10 Å kadardır (Eruslu ve diğ. 1993).

3.3 Bentonitin Oluşumu

Volkanik orijinli kayaçlar, bazı durumlarda önemli miktarda cam içerirler. Bu camlar hidrotermal etkilerle ve altere olmaya, kristal silikatlardan daha uygun düşerler ve genellikle belli başlı kil formasyonlarını oluştururlar. Volkanik camların belli başlı kil formasyonlarına dönüşümü üç şekilde oluşur. Bunlar:

- a) Volkanik gazların hidrotermal etkisi ile;
- b) Sedimenter basenlerin sulu çevrelerindeki tuf ve volkanik küllerin dönüşümü ile;
- c) Volkanik küllerin ve tüflerin hava koşulları ile dönmesi sonucu;

Bu üç oluşum şekli sahada kolayca ayırt edilemez. Bununla beraber, birbirleri ile de karıştırılmaması gerekir.

Volkan küllerinin deniz veya göl basenlerinde tam dönüşüme uğramaları, sedimenter olarak bentonit yataklarını meydana getirmiştir. Akdeniz bölgesinde Vezüv, Fas'daki Berto Kampı ve Sicilya civarındaki yataklar bu şekilde oluşmuşlardır. Bunlardan bazıları Miyosen, bazıları ise Pliyosen göllerinde oluşmuştur. Bu oluşumları esnasında illite dönüşümler görülmektedir. Pensilvanya ve İskandinav bentonitleri bu biçimde oluşmuş potasyum içeren bentonitlerdir.

Volkan külleri, dış hava-atmosferin koşulları ile de montmorillonite dönüşmektedir. Çevre koşullarına bağlı olarak, bu biçim dönüşüm devam ederek, kaolinit, daha sonra da boksit kadar ulaşır. Tuf şeklindeki camlarda bu tür dönüşüm hızla oluşur.

Asit ortamlarda feldispatların kaolinazasyonu, alkalilerin iyonlaşmasına yol açarak, pH'da yükselme olur ve bunun sonucu olarak, kaolinitin yanında montmorillonitler de oluşur. Kaolinitten oluşan bazı killerde rastlanan montmorillonitlerin kökeni

buradan çıkmaktadır. Oluşum koşulları uygun olduğu zaman, filon ve damarlar halinde yataklanma meydana gelir. Bundan başka bazen de asit hidrotermal solüsyonlar, asit ve bazik kayaç kontaklarında yükseliyorsa kaolen ve bentonit yatakları yan yana teşekkül edebilir. Bu nedenlerle bentonitten oluşan taşınmış killerde kil minerali olarak montmorillonit, kaolinit, bir miktar halozit ve alofan bulunur. Diğer mineraller kuvars, potasyum feldspat, plajiolaz, muskovit, zirkon, turmalin, magnetit, glokonit ve klorit gibi minerallerdir. Jips kristalleri, opal, limonit, pirit, zeolit, organik parçalar, diatom fosillerine de az miktarda rastlanabilir (Erdinç, 1976).

3.4 Bentonitin Karakteristik Özellikleri

Bentonitin fiziksel özellikleri ile tanınması, kimyasal bileşimi ile tanınmasından daha hızlı ve pratik uygulama sağlamaktadır.

3.4.1 Tabii Şekli

Tabii ve ham şekliyle bentonit, yumuşak, kaolin kıvamında bir kayadır. Kırılmaya elverişli, ele yumuşak ve yağlı bir izlenim vermektedir (Eruslu ve diğ. 1993).

3.4.2 Tane Boyutu ve Rengi

Taneleri son derece incedir. Partiküllerin incelik ve hassasiyeti, kullanımında ve özellikle kolloidal süspansiyonların meydana gelişinde büyük rol oynamaktadır.

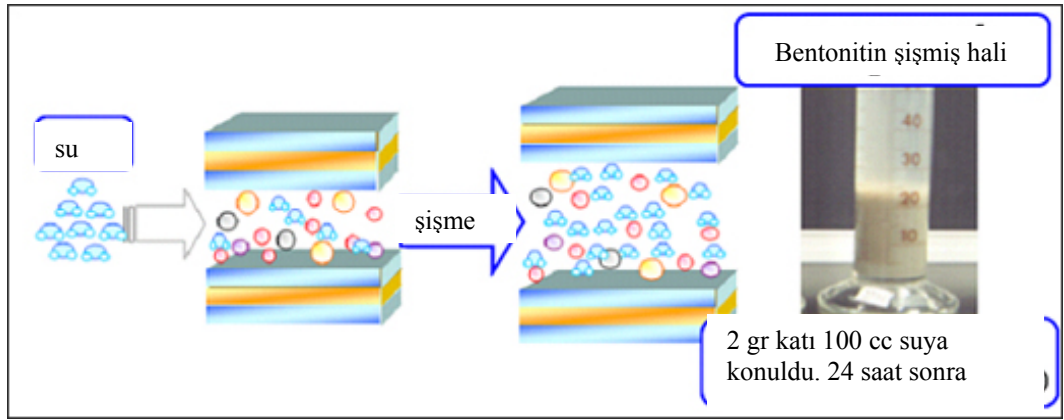
Mineral içeriklerine bağlı olarak doğal bentonitlerin rengine demir iyonunun etkisi vardır. Demir iyonunun valans durumu bu renk değişimine neden olur. Ayrıca demirin hidroksitleri de bu açıdan etkilidir. Bentonit yatağında bulunan diğer organik maddeler de renk değişimine neden olurlar. Pirit'ten gelen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

3.4.3 Özgöl Ağırlık

Kuru bentonitin özgül ağırlığı, belirli orantıda kalite ve kökenine göre 2,5-2,8 gr/cm³ arasında değişiklik gösterir. Toz haline getirilen benzeri ürünlerdeyse, hissedilecek kadar düşer ve 1,6-1,8 gr/cm³ seviyesini gösterir (Eruslu ve diğ. 1993).

3.4.4 Bentonitin Şişmesi

Smektitler ve onları ana kil minerali olarak içeren bentonitlerin şişmesi ve dağılması 2:1 tabakaları arasındaki katyonların türü ve miktarı ile yakından ilgilidir (Sarıkaya ve diğ. 2001). Şekil 3.1’de bentonitin şişmesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Bentonitin Şişmesi

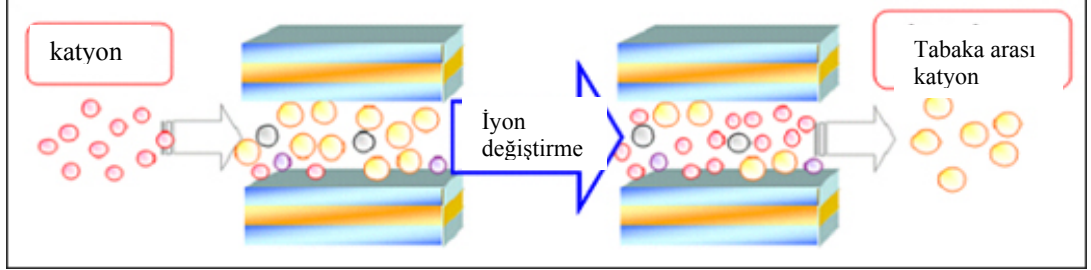
Smektitlerin 2:1 tabakaları arasında doğal olarak genellikle Na⁺ ve Ca⁺² katyonları bulunmaktadır. Na⁺/Ca⁺² eş molar oranı yükseldikçe smektitlerin şişmesi artmaktadır. Sınır hallerinde saf sodyum smektit (NaS) ve saf kalsiyum smektitten (CaS) söz edilmektedir. NaS’ler sonsuz ömürlü sulu süspansiyonlar verdiği halde CaS’ler sulu süspansiyonlarından hemen çökmektedirler. İnorganik ya da organik her türden katyon ile yer değiştirebildiklerinden dolayı tabakalar arasındaki katyonlara değişebilen katyonlar denir (Erdinç, 1976).

Bentonit değişebilir katyon olarak çok değerlikli katyona sahip olduğunda çok fazla şişmez. Bunun nedeni katyon ve silikat tabakaları arasındaki çekme kuvvetinin iyon hidrasyonunun itici etkisinden daha baskın olmasından kaynaklanmaktadır.

3.4.5 Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi

Montmorillonitteki tetrahedral katmanında Si⁺⁴’ün yerini Al⁺³; oktahedral katmanında Al⁺³’ün yerini de Mg⁺², Fe⁺², Zn⁺² ve Li⁺ alabilmektedir. Bu katyon değişimi tetraeder diziliminde çok az olmasına karşın oktahedralde önemli ölçüdedir.

Kasyon değişimleri sonunda artı yük eksikliği ortaya çıkar. Artı yük eksikliği Na^+ , K^+ , Li^+ ve Ca^{+2} iyonlarının birim aralarındaki su katmanından kristal kafesine bağlanmalarıyla giderilir. şekil 3.2’de montmorillonitin kasyon değişirmesi şematik olarak gösterilmektedir.



şekil 3.2 : Montmorillonitin Kasyon Değişirmesi

Kasyon değişirme kapasitesi 100 gram kilin adsorbe ettiği kasyonların miliekivalent (meq) sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Kasyon değişirme kapasitesi K.D.K sembolüyle gösterilir ve meq/ 100 gram birimi ile ifade edilmektedir. Bentonit için kasyon değişirme kapasitesi 80-150meq/ 100gr arasında değişmektedir (**Akbulut, 1996**).

DTA ve X-ışını ile yapılan araştırmalar değişebilir kasyonların montmorillonit birimleri arasında yerleştiğini gösterir. Tane iriliğinin azalması (yüzey artışı) ve öğütme (kırılan bağların artışı) kasyon değişim kapasitesini yükseltirken sıcaklık artışı bu kapasiteyi ters yönde ve gelişigüzel etkiler. Bentonitte yüksek değerli iyonların bulunması, ornatılmalarını güçleştirir. İyonun yük değeri arttıkça ornatma gücü de artmaktadır, ancak H bu kuralın dışında kalmaktadır. H iyonu ornatma olaylarında +2 veya +3 değerlikli kasyonlar gibi hareket etmektedir. Araştırmalar, iyon çapı büyüdükçe iyonlar arasında yer değiştirmenin kolaylaştığını göstermektedir (**Akbulut, 1996**).

3.5 Bentonitin Aktivasyonu

Bentonit oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olup bu durum bentonitin kullanım amacına uygun olarak bazı teknolojik işlemlere tabi tutulmasından kaynaklanmaktadır.

3.5.1 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 (aratip) bentonitlere uygulanmaktadır.

3.5.2 Karboksil Metil Selüloz (CMC) ile Aktivasyonu

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

3.5.3 Asitle Aktivasyon

Yemeklik yağların renginin giderilmesinde kullanılan doğal bentonitlerin ağartma gücü genelde düşüktür. Bu nedenle özellikle Ca-bentonitler asit ile aktifleştirilerek ağartma gücü artırılır ve yağ sanayinde kullanılır. Killerin asitle aktifleştirilmesi kilin kristal yapısında bulunan 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 minerallerinin (montmorillonitin) sahip olduğu özelliklerinin mineralin tabakalı kristal yapısını bozmadan artırılması işlemidir.

3.5.4 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 geniş bir çeşitliliğe sahip olması nedeni ile çok farklı özelliklerde organik killere elde edilmektedir (Çinku ve Bilge, 2001).

3.6 Önemli Bentonit Yatakları

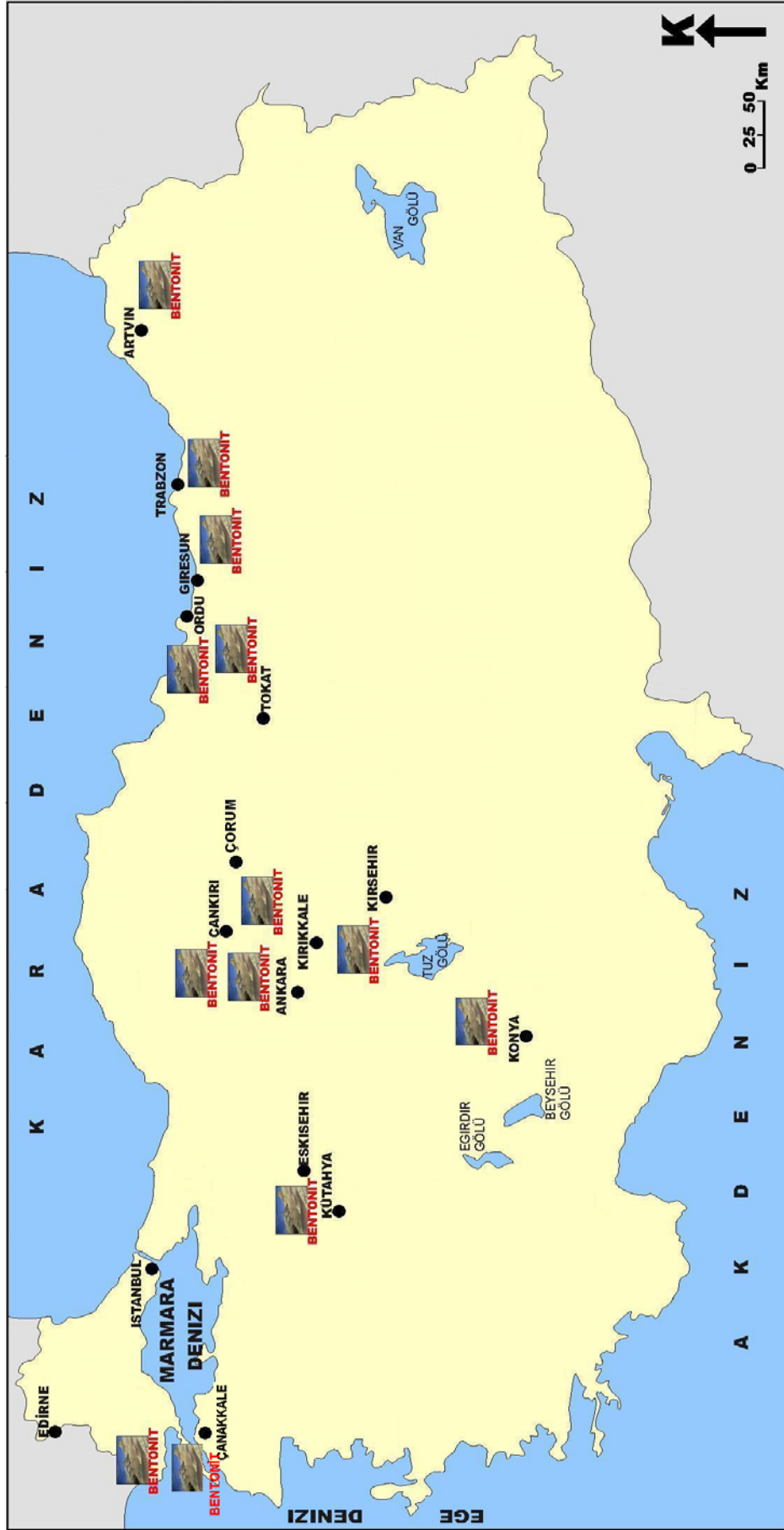
Dünyanın en önemli bentonit yatakları A.B.D, Rusya, Yunanistan, Almanya, Japonya, İtalya, İspanya ve İngiltere’de bulunmaktadır. Türkiye’nin en önemli bentonit yatakları Çanakkale, Edirne, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çankırı, Konya, Çorum, Tokat ve Ordu illerinde bulunmaktadır. Bunlardan sondaj bentoniti bakımından verimli yataklar Ankara ve Tokat’ta; döküm bentoniti yatakları Çankırı, Çorum, Çanakkale’de; kağıt ve deterjan ile yağların ağartılmasında uygun bentonitler ise Edirne, Ordu, Balıkesir, Kütahya ve Eskişehir’dedir. Türkiye’nin önemli bentonit yatakları Şekil 3.3’te verilmiştir.

Türkiye’nin toplam potansiyel bentonit rezervi 2000 yılı itibari ile 280.800.000 ton’dur. En büyük rezervler toplam 200.000.000 ton ile Tokat Reşadiye-Akdoğan-Kaşpınar civarındadır. Bunu 50.000.000 ton ile Edirne-Enez izlemektedir. Çankırı bölgesinin rezervi ise 1.450.000 tondur (Günister, 2004).

Türkiye’deki ekonomik bentonit yatakları, başlıca kullanım alanlarına göre aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Sondaj bentoniti
- Döküm bentoniti
- Ağartma toprağı
- Beyaz bentonit veya deterjan bentoniti

Sondaj bentoniti: Tokat-Reşadiye (Akdoğan, Kaşpınar, Köryakup ve İbrahimşeyh yatakları), Çankırı-Eldivan (Küçükacıbey, Büyükacıbey yatakları), Çankırı-İlgaz (Kızılibrik yatağı), Ankara-Kalecik (Hançlı yatağı), Çankırı-Kurşunlu (Beşpınar yatağı), Çorum-Sungurlu (Karaçay ve İmirli yatakları).



Şekil 3.3 : Türkiye'nin Önemli Bentonit Yatakları (Çinku, 2007)

Döküm bentoniti: Ankara-Kalecik (Hançlı yatağı), Çanakkale-Ayvacık (Ahmetçe yatağı), Çankırı-Ilgaz (Kızılbrik yatağı), Çankırı-Eldivan (Küçükacıbey ve Büyükhacıbey yatakları), Çorum-Sungurlu (Karaçay ve İmirli yatakları), soda ile aktiflendirilmiş olarak da Malatya-Arguvan (Mineyik yatağı), Elazığ-Yalnızköy yatağı, Malatya-Fethiye (Tenci yatağı), Malatya (Kiltepe yatağı).

Ağartma toprağı: Doğal ve asit ile aktiflendirmeye uygun nitelikte, Ankara-Kalecik (Hançlı köyü), Ankara-Keskin, Ankara-Çamlıdere (Çeltikli ve Peçenek yatakları), Çanakkale-Bayramiç (Kurşunlu yatağı), Çankırı-Eldivan (Küçükacıbey ve Büyükhacıbey yatakları), Çankırı-Ilgaz (Kızılbrik yatağı), Çankırı-Çerkeş (Bayındır yatağı), Çorum-Sungurlu(Karaçay ve İmirli yatakları), Edirne-Enez, Eskişehir-Mihalıççık, Giresun-Tirebolu (Demirciler yatağı), İstanbul-Şile (Kızılca yatağı), Konya-Çumra (Çomaklar), Konya-Seydişehir (Dülger Kışlası ve Helaloğlu Yaylası yatakları), Kütahya-Başören, Ordu-Fatsa, Ordu-Ünye, Tokat-Reşadiye (Bağdatlı yatağı), Malatya-Tabrikan Köyü, Malatya-Arguvan (Karahüyük ve Mineyik yatakları), Malatya-Darıca, Malatya-Akçadağı (Bükreş ve Mescitköy yatakları), Malatya-Arapkir.

Deterjan bentoniti: Deterjan ve kağıt üretimine uygun nitelikte ağartma toprakları Balıkesir'in Kepsut, Ordu'nun Ünye ve Fatsa ilçeleri, Kütahya'nın Başören ilçesi çevresinde bulunmaktadır. Bunlar beyaz veya krem renkli Ca-bentonitleridir (Akbulut, 1996).

3.7 Bentonitin Kullanım Alanları

3.7.1 Bentonitin Ağartma Toprağında Kullanımı

Az veya çok her kilin bir ağartma gücü vardır. Ağartma gücü yüksek olan killeri fuller toprakları ve bentonitler olarak iki ana grupta toplanabilmektedir. Ağartmada kullanılan bentonitler % 75 veya daha fazla şişmeyen montmorillonit minerali içeren killerdir. İçlerinde az da olsa diğer kil mineralleri yanında kil olmayan mineralleri de safsızlık olarak içeren bentonitler ancak asit ile aktiveştirildikten sonra ağartma toprağı olarak kullanılabilirler. Bu tür bentonitlerin asit ile işlenmeden yalnızca biraz ısıtılıp öğütülerek ağartma toprağı olarak kullanılması iyi sonuç vermemektedir. İşlenen bentonitin mineralojik ve kimyasal bileşimi yanında uygulanan aktivasyon işlemi, yüzey asitliği ya da pH, ağartmadaki kil yüzdesi, özgül yüzey alanı, özgül

gözenek hacmi, gözenek boyut dağılımı, partikül boyutu dağılımı, yağın türü, yağın ilk rengi ve renk veren maddelerin kimyasal yapıları optimum koşulların saptanmasında belirlenmesi gereken ağartma değişkenleri olarak sıralanabilir. Bu değişkenler kimyasal analiz, DTA, XRD, IR, adsorpsiyon ve benzeri yöntemler yardımıyla belirlenir (**Sarıkaya ve diğ. 1985**).

Ağartma uygulaması ise şu şekilde yapılmaktadır, İşlem bitkisel yağ üretiminde asit giderilmesinden sonra gerçekleştirilir. Ağartıcı toprak ile yağ birlikte 20-30 dakika karıştırıldıktan sonra işlem 90-132°C’de kesikli veya kesiksiz sistemde oksijensiz ortamda gerçekleştirilir. Katılacak toprak miktarı büyük ölçüde ağartılmak istenen yağın rengi ile ilişkilidir. Ağartma süresi sonunda karışım filtreden geçirilerek yağ berraklaştırılır (**Pasin ve Acar, 1985**).

3.7.2 Bentonitin İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanımı

Bentonit ilaç ve kozmetik üretiminde süspanse edici ve viskozite artırıcı, adsorban, emülsiyon stabilizatörü vb. amaçlarla kullanılır. Bentonitin fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1’e uygun olmalıdır (**TSE 10252, 1992**).

Tablo 3.1 : Bentonitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Özellik	Değerler
pH	9,5-10,5
Kurutmada kayıp, kütlece, %	5,0-12,0
Sedimentasyon işlemi sonunda üstteki berrak sıvı kısmının hacmi, en çok, ml	2
Şişme hacmi, en az, ml	22
Jel oluşturma, üstteki sıvının hacmi, en çok, ml	2
Partikül büyüklüğü	Parmakla ovulduğunda herhangi bir partikül hissedilmemelidir
Ağır metal miktarı, en çok, ml	50
Arsenik miktarı, en çok, ml	2

3.7.3 Temizlik Maddelerinde Bentonit Kullanımı ve Aranılan Özellikler

Bentonit, yağları emme özelliğinden dolayı temizleme maddelerin yapımında kullanılır. Kolloidal bentonit süspansiyon yüzey gerilimini azalttığından sabunun daha iyi dağılıp köpürmesini sağlar. Bentonit emülsiyon yeteneğiyle yağ asidini kısmen ornattığı, karbon tanecikleri çektiği için ve deterjan etkisi nedeniyle sabun yapımında kullanılır.

Temizlik maddesi yapımında kullanılacak bentonit, beyaz olmalı, on katı ağırlında su ile karıştırılınca viskoz bir eriyik oluşturmali, 120 mesh elek altı en az %98, 240 mesh elek altı en az %90, 100°C’de kurutulunca ağırlık kaybı en çok %15, pH (%24 süspansiyon) 8-9, sıkıştırılmış yoğunluğu en az 0.85 olmalıdır (**Özkan ve Erkalfa, 1977**).

3.7.4 Petrol Rafinasyonunda Bentonit Kullanımı

Ağır petrol bölümlerinin katalitik parçalanarak ince petrol ürünlerinin elde edilmesinde kullanılacak bentonit asitle aktifleştirilip yıkandıktan sonra istenen incelikte öğütölür. Isıya dayanıklılığını artırmak için 500-600°C’de kalsine edilir. Kataliz olarak kullanılacak bentonitin fazla demiri varsa oda sıcaklığında HCl ile yıkanarak demir miktarı %0.15’e kadar azaltılabilir (**Grim, 1962**). Katalist olarak Ca bentonit kullanılmaktadır. Aktiflendirilmiş Ca bentonit özellikle fenollerin alkilleştirilmesi (çembersel olmayan, düz hidrokarbonlarla doyunlaştırılması) sırasında çeşitli Friedel Crafts tepkimelerini kataliz etmede, dehidrasyon çevrimleşme, izomerleşme ve polimerleşmeyi artırmada kullanılır (**Roskill, 1979**). Petrol rafinasyonunda kullanılacak bentonit çok az demir içermelidir. Ham petrol buharları 425-500°C derecede saf Ca montmorillonit ile 6-20 saniye süreyle tepkimeye sokulur. Petrol rafinasyonu için bentonit spesifikasyonları tam olarak bilinmemekte beraber, son derece düşük demir içerikli safa yakın Ca montmorillonit olması gerekmektedir.

3.7.5 Kağıt Sanayiinde Bentonit Kullanımı

Kağıt sanayiinde kullanılacak bentonit, sodyumlu, kuvarssız ve ince taneli olmalıdır. Kağıt hamuruna %1 oranında katılan bentonit dolgu, pigment, reçine ve balmumunun hamur içinde homojen dağıtılması gibi işlevler görür. Ayrıca eski

gazete kağıtlarının yeniden işlenmesinde mürekkep çekme özelliğinden yararlanılır (Grim ve Güven, 1978).

Türkiye’de kağıt sanayiinde kullanılacak bentonitler için Türk Standardları enstitüsünün TS-11441 numaralı standardı baz alınmıştır. Gelişmiş ülkelerde, kağıt üretiminde uzun yıllardan beri dolgu maddesi olarak kalsitin yerine, modifiye bentonitler de kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılacak bentonitlerin beyazlık derecesinin ISO 85’in üzerinde olması, yüksek şişme özelliğine sahip olması, serbest yığın yoğunluğunun (bulk) ise 0.2-0.3 kg/l değerlerinde olması gerekmektedir. Ayrıca bentonitin kademeli olarak 200°C’de kalsine edilmiş olması da gerekmektedir (Grim, 1978, TSE 11441, 1994).

3.7.6 Boya Sanayiinde Bentonit Kullanımı

Sodyum bentonitler sürekli süspansiyon oluşturabilme özelliğine sahip olduklarından boya, emaye ve mürekkeplere katılmaktadır. Sulu boya ve badanalarda istenilen viskoziteyi sağlamak için tebeşirle birlikte 20 kısım bentonit karıştırılarak kullanılır. Yağlı boyalarda süspansiyon özelliği artırmak için %5 bentonit katılır.

3.7.7 Lastik Sanayiinde Bentonitin Kullanımı

Bu sanayiinde bentonit gibi nötr maddelere dolgu malzemesi olarak ihtiyaç duyulmaktadır.

Lastik sanayiinde kullanılacak bentonitin ince taneli olması, su ile jel ve kolloidal süspansiyon meydana getirmesi, koyulaştırma ve dehidratasyon etkilerinden yararlanılmaktadır. Kalınlaştırıcı ve stabilize edici olarak latex’e ilave edilir, viskoziteyi artırır. Bentonit tüm bu özellikleri nedeni ile, lastik esaslı çeşitli tozlardan yapılan süspansiyonların hazırlanmasında kullanılır (Çinku, 1999).

3.7.8 Absorban (Kedi Kumu) Olarak Bentonitin Kullanımı

Kedi kumu olarak kullanılan killer yüksek ağırlıklı killer (bentonit) ve düşük ağırlıklı killer (sepiyolit, attapulgit) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sektörde daha çok düşük ağırlıklı killer kullanılmakla beraber bentonitin payı da %25 kadardır. Absorban olarak kullanılacak kilin absorpsiyon kapasitesi yüksek, uflanma oranı düşük ve 1-6 mm arasında granül boyutuna sahip olması gerekmektedir (Çinku, 1999).

3.7.9 Nem Alıcı Kil Üretiminde

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

Yüksek nem alma özelliği ve ucuz olması nedeniyle Ca-bentonitler desikant kil olarak kullanılan killer arasında ilk sırada gelmektedir. Desikant kil nakliye ve depolama işlemleri sırasında özellikle elektronik ve neme hassas (elektrik devreleri, elektronik eşyalar, askeri destek ekipmanları, makina parçaları, motorlar, ilaç ve tıbbi malzemeler, deri ürünler ve spor malzemeleri) malzemelerin paketlerinde nem kontrolü için kullanılır.

3.7.10 Atık Suların Temizlenmesinde, Atık Barajlarında ve Yapı Sanayiinde Kullanımı

Şişme oranı düşük olan Ca-bentonitler çeşitli atık barajlarında zemin astarı (dolgu) olarak kullanılmaktadır. Atık barajlarında iyi bir sızdırmazlık sağlamak amacıyla kullanılan jeomembranların (çeşitli jeotekstil ürünlerinin) imalatında da bentonit kullanılmaktadır. Ayrıca atık suların temizlenmesinde de bentonit kullanımı söz konusudur (Çinku, 1999).

3.7.11 Hayvan Yemi Sanayiinde

Hayvan yemi sanayiinde 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, büyümeyi hızlandırmak ve hayvan dışkılarının kötü kokularını gidermek amacıyla yapılmaktadır. Hayvan yemine bentonit ilavesi, yemlerin sindirimini kolaylaştırmakta, sulu yemlerdeki yüksek konsantrasyonlu amonyumun toksik etkisini azaltmakta, yemin tüketilme hızını azaltarak besinlerin daha kolay özümlemesini sağlamaktadır. Hayvan yemi katkı maddesi olarak sodyum bentonit kullanılmaktadır. Katkı miktarı ise %1-1.5 arasında değişerek bu ilave sayesinde tavuk ve benzeri hayvanlarda, canlı ağırlıkta %35 artış, yumurta veriminde ise %15'lik artışlar oluşturmaktadır (Çinku, 1999).

3.7.12 Döküm Kumu ve Peletlemede Bentonitin Kullanımı

Bentonit koloidal özelliği ve plastisitesi nedeniyle dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcılık özelliği kazandırır. Kalıp kumlarına %2-50 arasında değişik oranlarında bentonit katılır. Bu alanda kullanılan bentonitte aranan en önemli özellik minimum kille yüksek bağlama mukavemeti ve kum kalıplarında yüksek gaz geçirgenliği sağlamasıdır. Türkiye’de döküm kumu nitelikte bentonitler için Türk Standardları Enstitüsünün TS-5360 standardı kullanılmaktadır (Akbulut, 1996, TSE 5360, 1996, Çinku, 1999).

3.7.13 Sondaj Alanında Bentonitin Kullanımı

Belirli bir viskozite elde edilene kadar su ile karıştırılan bentonit ile elde edilen sondaj çamurunun akış özellikleri, su kaybı ve ağırlığı oldukça önemli parametrelerdir. Bentonit derin kuyu, petrol ve su sondajları sırasında matkap uçlarını ve borularını soğutma ve yağlama görevini yapar ve sondaj kırıntılarının yeryüzüne çıkmasını sağlar.

Sondajda kullanılacak bentonit için Türk Standardlar Enstitüsünün TS 977 standardı kullanılmaktadır (Çinku, 2001, TSE 977, 1993).

3.7.14 Çimento Sanayiinde Bentonitin Kullanımı

Çimentoya %1 oranında katılan bentonit, beton ve harçların plastik özelliğini ve çakıl ile kumun homojen dağılımını sağlayıp dayanımını artırır. Madeni yağlarla karıştırılmış bentonit çimentoda dolgu maddesi olarak kullanılır ve su geçirmez.

3.7.15 İnşaat Mühendisliğinde Bentonit Kullanımı

İnşaat dalında kullanılan bentonitlerin fiziksel özelliklerinin iyi bilinmesi inşaat mühendislerince önem taşır. Bu alanda kullanılan bentonitin çok ince taneli, plastikliğinin ve tiksotropisinin yüksek olması gerekmektedir. Bentonitin geçirgenliği önleme özelliklerinden yararlanılarak baraj ve gölet inşaatlarında, heyelan önleme yapılarının inşaatında, sızdırmazlık perdesi inşaatında, tünellerin yapımında, kazı şevleri ile bina temellerinin desteklenmesinde ve köprü, üst geçit ayaklarının inşaatında “diyafram duvarları” oluşturmada kullanılmaktadır. Diyafram duvarları, bentonit bulamaçlı duvarlardır. Bentonit bulamacı 30-40 kg bentonit, 80-350 kg çimento ve 850-900 kg su karışımı ile hazırlanır. Kil çimento bulamaçlarında

süspansiyondaki toplam çökelti miktarı hacımsel olarak %4.5'ten fazla olmamalıdır. Plastik viskozitesi 10-20 cp, birim hacim ağırlık 1,03-1,20 gr/cm³ olmalıdır (Sağlamer ve İncecik, 1985).

3.7.16 Gıda Sanayiinde Bentonit Kullanımı

Un ve undan yapılan gıdalarda %0,025-1,25 oranlarında karıştırılan bentonit bayatlamayı geciktirici rol oynar. Bira, şarap ve meyve sularının berraklaştırılması dışında bazı sütlere karışmış kanserojen Aflatoksin M1'in süttten uzaklaştırılmasında da bentonit kullanılmaktadır.

4 BENTONİTİN NEM ALICI (DESİKANT) OLARAK KULLANILMASI

Killerin, özellikle smektit ve sepiyolit grubunda yer alan killerin nem alıcı (desiccant) üretiminde kullanıldığı bilinmektedir. Bu amaçla yeterince nem alamayan killere çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve nem tutma kabiliyetleri artırılmaktadır. Bu modifiye işleminde kile ısı aktivasyonu uygulanmakta ve çeşitli nem alıcı maddeler ilave edilmektedir. Bu nem alıcı maddeler; $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , CaCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 , aktif Al_2O_3 , MgCl_2 , NaCl , LiCl ve odun talaşı olabilmektedir.

Killer nem adsorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Smektit (Na ve Ca bentonitler), sepiyolit, atapuljit ve ağartma toprağı en yaygın kullanılan adsorban killerdir. Ucuzluğu nedeniyle ve nem alma özelliğı açısından Ca bentonitler adsorban olarak kullanılan killere arasında ilk sırayı almaktadır. Paketlemede nem kontrolü için en uygun bentonit cinsi, az miktarda oktahedral demir ve %5'ten fazla MgO içeren montmorillonittir (Bates ve diğ. 1983).

4.1 Nem Hakkında Genel Bilgi

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

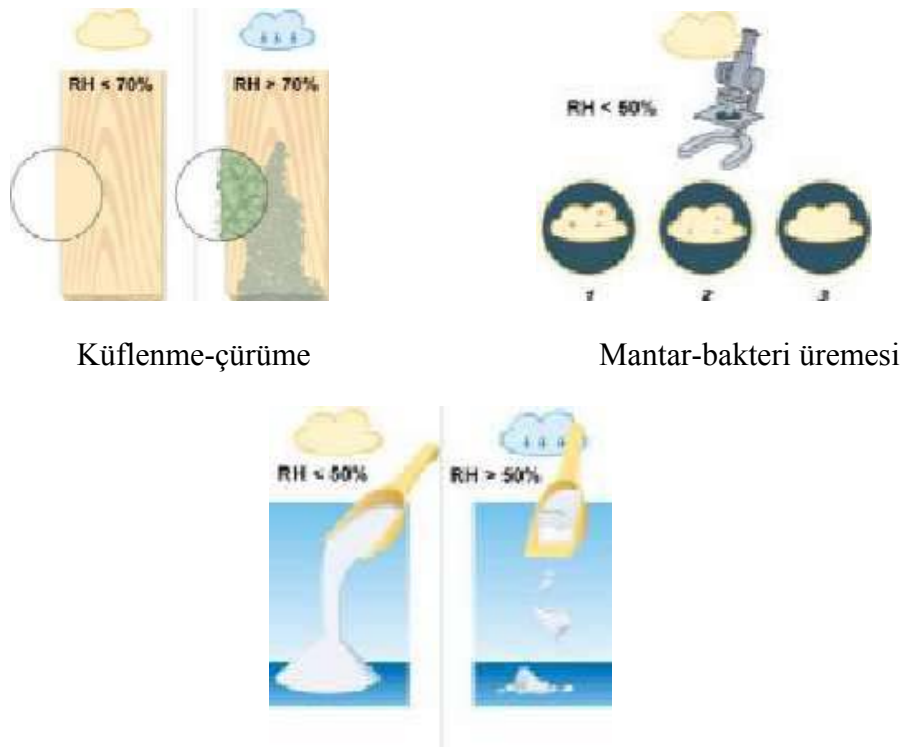
Bağılı nem yüzde olarak ifade edilir. Havada bulunması muhtemel su buharı miktarı, temel olarak hava sıcaklığının bir fonksiyonudur. Sıcak hava, soğuk havaya oranla daha fazla nem içerir. Doyma noktasına ulaşan havanın bağılı nemi %100'dür (Coşkun, 2003).

Madde ve eşya üzerinde tahrip edici etkiye sahip olan yüksek nem, insan sağlığı ve canlı yaşamda da olumsuz etkilere sahiptir. Yüksek nemli ortamlarda yaşamak zorunda kalan insanlarda nefes alma zorluğu, astım, üst solunum yolları

enfeksiyonları, romatizma-eklem hastalıkları ve kalp-damar rahatsızlıkları adeta kaçınılmaz olmaktadır. Bu nedenlerle, hem insan sağlığı adına hem de eşyanın korunması adına nem kontrolü ve kurutma yapılması gerekir. Özellikle barajlarda, pompa istasyonlarında, türbin ve kazan dairelerinde, gemi ambalajlarında, askeri malzeme depolarında, ilaç-kağıt-cam-kimya-silah-gemi inşa ve bakım plastik-mobilya sanayinde, meşrubat, elektronik ve inşaat endüstrisinde paslanma ve korozyona karşı nem kontrolü yapılması zorunludur **(Rahle, 2006)**.

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

Aşağıda bazı yüksek nem etkileri gösterilmiştir. Aşağıda görülen ahşap ve kumaş depoları gibi bazı uygulamalarda yalnızca desikant (nem alıcılar) kullanılarak güvenli depolama ortamları yaratılabilir **(Rahle, 2006)**.



Şekil. 4.1 : Maddelerin Nem Alıp Bozulması

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

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

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

Uzaklaştırılması gereken nem ve suyun miktarı belirlenirken bu nemlilikten korunması gereken ürünün cinsi de göz önünde bulundurulmaktadır. Kargo içerisindeki koşulların belirlenip nem oranının ürün çeşidine göre istenilen oranda tutulması ürünlerdeki olası zarar ve bozulmaların engellemesini sağlamaktadır.

Bu durum;

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

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

Konteynıra yüklenen malların bünyelerindeki su miktarı; malın cinsine yani malzemenin higroskopik kapasitesine bağlıdır. Ilık bir havaya oranla tropikal bir havada yüklenen malda daha fazla nem olacağı açıktır. Mesela 5 tonluk mobilya yüklü bir konteynırda, mobilya bünyesinde ağırlığının %8-25’i oranında nem

barındırabilmektedir. Bu 400 ile 1250 litre suya eşdeğerdir. Bu nem gerekli koşullar oluştuğunda konteynır içerisindeki havaya karışacaktır.

Konteynır içerisindeki havada bulunan nem ve su buharı; 20'lik bir konteynırın iç hacmi yaklaşık olarak $33m^3$ 'tür. $32^{\circ}C$ 'de bir tropik Asya havasının %90 nem oranına sahip $1m^3$ 'ünde yaklaşık 33 gram su bulunmaktadır. Aynı sıcaklıkta %55 relatif nemine sahip havanın metreküpünde 28 gram su bulunurken, buna zıt olarak $0^{\circ}C$ 'lik $1m^3$ %100 relatif nemine sahip Avrupa havasında 28 gram su bulunmaktadır. Yani farklı iklim koşullarında yüklenmiş konteynırlar bünyelerinde farklı miktarda nem tutmaktadır. Taşımacılık sırasında değişken hava ısıları bu nemin yoğunlaşması ya da tekrar havaya karışmasında etkili olmaktadır. Yani konteynır içerisindeki havada bulunan nem yoğunlaşarak, konteynır içerisindeki yüzeylerde yoğunlaşmaktadır. Bu durum deniz aşırı taşımacılıkta malın güvenliği açısından istenmemektedir.

Yukarıda önemi ve tarihçesi açıklanan nem gidericiler savaş arasında yaşanan zorlukların arkasından araştırılıp geliştirilmiştir. O zamandan beri nitelik ve nicelik olarak gelişmiş ve çok çeşitlenmiştir. Bugün dünyada çok sayıda farklı nem alıcılar üretilmektedir. Nem alıcılar kil gibi doğal doğal malzemelerden ya da sentetik yolla üretilmektedir.

4.2 Nem Alıcılar ve Genel Özellikleri

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

Desikant nem almada esas parametre, nemli havanın içinde bulunan su buharı molekül veya zerreciklerinin çok geniş iç yüzeylere sahip adsorbent-taşıyıcı maddelerin labirentlerinde yakalanarak, nemli havanın dışına çıkarılmasıdır. Bu işlemin gerçekleştirilmesindeki en önemli unsur, desikant maddenin mikro düzeyde fakat çok geniş alanlar oluşturan gözenekleridir **(Rahle, 2006)**.

Çoğu kimyasallar ister toz halinde ister kristal veya tablet şeklinde olsun kısa veya uzun süreliğine olabildiğince kuru depolanması istenmektedir. Maalesef kuru depolanmayı zorlu kılan birçok etken vardır. Depolamadaki bu sorunlar için çeşitli çözümler bulunmaktadır ve bunlardan bir tanesi desikant kullanılmasıdır. Desikant bir higroskopik malzemedir ve bu da havadaki su buharını adsorbe edebilme kabiliyetidir. Desikantlar pudra ve pellet şeklinde kapalı poşetlerde üretilmektedir. Kapalı poşet açıldığında nefes alabilen paketlerin içinde desikant bulunmaktadır **(Fire, 2003)**.

Nem alıcılar diğer adıyla desikantlar su buharını güçlü bir şekilde çeken kimyasal maddelerdir. En geniş şekilde katı ve sıvı desikantlar olarak sınıflandırılabilirler. Silika jel, aktive edilmiş alumina, moleküler elek ve killer su buharını kimyasal değişim olmaksızın kimyasal veya fiziksel olarak adsorbe eden katı desikantlardır. Kalsiyum klorür, trietilen glikol, lityum bromür veya klorür su buharını absorpsiyon yoluyla çeken sıvı desikantlar olarak gruplandırılmaktadırlar. Bunlar nemi absorbladıklarında kimyasal olarak değişirler **(Gandhidasan ve Mohandes, 2007)**. Sıvı desikantların en önemli avantajları rejenerasyon sıcaklıkları 50-65°C gibi oldukça düşüktür ve havadaki inorganik ve organik kontaminasyonları da absorbe eder böylece havanın temizlenmesine de yardımcı olurlar **(Gandfidasan, 2004)**.

Katı desikanlar da ticari olarak çok kullanılmaktadır. Katı desikanların yüksek kapasite ve yüksek kütle taşıma hızı için büyük yüzey alanlarına sahip olması gereklidir. Bileşiklerin uzaklaştırılabilmesi için aktivitelerin ve bulk yoğunlukların da yüksek olmalıdır. Kolaylıkla ve ekonomik olarak rejenere edilebilmelidirler. Toz oluşumuna ve kırılmaya karşı mekanik dayanımları yüksek olmalıdır. Korozyona karşı dayanıklı, ucuz ve zehirsiz olmalıdırlar. Adsorpsiyon, desorpsiyon sırasında hacimlerinde fark edilebilir bir değişim olmamalıdır, ıslandığı zaman dayanımını muhafaza etmelidir **(Gandfidasan ve diğ. 2001)**.

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

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

4.3 Nem Alıcıların Kullanım Alanları

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

Farklı amaçlar için kullanılmak üzere çeşitli desikantlar üretilmektedir. Bazı tüketiciler desikantı elektronik eşyaları kuru muhafaze etmek için kullanmaktadır. Silah koleksiyoncuları ise silahlarını paslanmaktan korumak için, ilaç üreten şirketler desikantı tıp malzemelerinde, ayakkabı üreticiler deriyi kuru muhafaze etmek için kullanmaktadır. Ayrıca bazı üreticiler yiyeceği uzun süreli depolamak ve bakterilerden korumak için özel desikantlar üretmeye başlamıştır (**Fire, 2003**).

4.4 Nem Alıcı Çeşitleri

Nem alıcılar pek çok şekilde sınıflandırılabilirler. Geniş kapsamlı sınıflandırma, katı ve sıvı nem alıcılar olarak ve yapıldığı maddenin özelliğine göre, organik ve inorganik şeklinde yapılmaktadır. En geniş kullanılan katı ticari desikantlar silika jel ve kildir. İnorganik adsorbanlar, örneğin minerallerden killer, nem adsorpsiyonu için

yaygın olarak kullanılmaktadır. Smektit, sepiyolit en yaygın olarak kullanılan adsorban killerdir. Kilden üretilen adsorbanların en önemli rakipleri odun talaşı ve selüloz bileşikleridir. Ancak bu bileşikler ucuzlukları yanında, alev alabilme özelliklerinden dolayı her uygulama alanında kullanılamazlar.

4.4.1 Sentetik Nem Alıcılar (Katı Nem Alıcılar)

Silika Jel

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

Kullanım alanları:

- Endüstriyel hava kurutma sistemleri (sülfonasyon tesis kolonları, kurutma sistemleri vs),
- Trafolarda,
- İstenmeyen gazların uzaklaştırılmasında,
- Rutubet istenmeyen her tür ortamda,
- İlaçlarda,
- Gıda ürünlerinin korunmasında,
- Elektronik Malzemelerin korunmasında,
- Hassas birçok malzemenin kuru ve güvenli saklanması

Normal Silika Jel

En yaygın kullanılan ve en ekonomik silika jel tipidir. Yapısı 1-3 mm ve 3-5 mm boyutlarında boncuk şeklindedir. Hem silika jel hem de indikatörlü silika jel nemi adsorbe ettikten sonra yeniden ısıtıp kurutularak aktive edilerek daha sonraki kullanıma uygun hale getirilmektedir. Normal silika jelin resmi Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2 : Normal Silika Jel

Mavi İndikatörlü Silika Jel

Kobalt klörür ile boyanmış mavi renkteki silika jellerdir. Adsorbe ettiği nem miktarı arttıkça renk önce pembeye sonra beyaza dönmektedir. Böylece silika jelin nem alıp almadığı görsel olarak izlenebilmekte ve kontrol edilmektedir. 1-3 mm ve 3-5 mm boyutlarında boncuk şeklindedir. Kobalt klorür ağır bir metal olduğundan kullanım alanı nerede kullanılacağına göre sınırlıdır. Örneğin yiyecek depolamada desikant olarak kullanılması sakıncalıdır. Mavi silika jeller çok katlı hava geçirimsiz torbalarda ve varillerde sunulduğu gibi özel nefes alabilen ambalajlarda da paketlenilmektedir. Nefes alabilen paketler en dışta vakum torbaları ile kapatılarak kullanım anına kadar atmosferik iletişimi kesilmektedir. İndikatörlü silika jeller pahalıdır ancak doyma noktasına ulaştıktan sonra etkisini kaybeden desikantlara göre daha kullanışlıdır. Genellikle, kimyasalları muhafaze etmede kullanılır. Mavi indikatörlü silika jelin resmi Şekil 4.3’te verilmektedir.



Şekil 4.3 : Mavi İndikatörlü Silika Jel

Turuncu İndikatörlü Silika Jel

Organik indikatör kimyasalları kullanılarak üretilen, yeni nesil silikajellerdir. Organik içeriğinden dolayı insan sağlığına ve çevreye dost bir üründür. Nem aldıkça turuncu renk yeşile dönmektedir. Turuncu indikatörlü silika jel Şekil 4.4’te verilmektedir.



Şekil 4.4 : Turuncu İndikatörlü Silika Jel

Aktif Alümina

Aktifleştirilmiş alümina bir cins aluminyum oksit olup hemen hemen tüm endüstriyel kurutma işlemlerinde kullanılabilmektedir. Endüstriyel tesislerde, özellikle dinamik adsorbsiyon koşullarında kurutucu olarak kullanılan üstün yüzey özelliklerine sahip adsorbandır. Kompresörlerde, likit sıvılar içerisinden rutubet almada ve kuru hava sistemlerinde uzun süre güvenle kullanılmaktadır. Çok düşük yoğunlaşma noktalarında verimli kurutma sağlamaktadır. Her türlü sıvı ve gazın kurutulmasında kullanılabilen bu ürün aynı zamanda karbondioksit, ağır metal, sülfürler ve

hidrokarbonlar gibi safsızlıkların tutulmasında yüksek performans gösterir. Aktif alümina resmi Şekil 4.5’te verilmektedir.



Şekil 4.5 : Aktif Alümina

Başlıca avantajları;

- Yüksek rutubetlerde etkilidir.
- Rejenerasyon için az enerji gereklidir.
- Isıtmasız hava kurutucularında da kullanılır.
- Yüksek kimyasal saflıktadır.
- Parçalanma ve ufalanmaya karşı dirençlidir (<http://www.desikimya.com/eak.html>, 2007).

Moleküler Elek

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

Başlıca kullanım alanları:

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

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

Moleküler elek resmi Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 : Moleküler Elek

4.4.2 Doğal Nem Alıcılar (Katı Nem Alıcılar)

Kil Nem Alıcılar

Doğada bulunduğu halde nem alıcı olarak kullanabilen killerdir. Kimyasal olarak tepkisiz olan kalsiyum alümina silikat kili, diğer kil çeşitlerine nazaran daha fazla su buharı çekebilmektedir. Kalsiyumca zengin bu montmorillonit kilinin tabakalı yapısı su emme kapasitesini artırır. Adsorpsiyon yüzeylerde ve tabaka aralarında gerçekleşir. Kil doğal bir malzeme olduğundan silika jel ve moleküler elekten daha ekonomiktir. % 40 relatif (bağıl) nemde ve 25 °C’de ağırlıkça % 20’ye varan nem tutma kapasitelerine sahiptirler. Desikant kil resmi Şekil 4.7’de verilmektedir.



Şekil 4.7 : Desikant Kil

Desikant killerin avantajları;

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

Başlıca kullanım alanları;

- Paketleme
- Elektronik
- Gıda
- İlaç
- Döküm
- Otomotiv (<http://www.desikimya.com/narc.html>, 2007).

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

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

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

Killer düşük sıcaklıkta iyi çalışır ancak 120°F (50°C)'de suyunu kaybetmeye başlar. Bu özelliğinden dolayı sıcak ortamda kullanılması kullanılması uygun değildir. Ancak bu da kili düşük sıcaklıkta yeniden aktive ederek (kurutarak) kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Fire, 2003).

Yeterince nem alamayan killer çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve nem alma kabiliyetleri arttırılmaktadır. Modifiye işlemi olarak, kile çeşitli nem alıcı maddeler ilave edilmekte veya ısı aktivasyonu yapılmaktadır (Dios Cancela ve diğ. 1997; BS 7529, 1991). Örneğin İngiliz standardı BS 7529:1991'e göre 145±25°C'de aktive edilen kilin %50 bağıl nemde ağırlıkça en az %20 nem alma kapasitesine sahip

olmalıdır. Üretilen nem alıcı kilin pH'sı minimum 5,5 maksimum 8,0 olmalıdır. Bu standardta aktive edilmiş kilin istenilen diğer kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 : Aktive Edilmiş Killerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

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

Tropik bölgelerde yüksek nemin tarım ürünlerinde mikotoksin gibi zehirli maddeler ürettiği bilinmektedir. Bu yüzden de depolarda tahılların saklanması veya tarım ürünlerinin kurutulması önemli olmaktadır. Bu amaçla zararsız bir desikant olan killerin kullanılması çok faydalıdır. Bu konuda yapılan bir çalışmada (**Thoruwa ve diğ. 2000**) bentonit + %10CaCl₂, bentonit + %5CaCl₂ ve kaolen + %5CaCl₂ karışımları ile üç tip desikant hazırlanmıştır. Bunlardan bentonit + %10CaCl₂ karışımı ile %82 nemli ortamda ağırlıkça %45 nem alma kapasitesine ulaşılmıştır. Diğer iki desikantta ise nem alma kapasitesi %30 olmaktadır. Bu çalışmada desikantların güneş altında kurutularak kolaylıkla rejenere edilebildiği bunun da diğer desikantlara göre büyük bir avantaj sağladığı belirtilmektedir.

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

Desikant killerle ilgili bir Türk standardı olmamasına rağmen, dünyada bu konuda birtakım standartlar geliştirilmiştir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri standardı olan "MIL-D-3464E" bunlardan birisidir. Bu standarda göre bir nem alıcı nem aldığı anda sıvılaşmamalıdır. Birim miktarı %20 bağıl nemde en az 3 gr, %40 bağıl

nemde ise en az 6 gr nem adsorbe edebilmelidir (birim miktar üretici tarafından belirlenmektedir ancak birim miktarın hacmi 45 ml'yi geçmemelidir). Ayrıca nem alıcı reaktifte edildiğinde orijinal nem alma kapasitesinin %90'ını koruyabilmelidir. Aktive sıcaklığı 118,3°C (245°F)'ten az, süresi ise 24 saatten fazla olmamalıdır.

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

Piyasadaki birtakım nem alıcı killerin özellikleri şöyle verilmektedir:

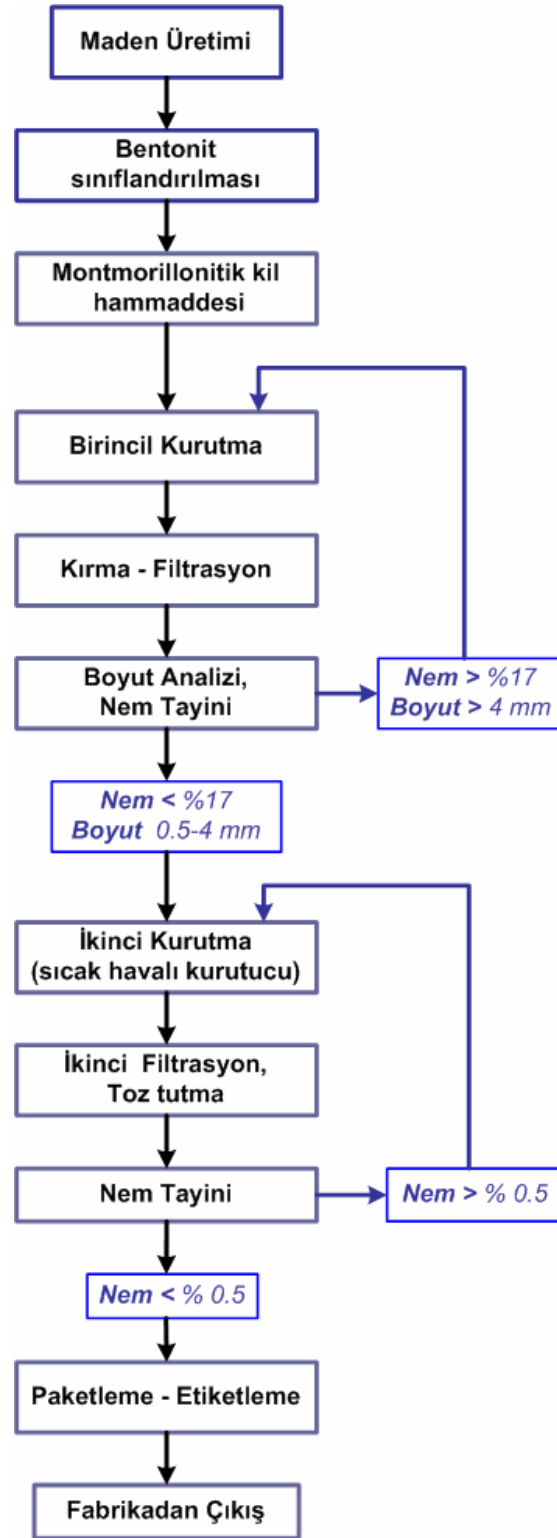
Desikimya aktif kil paketleri %40 relatif nemde, 23°C' de ağırlığının %17'sinden fazla rutubet adsorbe edebilmektedir (<http://www.desikimya.com/aa2.html>, 2007). Yüksek absorpsiyon yeteneğine sahip %100 doğal ve hiçbir katkı içermeyen nem alıcı kil (Ca-Bentonit) paketleridir. %100 doğal ve çevreci olması özelliği ile son yıllarda özellikle Avrupa ve Amerika'da tanınmış ve kullanımı artmış ısı modifikasyon geçirmiş nem alıcı aktif killerdir.

Fortune and Star Co LTD firmasının ürettiği aktif kil paketleri ise %40 relatif nemde, 25°C'de ağırlığının %18,5'i kadar nem alabilmektedir. Ayrıca içeriğinin %95'inin boyutu 1-4 mm arasında, pH'sı 7 civarındadır ve içerik katı granül haldedir ([http://fortuneandstar.trustpass.alibaba.com/product/11491222/Natural Clay Desiccant.html](http://fortuneandstar.trustpass.alibaba.com/product/11491222/Natural_Clay_Desiccant.html), 2007).

Ayrıca Çin'de üretim yapan Topsorb firması günde yaklaşık 35 ton desikant kil üretmektedir. Bu tesisin akım şeması Şekil 4.8.'de verilmektedir. Akım şemasından da görülebileceği gibi, tüvenan kil herhangi bir katkı maddesine gerek kalmaksızın, boyuta göre sınıflandırma ve kurutma kademelerinden geçirilerek piyasaya verilmektedir.

CaO Nem Alıcı

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



Şekil 4.8 : Topsoorb Firması Üretim Akım Şeması
(<http://www.desiccant.com.cn/about.asp>, 2007)

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

CaSO₄ Nem Alıcı

Jips olarak bilinen veya ticari adı Drierite olan bu desikant doğal nem alıcıdır. CaSO₄'un dehidrasyon sonucu olarak elde edilmektedir. Kimyasal olarak stabil ve adsorpladığı nemi geri ortama geri vermeyen bir desikanttır. Nem alma kapasitesi ağırlıkça %10 gibi oldukça düşük bir değerdir. Rejenere edilmesi oldukça zahmetli bir desikant türüdür (<http://www.desiccant.mobi/Desiccant-Types.php>, 2007).

CaCl₂ ve LiCl (Sıvı Nem Alıcılar)

Sıvı sistemler de hava neminin alınmasında kullanılmaya başlanılmıştır. Ancak bu sıvıların zehirli olmamaları ve çevreyle uyumlu olma zorunluluğu vardır. Eskiden beri en çok kullanılan sıvılar suda çözünen tuzlardır. Bunlardan CaCl₂ ve LiCl uygundur. CaCl₂ daha ucuz, LiCl ise daha etkindir. Bu sebeple bunların karışımları da kullanılmaktadır. Sıvı nem alıcılarda madde içindeki su buharının buhar basıncı önemlidir. Bu tür nem alıcılarda yüksek sıcaklıklarda nem alma kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır (Yılmaz ve Büyükalaca, 2000).

4.5 Nem Alıcı Seçimi

4.5.1 Seçime Etki Eden Faktörler

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

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

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

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

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

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar bölümünde Türkiye'nin 4 farklı yöresinden getirilen bentonit numunelerinin özellikleri belirlendikten sonra bu bentonit numunelerin desikant kil üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir.

5.1 Deneyde Kullanılan Malzeme ve Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmalarda kullanılan bentonit numunelerinin özelliklerine ve bu özelliklerin belirlenmesinde izlenen yöntemlere bu alt bölümde yer verilmektedir.

5.1.1 Deneyde Kullanılan Numuneler

Bu tez TÜBİTAK 106G106 No'lu Kamu Projesi kapsamında yapılmıştır (TÜBİTAK Projesi, 2007). Proje kapsamında değerlendirilmek üzere İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği, Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı laboratuvarına, ikisi Ca-Bentonit, diğerleri Ara Bentonit ve Na-Bentonit olmak üzere 4 adet bentonit numunesi getirilmiştir. Numunelerin ikisi alındığı yöre, diğerleri ise şirket adıyla tanındığından, tezde bu isimleri ile kullanılmıştır.

Tezde Kullanılan Numune Adı	Alındığı Yer
Lalapaşa Ca-Bentonit	Edirne-Enez
Sömaş Ca-Bentonit	İstanbul-Silivri
Çanbensan-Sarı Ara Bentonit	Çorum-Çankırı
Reşadiye Na-Bentonit	Tokat-Reşadiye

Dört numune konileme-dörtleme yolu ile azaltılarak temsili örnekler ayrılmıştır. Orijinal numunelerin yarısı şahit numuneler olarak saklanmış, geri kalanı ise, konileme-dörtleme yöntemi ve numune bölücü yardımıyla bölünerek deneylerde kullanılmıştır. Deneylere esas olan numuneler yüksek nem içerdiğinden dolayı

laboratuvar ortamında serilerek kurumaya bırakılmıştır. Malzeme bir hafta boyunca laboratuvar ortamında bekledikten sonra 4,75 mm açıklıklı elekten elenerek ve elek üstü malzeme kırıcıdan geçirilmiş ve tamamı 4,75mm altına boyutuna indirilmiştir. Böylece deneylerde kullanılacak olan numuneler hazırlanmıştır.

5.1.2 Numunenin Özelliklerinin Belirlenmesi

Bentonit numunelerin özelliklerinin belirlemesi amacıyla fiziksel, kimyasal analizler ve karakterizasyon testleri yapılmıştır.

Kimyasal analizi

Kimyasal analiz, bentonit örneğinin kimyasal özelliklerinin nasıl olabileceği konusunda bir fikir edinmek için yapılır. Başlıca SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Fe_2O_3 , FeO , K_2O , Na_2O , TiO_2 ve 105°C derecenin altında ve üstündeki su miktarları belirlenir. Na_2O miktarı %1-3 arasında olan bentonitlerde iyi bir kalite beklenebilir (Akbulut, 1996). Deneysel çalışmalarda kullanılan bentonit numunelerinin kimyasal analizi MTA tarafından yapılmış olup, sonuçlar Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1 : Bentonit Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Numune Adı	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	MgO %	CaO %	Na_2O %	K_2O %	TiO_2 %	P_2O_5 %	MnO %	Kızd. Kaybı, %
Lalapaşa	59,0	18,7	2,4	3,5	1,9	0,4	0,8	0,3	<0,1	0,1	12,88
Sömaş	55,4	14,6	6,9	3,7	3,9	0,5	0,9	0,6	0,1	0,1	13,0
Çanbensan-Sarı	61,1	16,9	5,5	2,3	2,1	2,1	1,1	0,7	0,1	<0,1	7,28
Reşadiye	61,9	17,3	3,3	1,9	3,0	2,3	0,9	0,3	0,1	0,1	7,93

Numunelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre Lalapaşa ve Sömaş bentonit numunelerinin Na_2O içerikleri %0,4 ve %0,5 iken, bu değer Çanbensan-Sarı numunesinde %2,1 ve Reşadiye bentonitte ise %2,3 olmaktadır. Buradan da Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonitlerinin sodyumca daha zengin bentonitler olduğu anlaşılmaktadır.

XRD Sonuçları

Bir bileşenin bir karışımındaki oranı XRD desenlerindeki çizgi şiddetlerine doğrudan yansır. Diğer bir ifade ile XRD difraktogramında herhangi bir bileşenin çizgi şiddeti herşeyden önemli olarak, o mineralin karışım içerisindeki oranına bağlıdır. XRD-Modal Analiz metodlarının temel prensibi budur. XRD deneyi için 250 mesh (silt boyu) altında öğütülmüş örnekten 5 gram alınarak %52 bağıl nem dengesine getirilir. Bu nemlilikte kalsiyum veya magnezyumlu montmorillonit 15.4 Å bir pik gösterirken, sodyum montmorillonit 12.4 Å pik gösterir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan bentonit numunelerinin XRD çekimleri MTA tarafından yapılmıştır. Sonuçlar Prof. Dr. Fahri Esenli tarafından yorumlanmış olup Tablo 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.2 : Bentonit Numunelerinin XRD Sonuçları

Örnek	Smektit, %	Smektit-Bazal Çizgi Å, (Normal Çekim)	Smektit-Bazal Çizgi (Å), (Etilen Glikol Çekim)	Diğer Kil Mineralleri ve Karışık Katman	Toplam Kil Mineral, %
Lalapaşa	75	Yüksek, keskin <u>15,4</u>	Yüksek, keskin <u>17,5</u>	İllit<%10	75-80
Sömaş	70	Yüksek, keskin <u>14,8</u> (13,4’de omuz)	Yüksek, keskin <u>17,8</u> (10 Å’a doğru çok hafif yokuş)	İllit<%5 Kar.Kat az (S ₉₀ /İ ₁₀)	75
Çanbansan-Sarı	50	Orta-Yüksek, keskin <u>13,3</u> (11,1 ve 10,2’de omuz)	Yüksek, keskin <u>16,8</u> (13,0’da omuz)	Kar. Kat. çok (S ₅₀ /İ ₅₀)	50
Reşadiye	70-75	Yüksek, keskin <u>12,7</u>	Yüksek, keskin <u>17,5</u>	İllit<%5	75

Numunelerin mineralojik bileşimleri XRD metodu ile belirlenmiştir. Minerallerin % oranları yine XRD metodunu kullanarak modal analiz yöntemi ile tahmin edilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.3’te verilmektedir. XRD grafikleri ise Ekte Şekil A.1, A.3, A.5 ve A.7’de verilmektedir.

Tablo 5.3 : Numunelerin Mineralojik Modal Bileşimleri

Numune Adı	Kil Mineral Oranı, %		Kil Dışı Bileşenler Oranı, %				
	Montmorillonit	İllit	Kuvars	Feldspat	Kalsit	Amorf	Opal-CT
Lalapaşa	75-80	10	5	10	<5	5-10	<5
Sömaş	70	<5	10-15	<5	5	5-10	<5
Çanbensan-Sarı	50	50	15	15	5	10-15	<5
Reşadiye	70-75	<5	<5	5-10	5	10	<5

Tablo 5.2 ve 5.3'te görüldüğü gibi örneklerde ana mineral montmorillonit olup kuvars, feldspat, kalsit, kristobalit ve amorf malzeme diğer minerallerdir. Numunelerde montmorillonit oranı Lalapaşa örneğinde %75-80, Sömaş'ta %70, Çanbensan-Sarı'da %50 ve Reşadiye için %70-75 olarak belirlenmiştir.

Diferansiyel termik analiz (DTA)

DTA, kil minerallerinin ısıya karşı tepkimelerinin değişik olması ilkesine dayanarak onların cinslerini belirlemek için yapılır. DTA aygıtına konan kil örneği 100°-150°C'e kadar ısıtıldığında gözenek ve emilmiş suyunu kaybeder. Kil örneği 400°-700°C arasında bileşimindeki hidroksil suyunu terk ederek parçalanmaya başlar. Kristal yapısı çökerek önce amorf faz oluşur ve bu ekzotermik reaksiyonlara kadar devam eder, sonunda yeni mineraller oluşur. Bu sıcaklıklara kadar endotermik olan tepkimeler daha yüksek sıcaklıklarda ekzotermik olur ve faz değişimleri gösterir. Bu değişimlerde değişebilen katyonların cinsi önemli rol oynar. Daha önce saf kil mineralleri ve belli oranlardaki karışımlarından elde edilmiş başvuru eğrileri ile deneyi yapılan örnekten elde edilen eğriler karşılaştırılarak içindeki kil minerali cinsleri belirlenir (Akbulut, 1996).

Deneyisel çalışmalarda kullanılan bentonit numunelerinin DTA ve TG analizi MTA tarafından yapılmıştır. Sonuçların yorumlanması ise Prof. Dr. Fahri Esenli tarafından yapılmış olup DTA ve TG eğrileri Ekte Şekil A.2, A.4, A.6 ve A.8'de verilmektedir.

Tablo 5.4 : Bentonit Numunelerinin DTA, TG Sonuçları

Örnek	1.Endoterm-ik (130°-150°C)	205°-220°C Omuzu	1.Endoterm Ağırlık Kaybı (TG, %)	2.Endoterm-mik (550°-700°C)	2.Endoterm Ağırlık Kaybı (TG, %)	Toplam Ağırlık Kaybı (TG, %)
Lalapaşa	150 keskin	var	12,8	700	2,0	18
Sömaş	148 keskin	var	11,5	550-650	3,6	18
Çanbensan-Sarı	139 daha keskin	yok	7,0	550-650	3,1	12
Reşadiye	137 daha keskin	yok	6,2	700	3,7	13

DTA analizlerinde ilk endotermik reaksiyon 4 numune için 130°-150°C arasındadır. Sömaş ve Lalapaşa örneklerinde pikin 205°-220°C aralığında, yüksek sıcaklık tarafındaki yokuşunda bir omuzu vardır. Diğer iki örnekte bu iz bulunmaz. İkinci önemli endotermik reaksiyon 550°-700°C aralığında meydana gelmektedir.

TG analizlerinde Lalapaşa ve Sömaş örneklerinde toplam ağırlık kaybı %18 iken Reşadiye ve Çanbensan-Sarı örneklerinde %12-13 arasındaki değerlerindedir. İlk endotermik piklerinin 205°-220°C aralığına karşılık gelen bir noktasında omuz bulunan Lalapaşa ve Sömaş örnekleri için bu ana endotermik reaksiyona karşılık gelen TG'deki ağırlık kaybı %11,5-11,8 arasındadır. Oysa ki diğer iki örnekte (bunlarda bu pikin omuzu bulunmaz) bu reaksiyon için ağırlık kaybı %6,1-7,0 arasında değişir.

Tane Boyut Dağılımı

Bentonit numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar standart elekleri kullanılarak yapılan yaş elek analizleri sonucunda saptanan boyut dağılımları Tablo 5.5-5.7'de verilmiştir. Toplam elek altı eğrileri ise Şekil 5.1'de verilmiştir. Çanbensan-Sarı numunesi suda dağıldığında çok ince boyutludur. Bu yüzden de boyut dağılım analizi Fritsch marka lazer okumalı tane boyut ölçer cihazı ile yapılmıştır.

Tablo 5.5 : Lalapaşa Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)

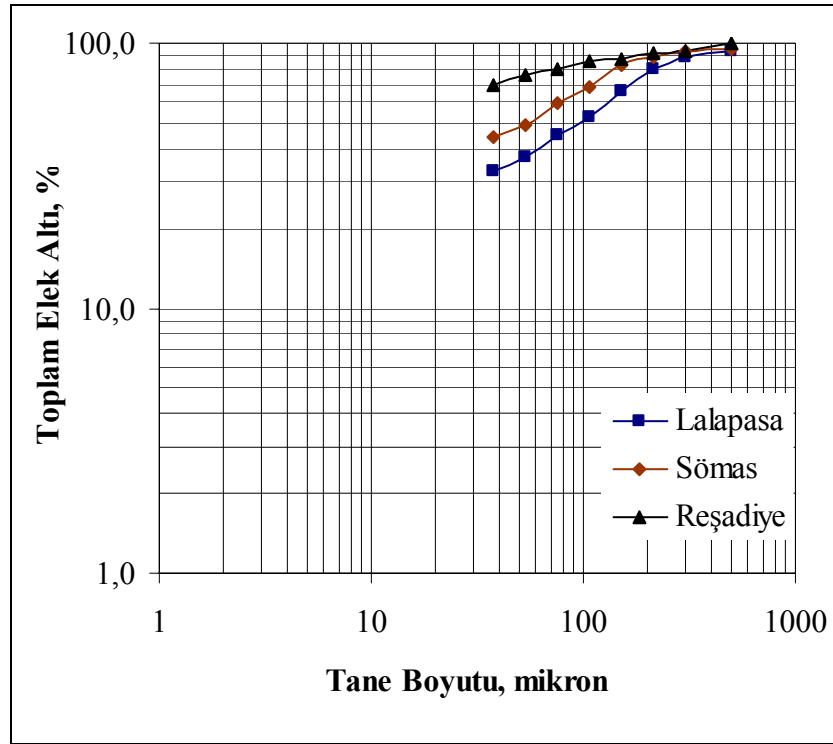
Boyut Aralığı, mikron	Miktar, %	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
+500	5,9	5,9	100,0
-500 +300	5,8	11,7	94,1
-300 +212	9,1	20,8	88,3
-212 +150	13,3	34,1	79,2
-150 +106	13,8	47,9	65,9
-106 +75	7,4	55,3	52,1
-75 +53	7,5	62,8	44,7
-53 +38	4,1	66,9	37,2
-38	33,1	100,0	33,1
Toplam	100,0		

Tablo 5.6 : Sömaş Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)

Boyut Aralığı, mikron	Miktar, %	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
+500	4,4	4,4	100,0
-500 +300	3,0	7,4	95,6
-300 +212	4,3	11,7	92,6
-212 +150	6,2	17,9	88,3
-150 +106	14,0	31,9	82,1
-106 +75	9,2	41,1	68,1
-75 +53	9,7	50,8	58,9
-53 +38	5,2	56,1	49,2
-38	44,0	100,0	43,9
Toplam	100,0		

Tablo 5.7 : Reşadiye Bentonitinin Boyut Dağılımı (Yaş Elek Analizi)

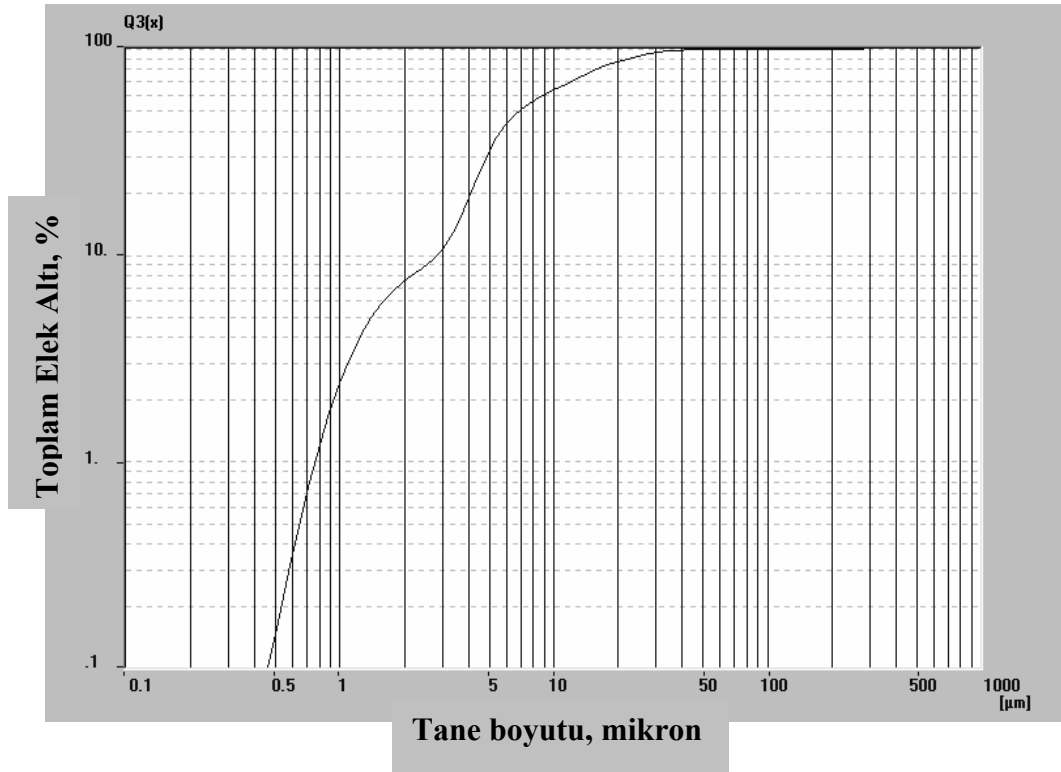
Boyut Aralığı, Mikron	Miktar, %	Toplam Elek Üstü %	Toplam Elek Altı %
+500	6,6	6,6	100,0
-500 +300	2,5	9,0	93,4
-300 +212	3,4	12,4	91,0
-212 +150	2,7	15,1	87,6
-150 +106	4,8	19,9	84,9
-106 +75	3,8	23,8	80,1
-75 +53	6,6	30,4	76,2
-53 +38	3,7	34,1	69,6
-38	65,9	100,0	65,9
Toplam	100,0		



Şekil 5.1 : Bentonit Numunelerinin Tane Boyut Dağılımları

Şekil 5.1'e göre Lalapaşa numunesinin d_{90} boyutu 0,36 mm, Sömaş için d_{90} boyutu 0,26 mm ve Reşadiye örneğinde ise 0,18 mm olduğu tespit edilmiştir.

Çanbensan-Sarı numunesinin tane boyut dağılımı Şekil 5.2'de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Çanbensan-Sarı Bentonitin Tane Boyut Dağılımı

Eğriye göre Çanbensan-Sarı örneğinin d_{90} boyutu 0,022 mm olarak belirlenmiştir.

Nem İçeriği Tayini

Nem içeriğinin tayini için bentonit örneğinden bir parça tartılarak alınır. Bu örnek 100°-110°C derecede etüvde ısıtılıp sabit ağırlığına gelinceye kadar tartılır. Tüvenan örneğin içerdiği nem aşağıdaki formül ile bulunur.

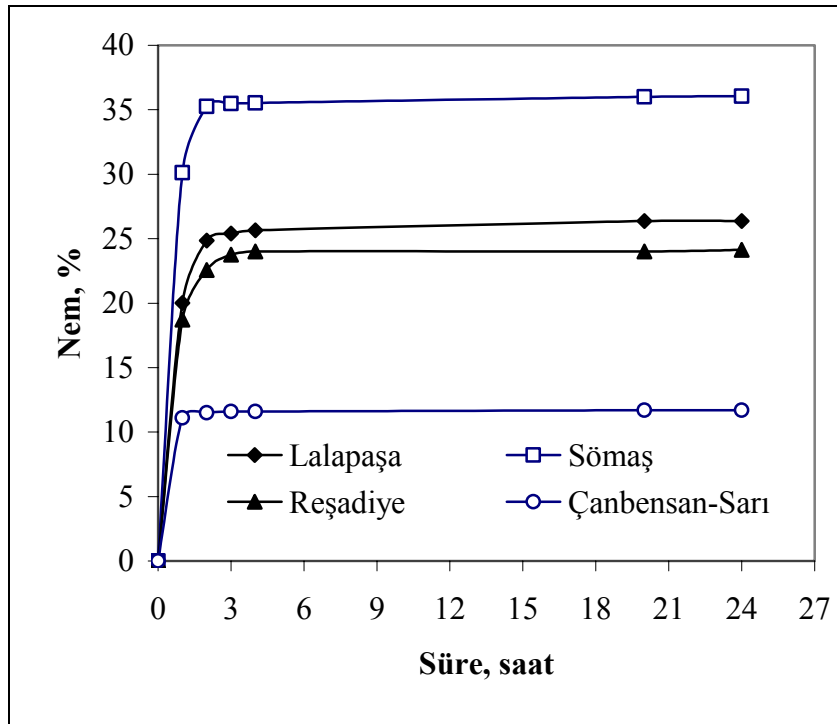
$$Nem, \% = \frac{W_{ilk} - W_{son}}{W_{ilk}} \times 100 \quad (5.1)$$

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

Kurutma deneyleri laboratuvar tip kurutucuda (etüv) gerçekleştirilmiştir. 110°C'de kurutulan bentonit numunelerinin nem analiz sonuçları zamana bağlı olarak Tablo 5.8 ve Şekil 5.3'te verilmektedir.

Tablo 5.8 : Zamana Bağlı Olarak Kaybedilen Nem, %

110°C derece	Kaybedilen Nem, %			
	Süre, Saat	Lalapaşa	Sömaş	Çanbensan-Sarı
	0	0,0	0,0	0,0
	1	20,0	30,1	11,1
	2	24,8	35,3	11,5
	3	25,4	35,5	11,6
	4	25,7	35,5	11,6
	20	26,4	36,0	11,7
	24	26,4	36,1	11,7

**Şekil 5.3 : Bentonit Numunelerinin Zamana Bağlı Olarak Belirlenen Nem Değişimleri**

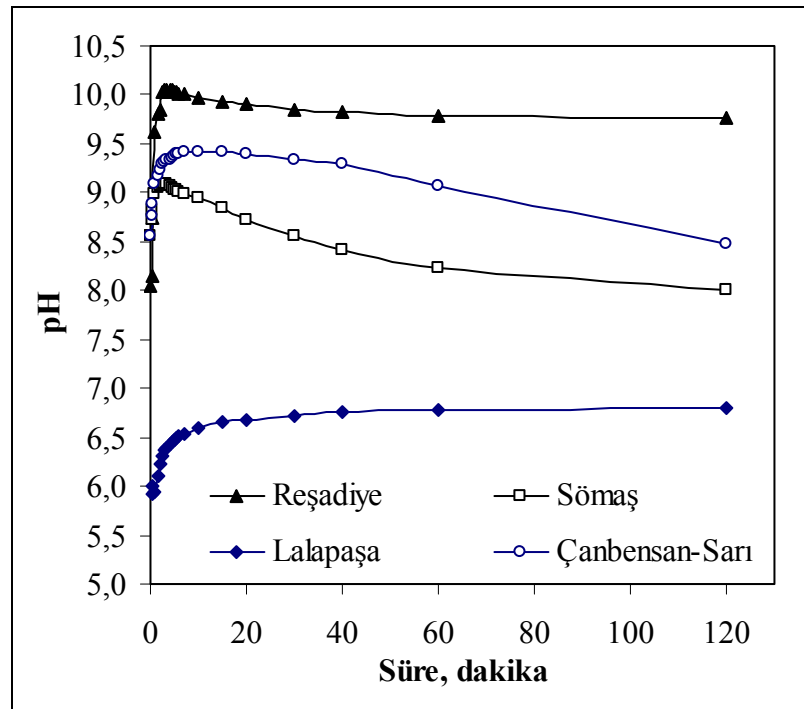
Bentonit örneklerine ait nem içeriği tayini sonucunda Lalapaşa numunesinin kaybedilen nemi maksimum %26,4; Sömaş için %36,1; Çanbensan-Sarı için %11,7 ve Reşadiye örneğinde ise %24,1 olarak tespit edilmiştir.

pH Tayini

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin pH değerini belirlemek için Türk Standardları Enstitüsünün TSE 5360 numaralı standardından yararlanılmıştır.

Bentonitten 6 gram tartılarak 100 mililitre saf su ile karıştırılır. Süspansiyonun pH'sı yaklaşık 20°C'de Orion marka pH metre ile sabit değere ulaşınca kadar aralıklarla ölçülür. Bulunan sabit değer bentonit numunesinin pH'sı olarak alınır (TSE 5360, 1987).

Numunelerin ölçülen pH değer sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : Bentonit Numunelerinin Zamana Bağlı pH Değişimi

Ortalama pH değerleri Lalapaşa numunesi için 6,43; Sömaş numunesi için 8,62; Çanbensan-Sarı örneğinde ise 9,2 ve Reşadiye numunesi için 9,71 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan görülebileceği gibi numunelerin pH'sı Ca-bentonitten Na-bentonite gidildikçe artmaktadır.

Kasyon Değişirme Kapasitesi Testi (Metilen Mavisi Testi)

Kasyon değişim kapasitesi (KDK), bir kil mineralinin Na, Ca, Mg gibi değişebilir kasyon bağlama gücüne denir. Kasyon değişim kapasitesi bir kilin şişme, plastiklik vb. fiziksel özelliklerini etkiler. Bu kapasitenin yüksek oluşu, kilin şişme ve jelleşme gücünün yüksek olacağına işaret sayılır. Bir bentonit örneğinin montmorillonit

içeriği kation değişim kapasitesi ile belirlenir. Bunun için boyama gücü bilinen metilen mavisi kullanılır.

Kation değişim kapasitesi testi için gerekli aletler:

- 500 ml'lik Beher
- Pipet
- % 3'lük H_2O_2
- 5 Normal H_2SO_4
- 250 ml'lik Erlenmayer
- Isıticılı Manyetik Karıştırıcı
- Cam Çubuk
- Whatmann Filtre Kağıdı
- Metilen Mavisi ($C_{16}H_{18}N_3SCl.3H_2O$)
- Saf Su
- Dijital Mezur

Bu test için API (American Petroleum Institute)'un standartlarından yararlanılmıştır. Bir şeyl veya çamur numunesindeki aktif kil miktarının belirlenmesi amacıyla yapılır.

Test için pülpte katı oranı %6 olacak şekilde 1,57 gr 100 mikron altı bentonit numunesiyle, 25 ml saf su yaklaşık 10 dk karıştırılır. Hazırlanan karışımdan bir pipet yardımıyla 3 ml çekilir ve önceden içerisine 15 ml %3'lük H_2O_2 , 0,5 ml 5 normal H_2SO_4 ve 10 ml saf su eklenmiş erlenmayer içine boşaltılır. Erlenmayer içindeki karışım, yaklaşık 10 dk ısıticılı manyetik karıştırıcı üzerinde sıcaklık çok yüksek olmayacak şekilde ve yavaş devirde karıştırılıp kaynatılır. Kaynadıktan sonra erlenmayer karıştırıcı üzerinden alınır. Karışıma hacmi 50 ml oluncaya kadar saf su ilave edilir ve oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Soğumuş karışımın üzerine önceden hazırlanmış metilen mavisi (3,20 gr metilen mavisi ve 1000 ml saf su) karışımından dijital mezur yardımıyla 1 ml eklenir ve karıştırıcı üzerinde 1 dakika karıştırılır. Daha sonra karışımdan cam çubuk yardımıyla 1 damla alınıp filtre kağıdının üzerine damlatılır. Damla etrafında mavi bir hale oluşmamışsa 1 ml daha

metilen mavisi karışıma eklenir ve 1 dk daha karıştırılır. Tekrar cam çubukla bir damla alınır ve kağıda damlatılır. Bu işleme damlatılan damlanın etrafında mavi hale oluşana dek devam edilir. Mavi hale oluşuktan sonra harcanan metilen mavisi miktarı bulunup aşağıdaki katyon değişim kapasitesi hesabı yapılır.

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

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

Yapılan deneyler ve hesaplar sonucunda bulunan katyon değişim kapasitesi değerleri Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9 : Bentonit Numunelerinin Katyon Değiştirme Kapasitesi Sonuçları

Numune Adı	Katyon Değiştirme Kapasitesi, meq/100 gr
Lalapaşa	65,0
Sömaş	61,5
Çanbensan-Sarı	70,6
Reşadiye	81,5

Katyon değişim kapasitesi 60meq/100 gr ve daha yüksek olan bentonitlerin ticari değeri var kabul edilmektedir (Akbulut, 1996). Tablo 5.9'da görüleceği üzere bentonit numunelerinin katyon değiştirme kapasite değerlerine göre, ticari hammadde olabilecek özelliktedir. Ham halinde numunelerin katyon değiştirme kapasiteleri Ca-bentonitlerden Na-bentonite doğru gittikçe bir artış göstermektedir.

Su Emme Testi

Numunenin su emme testinde kullanılan aletler ve izlenen yöntem aşağıda anlatılmaktadır.

Su emme testi için gerekli aletler:

- -5 + 1 mm boyutunda bentonit numunesi
- Süzgeç tipi tel sepet
- Filtre kağıdı
- 1000 ml'lik mezur
- Kronometre

Bu test için, en az 20 gr kuru bentonit numunesinin (iri taneli olması daha iyi) ağırlığı bir yere kaydedilir. Aynı zamanda süzgecin içine filtre kağıdı yerleştirilir ve nemlendirilerek ikisinin birlikte darası alınır. Tartılan numune süzgeç tipi tel sepete konularak çeşme suyu ile doldurulmuş ölçekli mezura, su numunenin üzerini kaplayana kadar batırılır ve 20 dakika suyun içinde askıda tutulur. Daha sonra 10 dakika kadar da suyu süzülmesi için havada askıda tutulur. İçinde su emmiş bentonit bulunan tel sepet daha sonra alınıp kuru bir bezin üzerinde 5 dakika bekletilir. Sepetin içindeki malzeme alınarak tartılır ve bentonitin ilk kuru ağırlığına bölünüp 100 ile çarpılır. Elde edilen sonuç bentonitin su emme kapasitesini verir.

Na-bentonitlerin Ca-bentonitlere göre daha iyi su emdikleri bilinmektedir. Tablo 5.10'da bentonit numunelerinin su emme kapasitesi sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.10 : Bentonit Numunelerinin Su Emme Kapasite Sonuçları

Numune Adı	Su Emme Kapasitesi, %
Lalapaşa	133,95
Sömaş	142,86
Çanbensan-Sarı	154,31
Reşadiye	156,78

Tablo 5.10'dan görülebileceği gibi yine numunelerin su emme kapasiteleri Ca-bentonitlerden Na-bentonite gidildikçe artmaktadır.

Şişme Testi

Bentonitin bünyesine fiziksel su alması ve kristal yapısının C eksen 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.

100 ml’lik mezur içerisine 2 gr 100 mikron altına öğütülmüş bentonit örneği yavaş yavaş beslenir. Besleme işi bittikten sonra 24 saat beklenir ve şişmiş olan bentonitin hacmi okunur. Yapılan şişme testi sonunda elde edilen değerler Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11 : Bentonit Numunelerinin Şişme Testi Sonuçları

Numune Adı	Şişme, ml
Lalapaşa	6,0
Sömaş	7,0
Çanbensan-Sarı	15,5
Reşadiye	20,5

Tablo 5.11’den de görüleceği gibi numunelerin şişme değerleri en düşük Lalapaşa Ca-bentonit numunesinde 6,0 ml, en yüksek Na-bentonit numunesi olan Reşadiye’de 20,5 ml olmaktadır.

Viskozite Testi

Viskozite değeri killerin tanımlayıcı özelliklerinden birisidir. Na-bentonitler jelimsi yapı oluşturdıklarından viskoziteleri yüksektir. Ca-bentonitlerde ise pek jelleşme gözlenmediğinden viskoziteleri de düşüktür.

22.5 gr bentonit 350 mililitre saf suda karıştırıcı ile 20 dakika karıştırılarak hazırlanır. Süspansiyon 5 dakika oda sıcaklığında bekletilir. Deney başlamadan önce süspansiyon, karıştırıcıda 5 dakika tekrar karıştırılır.

- Plastik viskozite; süspansiyon, çalkalandıktan sonra viskozite ölçme aletinin (Fann viskozimetre) silindirin içine motor kolu üzerindeki işarete kadar doldurulur. Motor 600 devir/dakika hızla çalıştırılır. Viskozite ölçme aletinin göstergesi değişmez bir duruma gelinceye kadar beklenir ve değer okunarak kaydedilir. Sonra motor 300

devir/dakika hızla çalıştırılarak viskozite ölçme aletinin göstergesi değişmez bir duruma gelince okuyarak kaydedilir. Buradan plastik viskozite aşağıda verilen formülle bulunmaktadır.

$$\text{Plastik viskozite (cp olarak)} = 600 \text{ dev/dak değeri} - 300 \text{ dev/dak değeri} \quad (5.2)$$

- Görünür viskozite; viskozite ölçme aletinin motoru 600 dev/dak çalıştırılarak gösterge değişmez duruma gelince değer okunur. Okunan değer ikiye bölünerek görünür viskozite (cp) bulunur. Ölçüm 24 saat sonunda tekrarlanır ve bulunan değer not edilir. Bentonit numunelerinin viskozite ölçümleri -150 mikron boyutunda yapılmış ve sonuçları Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12 : Bentonit Numuneleri Üzerinde Gerçekleştirilen Viskozite Ölçüm Sonuçları

Numune Adı	Viskozite, cp					
	20 dk. Sonunda			24 saat sonunda		
	300 rpm	600 rpm	pH	300 rpm	600 rpm	pH
Lalapaşa	1,50	3,50	7,74	2,0	3,5	7,42
Sömaş	1,50	3,25	7,96	2,0	4,0	7,89
Çanbensan-Sarı	4,50	7,00	8,58	5,5	8,5	8,30
Reşadiye	17,50	31,00	9,69	20,0	35,0	9,54

Numunelerin viskozite değerleri Na-bentonite doğru gidildikçe artmaktadır.

5.2 Desikant Kil Üretimine Yönelik Deneyler

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

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

Deneylerde bentonit numunesi üzerinde kurutma sıcaklığının ve süresinin, boyutun, katkı maddesi miktarının ve eklenme şekli ile etkileri incelenmiştir. Ayrıca siklon ile zenginleştirme yapılarak elde edilen farklı kalitedeki ürünler üzerinde de desikant kil

üretimi çalışmaları yapılmıştır. Böylece endüstriyel amaca yönelik bir nem alıcı kil numunesi üretilmesi hedeflenmiştir.

5.2.1 Desikant Kil Üretimi Deney Metodu

Desikant kil üretimi deneylerinde, Şekil 5.5'te verilen genel akım şeması izlenmiş olup deney kademeleri aşağıdaki gibidir:

Kurutma

Kurutma sıcaklığının etkisi 105, 150, 200, 250°C'lerde incelenmiş olup 105, 150, 175 ve 200°C'ler Memmert markalı etüvde ve saat camda, 250°C'de ise Nüve MF 120 markalı fırında ve porselen kapta yapılmıştır. Ayrıca kurutma süresinin etkisi 1, 2, 4, 16, 24 saat sürelerinde incelenmiştir. 4 saatlik kurutma süresinde 90°C ve 135°C'lerde de deney yapılmıştır.

Boyutlandırma

Boyutlandırmada malzeme, tamamı -4,75 mm, -4,75+1 mm ve -4,75+0,5 mm olacak şekilde üç farklı boyutta hazırlanmış ve boyutun etkisi incelenmiştir. Deneyler sonunda optimum bir boyut tespit edilerek, deneylere bu boyutta devam edilmiştir. Ayrıca boyut analizinde elde edilen farklı boyut gruplarındaki ürünlerle de deneyler yapılmıştır.

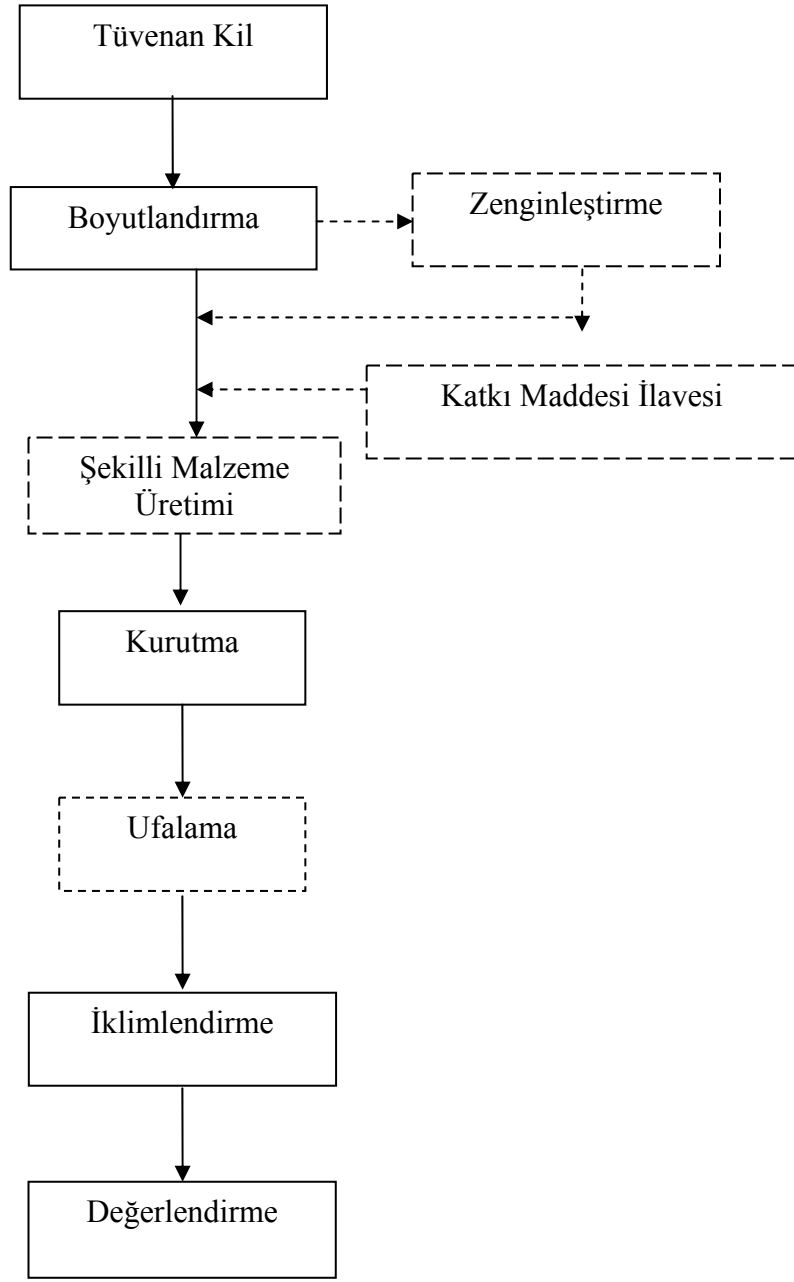
Ticari desikant kil ürünleri genellikle granül malzeme olarak üretildiğinden, toz halinde (belli bir boyut altında) şekil verilmemiş malzeme üretimin yanı sıra, granül malzeme üretilmeye çalışılmıştır. Granül malzeme üretilirken enjektör ile sıkılarak çubuk şeklinde ve sıkılmadan daha gevşek makarna gibi şekil verilerek iki farklı biçimde üretilmiştir.

Zenginleştirme

Bentonitin zenginleştirilme işlemi hidrosiklonda yapılmıştır. Konsantre ve artıktaki kalan ürünlerin nem alma kapasiteleri incelenmiştir.

Katkı Maddesi İlavesi

Killerin nem alma yeteneklerini arttırmak için birtakım katkı maddeleri ilave edilmiştir. Bu katkı maddeleri; CaCl_2 , LiCl , MgCl_2 , NaCl , ve CaSO_4 'dür. CaCl_2 killerin nem alma kapasitelerini arttırmak için kullanılan maddelerden birisidir.



Şekil 5.5 : Desikant Kil Üretimi Deneyleri Genel Akım Şeması

CaCl_2 higroskopik, beyaz renkli bir maddedir. Laboratuvarlarda desikatörlerde, benzol, alkol vb. organik çözeltilerin kurutulmasında çok kullanılan bir malzemedir (Özdemir, 1970). Bu çalışmada kile CaCl_2 katkısının etkisi detaylı şekilde incelenmiştir. Değişik oranlarda CaCl_2 ilavesi ve karıştırılma biçimleri denenmiştir. Katkı ilavesi olmadan da farklı karıştırma şekilleriyle deneyler yapılmıştır. Karıştırılma biçimleri; CaCl_2 ile bentonitin su ilave edilmeden kuru bir şekilde 2-3 dk karıştırılması, pülpte katı oranı yaklaşık %65 olacak şekilde su ilave edilerek hamur halinde 2-3 dk karıştırılması olarak 2 farklı şekilde uygulanmıştır.

Ufalama

Şekil verilerek hazırlanan desikant kil numuneleri kurutulduktan sonra katılaşmakta ve topaklanmaktadır. Bu yüzden de malzeme tekrar 4,75 mm'lik elekten geçirilerek ufalanmıştır. Elekten geçirilerek ufalanmış malzeme nem alabilme olasılığından dolayı tekrar etüve konularak 1 saat nemi uzaklaştırılmıştır.

İklimlendirme

İklimlendirme MMM-Group Medcenter Einrichtungen GmbH Climacell markalı iklimlendirme dolabında (Şekil 5.6), 25°C sıcaklık ve %50 relatif nem koşullarında yapılmıştır. Ayrıca farklı relatif nem koşulların (%20, %40 ve %90) etkisinin ve farklı ortam sıcaklığının (40° ve 60°C) incelendiği deney de yapılmıştır. İklimlendirme dolabına numuneler saat camları içinde yerleştirilmiştir ve sabit koşullarda 24 saat süreyle bekletilmiştir.



Şekil 5.6 : Deneylerde Kullanılan İklimlendirme Dolabı

Değerlendirme

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

$$\text{Nem Alma Kapasitesi, \%} = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100 \quad (5.3)$$

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

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

5.2.2 Ham Numune Üzerinde Yapılan Desikant Kil Çalışmaları

Isı Aktivasyonu

4 farklı bölgeden gelen bentonit numunesinin nem alma kapasitesini incelemek üzere değişik kurutma sıcaklığı ve sürelerinde deneyler yapılmıştır. Isıl işlem sıcaklığı olarak 105°C, 150°C, 175°C, 200°C ve 250°C dereceler denenmiştir. Aynı zamanda ısıl işlem süreleri 1, 2, 4, 8, 16 ve 24 saat olarak değiştirilmiştir. 4 saatlik sürede 90°C ve 135°C’de de deneyler yapılmıştır. Deneyin yapılışı:

- Numuneden 12 gr malzeme tartılır.
- Etüvde belirli bir sıcaklık ve sürede kurutmaya tabi tutulur.
- Kurumuş malzeme desikatörde soğutulduktan sonra, topaklanmış parçalar varsa 4,75 mm’lik elekten geçirilerek dağıtılır.
- Kuru ağırlığı olarak kabul edilen ilk tartım alınır. İklimlendirme dolabına konulur.
- Belirli zaman aralıklarında tartılan malzemenin ağırlığındaki değişim hesaplanır.

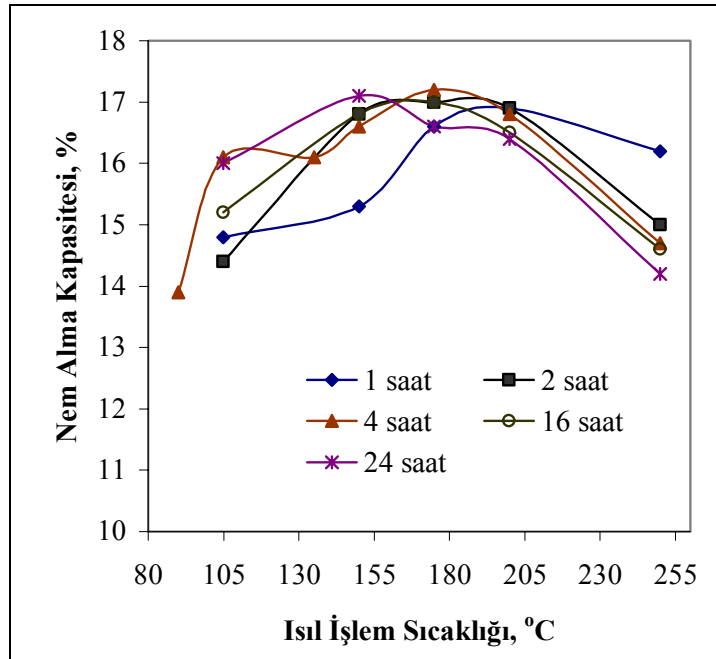
Lalapaşa Bentoniti

Lalapaşa bentonitinin farklı ısıl işlem sıcaklığı ve süreye bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Tablo 5.13’te grafik gösterimi ise Şekil 5.7’de verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nem, 25°C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur. 105, 150, 175, 200°C’deki deneyler etüvde ve saat camında, 250°C’deki deney ise fırında ve porselen kaplarda yapılmıştır.

Lalapaşa bentonit numunesi için optimum ısıl işlem sıcaklığı olarak 150°C uygun görülmüştür. Optimum ısıl işlem süresi olarak ise 2 saat uygun bulunmuştur ve bundan sonra yapılacak olan deneylerde Lalapaşa bentonit numunesi için 150°C’de 2 saat ısıl işlem uygulanmaya karar verilmiştir. Şekil 5.7’den görüleceği üzere 105°C dereceden 150°C’ye çıktığında nem alma kapasitesi 24 saat sonunda %16’dan %17,1’e yükselmekte, 200°C’de ise düşmeye başlamaktadır.

Tablo 5.13 : Lalapaşa Numunesinin Nem Alma Kapasitesi Sonuçları

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	-	-	13,9	-	-
105	14,8	14,4	16,1	15,2	16,0
135	-	-	16,1	-	-
150	15,3	16,8	16,6	16,8	17,1
175	16,6	17,0	17,2	17,0	16,6
200	16,9	16,9	16,8	16,5	16,4
250	16,2	15,0	14,7	14,6	14,2

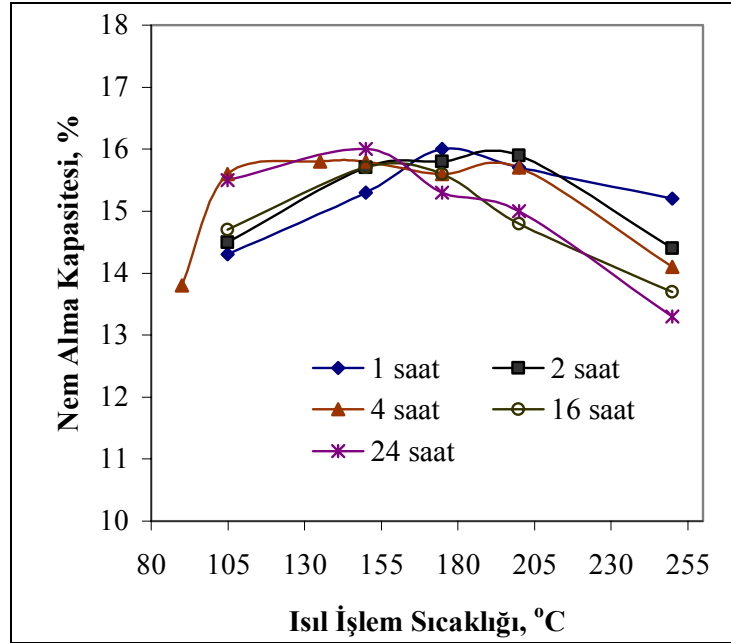
**Şekil 5.7 : Lalapaşa Numunesinin Nem Alma Kapasitesi****Sömaş Bentoniti**

Sömaş bentonitinin farklı ısı işlem sıcaklığı ve sürelerine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Tablo 5.14'te ve Şekil 5.8'de verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur.

Sömaş bentonit numunesi için de optimum ısı işlem sıcaklığı 150°C, optimum ısı işlem süresi olarak 2 saat uygun bulunmuştur.

Tablo 5.14 : Sömaş Numunesinin Nem Alma Kapasitesi

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	-	-	13,8	-	-
105	14,3	14,5	15,6	14,7	15,5
135	-	-	15,8	-	-
150	15,3	15,7	15,8	15,7	16,0
175	16,0	15,8	15,6	15,6	15,3
200	15,7	15,9	15,7	14,8	15,0
250	15,2	14,4	14,1	13,7	13,3

**Şekil 5.8 : Sömaş Numunesi Isıl İşlem Sıcaklığına ve Sürelerine Göre Nem Alma Kapasitesi**

Şekil 5.8 ve Tablo 5.14'ten de görüleceği gibi sıcaklığın 250°C'e çıkması ile nem alma kapasiteleri düşmeye başlamaktadır. Sömaş numunesi maksimum %16 nem alma kapasitesine ulaşmaktadır.

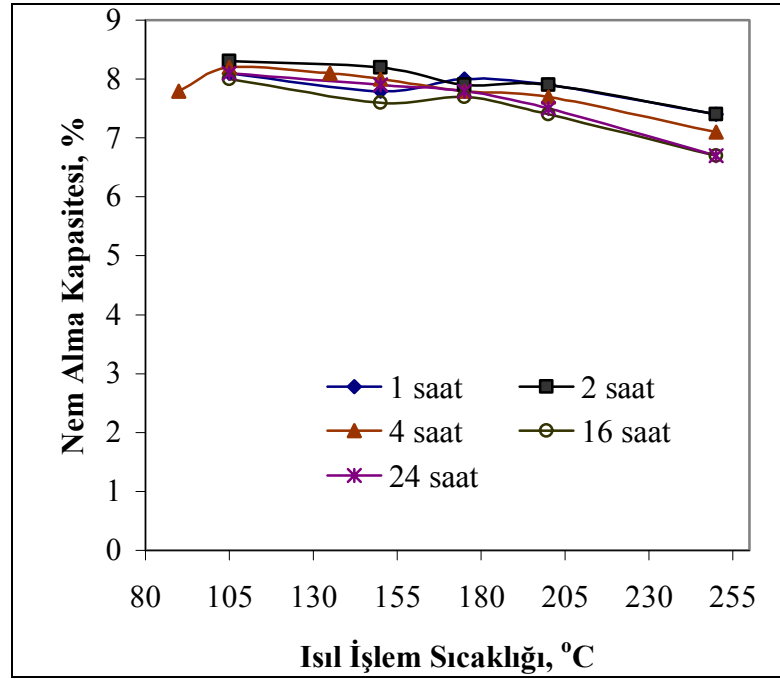
Çanbensan-Sarı Bentoniti

Çanbensan-Sarı bentonitinin farklı ısı işlem sıcaklığına ve sürelerine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Tablo 5.15'te ve Şekil 5.9'da verilmiştir.

İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur.

Tablo 5.15 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Nem Alma Kapasitesi

Isıl İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıl İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	-	-	7,8	-	-
105	8,1	8,3	8,2	8	8,1
135	-	-	8,1	-	-
150	7,8	8,2	8	7,6	7,9
175	8	7,9	7,8	7,7	7,8
200	7,9	7,9	7,7	7,4	7,5
250	7,4	7,4	7,1	6,7	6,7



Şekil 5.9 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Nem Alma Kapasitesi

Çanbensan-Sarı bentonit numunesi için optimum ısıl işlem sıcaklığı olarak 105°C uygun bulunmuştur. Bu numunede sıcaklığın artmasına bağlı olarak az da olsa nem alma kapasiteleri düşmektedir. Çanbensan-Sarı ara tip bentonitin nem alma kapasitesi maksimum %8,3 olmaktadır. Bu da Ca-bentonit olan Lalapaşa ve Sömaş

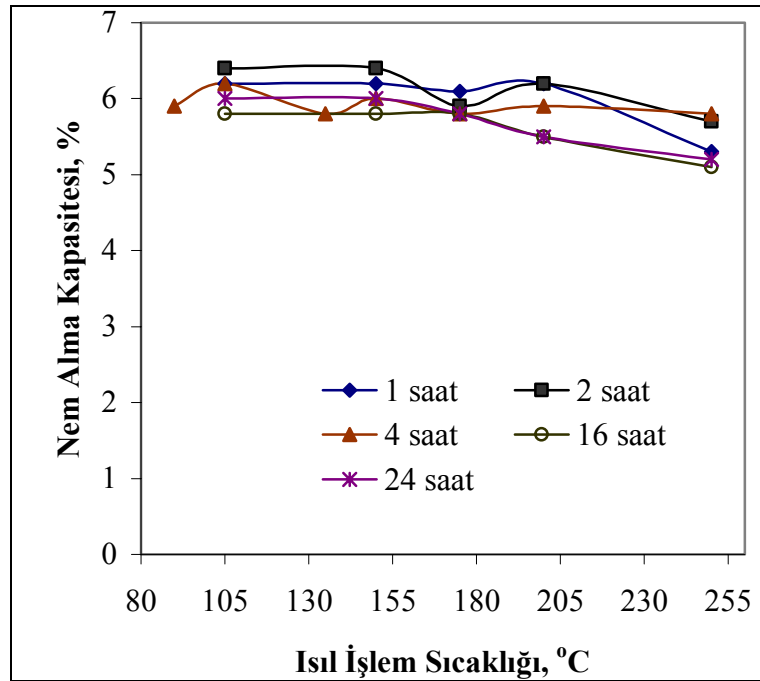
numunelerine göre oldukça düşük bir değerdir. Optimum ısıtım işlem süresi olarak 2 saat uygun görülmüştür.

Reşadiye Bentoniti

Reşadiye bentonitinin farklı ısıtım işlem sıcaklığına ve sürelerine bağlı olarak ölçülen nem alma kapasitesi değerleri Tablo 5.16'da grafiksel gösterimi ise Şekil 5.10'da verilmiştir. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C sıcaklık olmak üzere sabit tutulmuştur.

Tablo 5.16 : Reşadiye Numunesinin Nem Alma Kapasitesi

Isıtım İşlem Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %				
	Isıtım İşlem Süresi, saat				
	1	2	4	16	24
90	-	-	5,9	-	-
105	6,2	6,4	6,2	5,8	6,0
135	-	-	5,8	-	-
150	6,2	6,4	6,0	5,8	6,0
175	6,1	5,9	5,8	5,8	5,8
200	6,2	6,2	5,9	5,5	5,5
250	5,3	5,7	5,8	5,1	5,2



Şekil 5.10 : Reşadiye Numunesinin Nem Alma Kapasitesi

Reşadiye bentonit numunesi için optimum ısı işlem sıcaklığı olarak 105°C, optimum ısı işlem süresi ise 2 saat bulunmuştur ve bundan sonra yapılacak olan deneylerde Reşadiye bentonit numunesi için 105°C’de ısı işlem uygulanmaya karar verilmiştir.

Bir Na-bentonit olan Reşadiye numunesinin nem alma kapasitesi en fazla %6,4 olmaktadır.

Isıl işlem ile ham numuneler üzerinde yapılan deneylerde, numunelerin nem alma kapasiteleri en fazla Lalapaşa %17,1; Sömaş %16,0; Çanbensan-Sarı %8,3 ve Reşadiye bentoniti %6,4 olmaktadır. Yani numuneler Ca-bentonitlerden Na-bentonite gidildikçe daha az nem alabilmektedirler.

Isıl işlem uygulandığında Ca-bentonitler 150°C’de nem alma kapasitesi açısından en iyi duruma gelmektedirler. Ca-bentonitlerin DTA ve TG (Ekte Şekil A.2 ve A.4’de) analizlerinden bu sıcaklığa yakın değerlerde bentonitin adsorpladıkları suyu kaybettikleri anlaşılmaktadır. Ca-bentonitlerin kaybettikleri bu sularını tekrar adsorplama yoluyla geri kazandıkları söylenebilir. DTA eğrisi 250°C’de ısı değişikliğinin yükseldiğini ve sabitlendiğini göstermektedir. Bu sıcaklıkta nem alma kapasite değişiminin düştüğü noktaya karşılık gelmektedir.

Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonitlerin DTA ve TG eğrilerinden (Ekte Şekil A.6 ve A.8) anlaşılabileceği üzere pik noktalar 136 ve 139,2°C derecelerde. Bu da bu numunelerin neden en fazla 105°C civarında nem alma kapasitesine sahip olduklarının bir sebebi olabilir. Ayrıca yine TG eğrilerinden Ara-bentonit olan Çanbensan-Sarı ve Na-bentonit olan Reşadiye’nin ağırlık kayıpları yaklaşık 175°C civarında sabitlenmektedir. Bu sıcaklıktan sonra bünyeden su çıkmaması nedeniyle, artık bünyeye su girişinin de durduğunu söylenebiliriz.

Çanbensan-Sarı ve Reşadiye numunelerinin nem alma kapasiteleri düşük olduğundan bundan sonraki çalışmalarda sadece merak edildiği durumlarda incelenmiş, çalışmalara iki farklı bölgeden gelen Ca-bentonit olan Lalapaşa ve Sömaş numunelerine ağırlık verilerek devam edilmiştir.

Boyutlandırma (Tane Boyutunun Etkisi)

4 farklı bentonit numunesinin nem alma kapasitesine tane boyutunun etkisini incelemek amacıyla numuneler -4,75+1 mm, -4,75+0,5 mm ve -4,75 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Burada amaç, endüstriyel uygulamada istenmeyen toz

kısımın ayrılması durumunda nem alma kapasitelerinin nasıl değişeceği konusunda bir fikir sahibi olmaktır. Bu numunelerle optimum ısıtım sıcaklık ve sürelerinde (Lalapaşa ve Sömaş için 150°C 2 saat, Çanbensan-Sarı ve Reşadiye için 105°C 2 saat) etüvde kurutulmuştur. Ardından iklimlendirme dolabında bekletilerek nem alma kapasiteleri incelenmiştir.

Lalapaşa Bentoniti

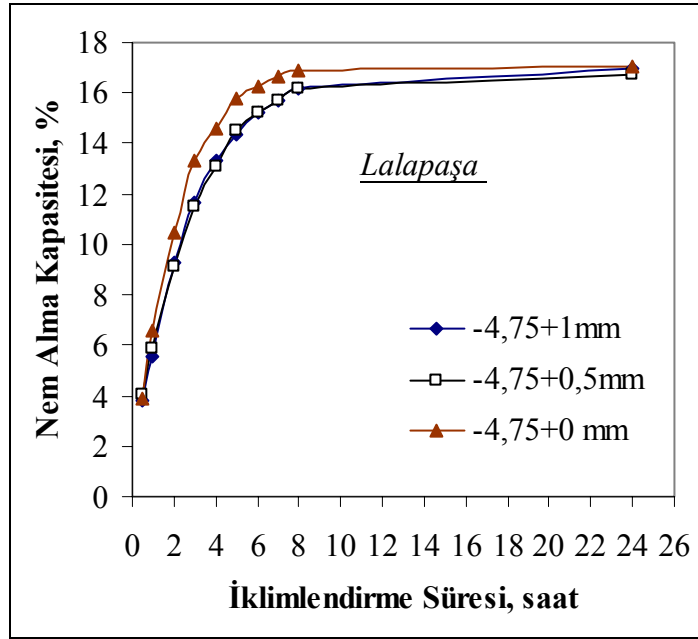
Lalapaşa bentonit numunesi üç farklı boyut grubunda hazırlanarak etüvde 150°C’de 2 saat ısıtım işlemine tabi tutulduktan sonra desikatörde soğutulup iklimlendirme dolabına koyulmuştur. Numuneler bir saat aralıklarla tartılarak nem alma kapasitesi hesaplanmıştır. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C’dir. Elde edilen nem alma kapasitesi değerleri Tablo 5.17’de verilmiştir. Grafiksel gösterim ise Şekil 5.11’de verilmektedir.

Deney sonuçlarına bakıldığında farklı boyut gruplarında hazırlanan numunelerinin nem alma kapasitelerinde önemli derecede değişim olmadığı anlaşılmıştır. Bu yüzden de bundan sonraki deneylerde numuneler -4,75 mm boyutunda hazırlanarak deneylere devam edilmiştir.

Tablo 5.17 : Lalapaşa Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

İklimlendirme Süresi, saat	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Boyut Aralığı		
	-4,75+1mm	-4,75+0,5mm	-4,75+0mm
0,5	3,8	4,0	3,9
1	5,6	5,9	6,6
2	9,3	9,1	10,5
3	11,7	11,5	13,3
4	13,3	13,1	14,6
5	14,4	14,5	15,7
6	15,2	15,3	16,2
7	15,7	15,7	16,7
8	16,2	16,1	16,9
24	17,0	16,7	17,1

24 saat sonundaki ölçümler pek fazla değişmediğinden ölçümler sonuçlandırılmıştır.



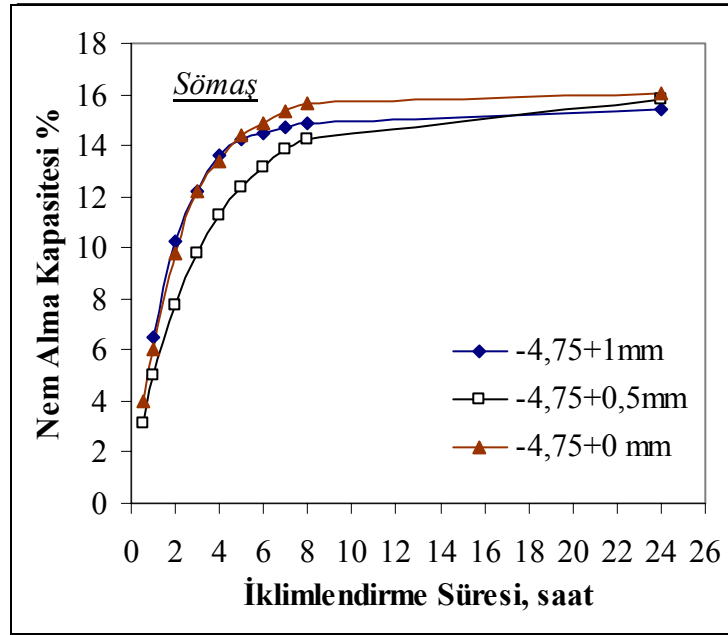
Şekil 5.11 : Lalapaşa Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

Sömaş Bentoniti

Sömaş bentonit numunesi üç farklı boyut grubunda hazırlanarak etüvde 150°C’de 2 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C’dir. Tablo 5.18’te hesaplanan nem alma kapasite değerleri Şekil 5.12’de grafiksel gösterimi verilmiştir.

Tablo 5.18 : Sömaş Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

İklimlendirme Süresi, saat	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Tane Boyutu		
	-4,75+1mm	-4,75+0,5mm	-4,75+0 mm
0,5	3,8	3,1	4,0
1	6,5	5,0	6,1
2	10,3	7,7	9,8
3	12,2	9,8	12,2
4	13,6	11,3	13,4
5	14,3	12,3	14,4
6	14,5	13,2	14,9
7	14,7	13,8	15,4
8	14,9	14,3	15,6
24	15,4	15,8	16,0



Şekil 5.12 : Sömaş Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

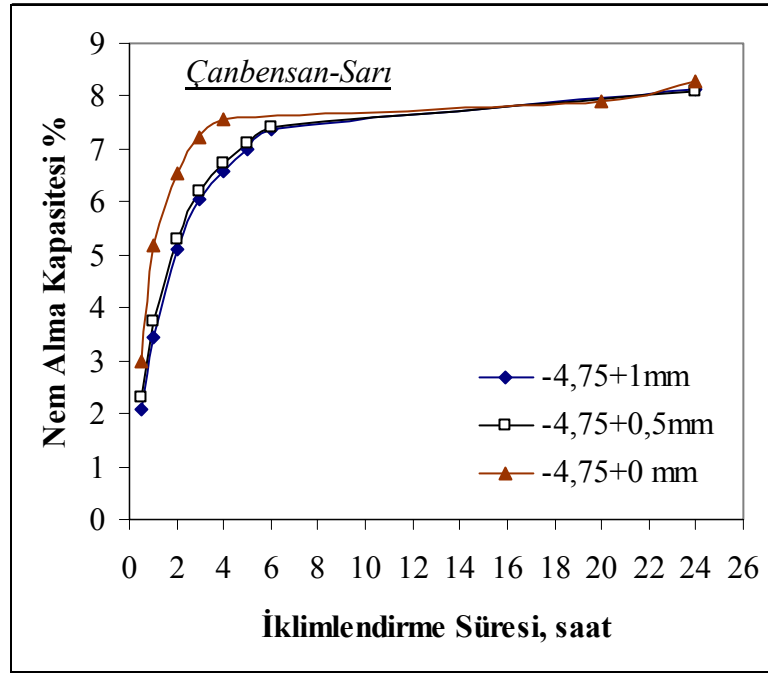
Deney sonuçlarına bakıldığında farklı boyut gruplarında hazırlanan numunelerinin nem alma kapasitelerinde önem verecek derecede değişim olmadığı anlaşılmıştır.

Çanbensan-Sarı Bentoniti

Çanbensan-Sarı bentonit numunesi üç farklı boyut grubunda hazırlanarak etüvde 105°C’de 2 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C’dir. Tablo 5.19’da hesaplanan nem alma kapasite değerleri grafiksel gösterimi ise Şekil 5.13’te verilmiştir.

Tablo 5.19 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

İklimlendirme Süresi, saat	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Boyut Aralığı		
	-4,75+1mm	-4,75+0,5mm	-4,75+0 mm
0,5	2,1	2,3	3,0
1	3,5	3,7	5,2
2	5,1	5,3	6,5
3	6,0	6,2	7,2
4	6,6	6,7	7,6
5	7,0	7,1	7,9
6	7,4	7,4	8,3
24	8,1	8,1	8,3



Şekil 5.13 : Çanbensan-Sarı Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

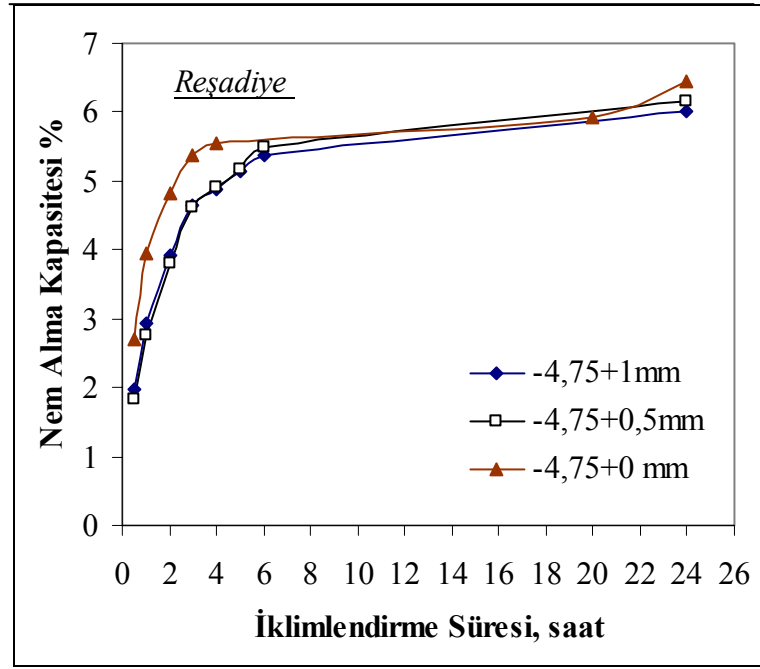
Deney sonuçlarına bakıldığında tamamı 4,75 mm boyut grubun altında hazırlanan numune optimum sonuç verdiği görülmektedir. Bundan sonraki deneylerde numuneler bu boyut grubunda hazırlanacaktır.

Reşadiye Bentoniti

Reşadiye bentonit numunesi üç farklı boyut grubunda hazırlanarak etüvde 105°C'de 2 saat ısıtılma işlemine tabi tutulmuştur. İklimlendirme dolabındaki koşullar %50 bağıl nemde 25°C'dir. Tablo 5.20'de ve Şekil 5.14'te hesaplanan nem alma kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 5.20 : Reşadiye Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

İklimlendirme Süresi, saat	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Boyut Aralığı		
	-4,75+1mm	-4,75+0,5mm	-4,75+0 mm
0,5	2,0	1,8	2,7
1	2,9	2,8	4,0
2	3,9	3,8	4,8
3	4,6	4,6	5,4
4	4,9	4,9	5,6
5	5,1	5,2	5,9
6	5,4	5,5	6,1
24	6,0	6,1	6,4



Şekil 5.14 : Reşadiye Numunesinin Boyuta Göre Nem Alma Kapasitesi

Deney sonuçlarına bakıldığında -4,75 mm boyut grubunda hazırlanan numune optimum sonuç verdiği görülmektedir. Bundan sonraki deneylerde numuneler bu boyut grubunda hazırlanacaktır.

Desikant killer için bazı standartta (**İngiliz Standart, BS 7529,1991**) toz içeriğinin düşük olması gerektiği belirtilmektedir. Bu amaca yönelik yapılan çalışmalarda, numunelerin 1 mm ve 0,5 mm altındaki boyutları ayırmadan tamamı 4,75 mm altında hazırlanarak yapılan deneyler sonucunda ince boyutların ayrılması ile nem alma kapasitelerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Desikant killer endüstriyel boyutta elek ile ince kısımları ayrılarak hazırlanabileceği gibi, eğer malzeme kaybı söz konusu ise, tamamı -4,75 mm'e indirilerek ham halinde iri boyutlarda şekilli hazırlanarak ürün üretilmesi de mümkündür. Bu konuda yapılan çalışmalar sonraki bölümlerde verilmektedir.

Zenginleştirme Çalışmaları Sonuçları

Bentonit numunelerinin zenginleştirme çalışması Ca-bentonit olan Lalapaşa ve Sömaş numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Zenginleştirme çalışmaları hidrosiklon, yaş elek analizi ile boyuta göre ayırma ve selektif kırma olmak üzere üç farklı metot ile denenmiştir.

Hidrosiklon İle Zenginleştirme

Bentonitin zenginleştirilme işlemi malzemeyi önce pervaneli dağıtıcıya (skrap) besleyip dağıttıktan sonra hidrosiklonda yapılmıştır. Hidrosiklon genellikle ince boyutlarda hem boyut farkına hem de yoğunluk farkına göre ayırma yapan bir cihazdır. Hidrosiklonla ayırmada en etkin parametrelerden birisi apeks (alt akım çıkış) çapıdır. Apeks çapı büyüdükçe sabit besleme değerleri için daha hassas ayırma yapmak mümkündür. Bentonitin su içerisinde dağılma özelliğinden faydalanmak suretiyle hidrosiklon kullanılarak empüritelerin sistemden uzaklaştırılması mümkündür. İri ve nispeten yoğun olan empüriteler alt akımdan çıkarken, üst akımdan da temiz bentonit alınmaktadır. Bu amaçla hidrosiklon deneylerinde küçükten büyüğe doğru çeşitli apeks çapları denenmiştir.

Pervaneli dağıtıcıya beslenen malzeme pülpte katı oranı %30 olacak şekilde hazırlanmış ve yaklaşık 1,5 saatte 700 devir/dak hızla dağıtılmıştır. Pervaneli dağıtıcıdan çıkan nispeten dağılmış bentonit numunesi 500 mikronluk elekten elenerek eleğin üstünde kalan iri kısım artık olarak ayrılmıştır. Elek altı malzeme ise hidrosiklona beslenmiştir.

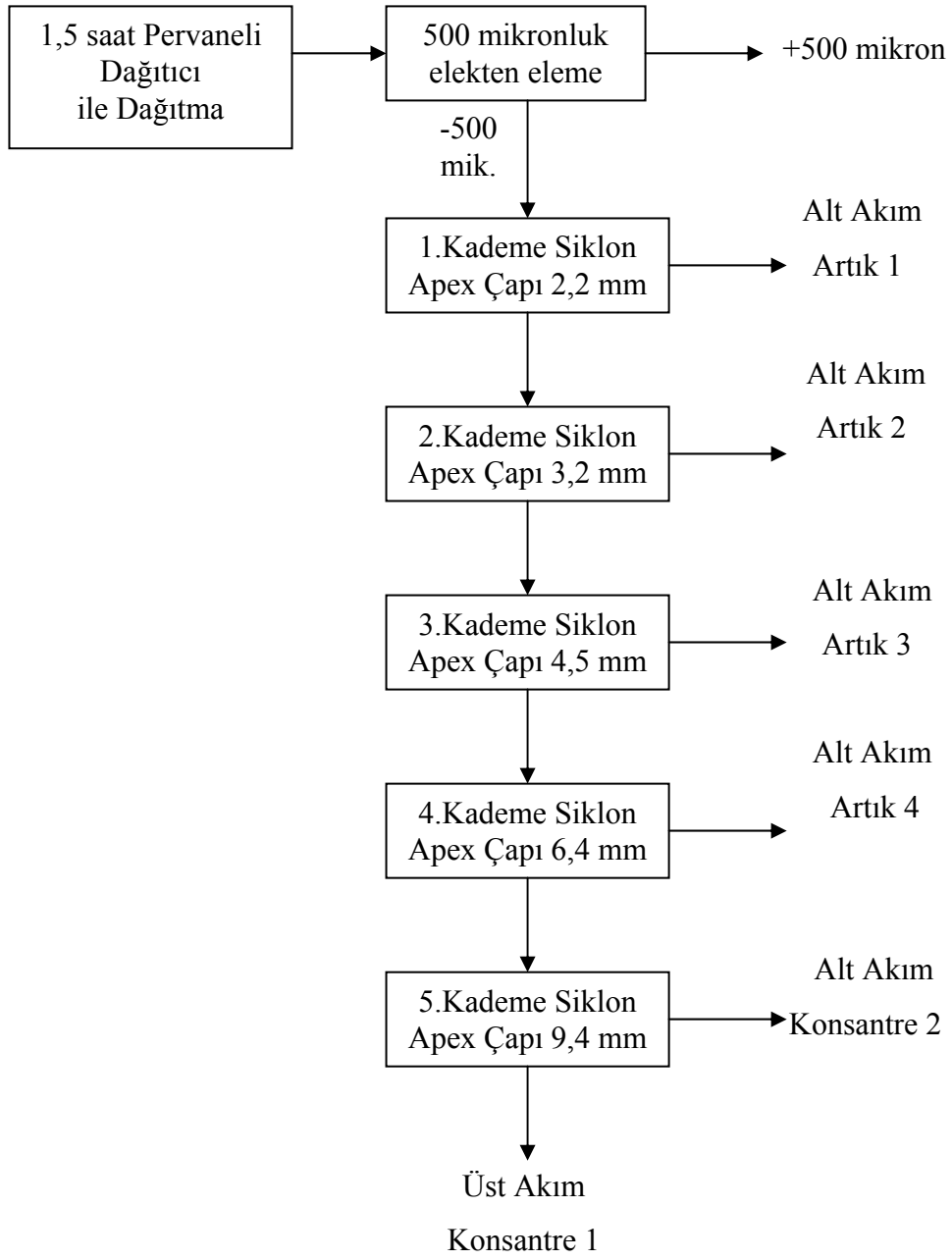
Siklona beslenen malzeme pülpte katı oranı %10 olacak şekilde hazırlanmış ve yaklaşık 1-2 bar basınçla siklona beslenmiştir. Deneyde Şekil 5.15'te görülen pilot tesis ölçekli Mozley C-705 model hidrosiklon kullanılmıştır. Deneylerde hidrosiklonun gövde çapı 50 mm ve vorteks (üst akım çıkış) çapı da 11,1 mm olarak sabit tutulmuştur. Numune kademeli olarak 5 farklı çapta (2,2 mm, 3,2 mm, 4,5 mm, 6,4 mm ve 9,4 mm) apeks (alt akım çıkış) ucu kullanılarak siklondan geçirilmiştir. 5 kademede yapılan zenginleştirme deneylerinde Şekil 5.16'da görülen akım şeması izlenmiştir.

Her kademenin üst akımı bir sonraki kademeye beslenmiştir. Alt akımlar Artık 1, Artık 2, Artık 3, Artık 4 ve Konsantre 2; en son siklondan gelen üst akım ise Konsantre 1 olarak isimlendirilmiştir. Elde edilen ürünler üzerinde nem alma ve katyon değiştirme kapasitesi (KDK) testleri yapılmıştır. Yapılan hidrosiklon deneyinden elde edilen ürünlerin miktarları, nem alma kapasiteleri ve kalitelerini belirlemek amacıyla yapılan katyon değiştirme kapasitesi testlerin sonuçları Lalapaşa numunesi için Tablo 5.21'de ve Sömaş numunesi için ise Tablo 5.22'de verilmiştir. Nem alma kapasitesi ile katyon değiştirme kapasitesi arasında bir ilişkinin olup

olmadığını görmek için bu değerlerle bir eğri çizilmiştir. Eğri Şekil 5.17’de verilmektedir.



Şekil 5.15 : Mozley C-705 Hidrosiklon



Şekil 5.16 : Zenginleştirme Deneyi Akım Şeması

Tablo 5.21 : Lalapaşa Numunesi Zenginleştirme Ürünlerinin Nem Alma ve Katyon Değiştirme Kapasitesi Değerleri

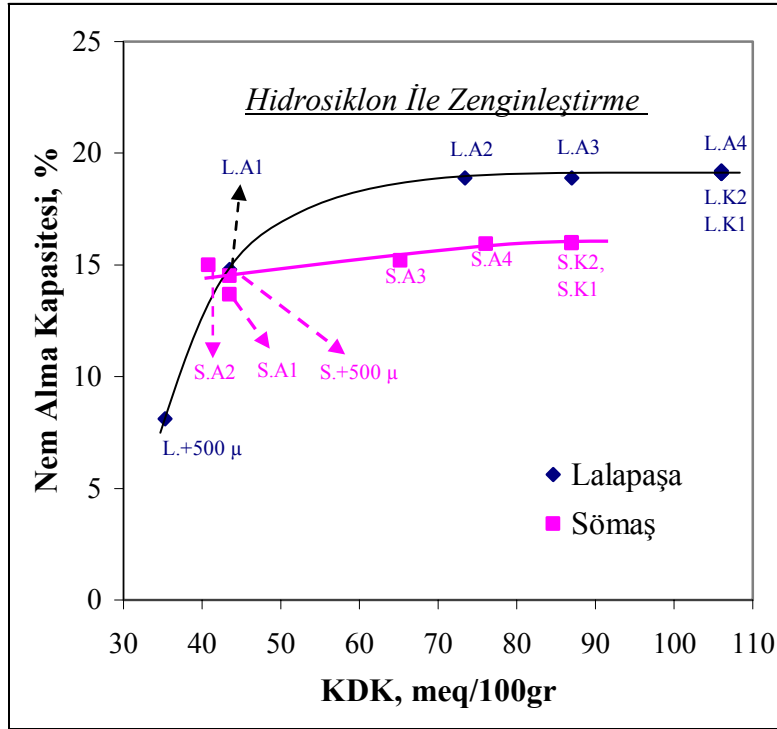
Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %	KDK Değerleri, meq/100gr
+500 mikron	11,2	8,1	35,3
Artık 1	39,6	14,8	43,5
Artık 2	17,3	18,9	73,4
Artık 3	7,6	18,9	87,0
Artık 4	7,4	19,1	106,0
Konsantre 2	8,9	19,2	106,0
Konsantre 1	8,0	19,1	106,0
TOPLAM (Beslenen)	100,0	16,5	65,2

Tablo 5.22 : Sömaş Numunesi Zenginleştirme Ürünlerinin Nem Alma ve Katyon Değiştirme Kapasitesi Değerleri

Ürünler	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %	KDK Değerleri, meq/100gr
+500 mikron	3,9	14,5	43,5
Artık 1	35,8	13,7	43,5
Artık 2	12,8	15,0	40,8
Artık 3	6,9	15,7	65,2
Artık 4	7,1	15,9	76,1
Konsantre 2	11,3	16,0	87,0
Konsantre 1	22,2	16,0	87,0
TOPLAM (Beslenen)	100,0	15,7	61,5

Lalapaşa numunesinin en temiz konsantrede katyon değiştirme kapasite değeri Tablo 5.21’de görüldüğü gibi 106 meq/100gr olurken, en kötü artıktaki 35,3 meq/100gr’a düşmektedir. Nem alma kapasitesi ise en temiz üründe %19,1 ve en kötü artıktaki %8,1 olmuştur. Sömaş örneğinde ise en temiz üründe KDK değeri 87,0 meq/100 gr

olurken en kötü artıktaki 43,5 meq/100 gr olmaktadır. Ancak nem alma kapasitesi en temiz üründe %16,0 ve en kötü artıktaki %14,5 olması nem alma açısından ancak 1-2 derece iyileşme olduğunu göstermektedir.



Açıklama:
Lalapaşa
+500 mikron-L.+500µ
Artık 1-L.A1
Artık 2-L.A2
Artık 3-L.A3
Artık 4-L.A4
Konsantre 2-L.K2
Konsantre 1-L.K1
Sömaş
+500 mikron-S.+500µ
Artık 1-S.A1
Artık 2-S.A2
Artık 3-S.A3
Artık 4-S.A4
Konsantre 2-S.K2
Konsantre 1-S.K1

Şekil 5.17 : Hidrosiklon Ürünlerinin Nem Alma Kapasitesi İle Katyon Değiştirme Kapasitesi Arasındaki İlişki

Her iki bentonit numunesi için katyon değiştirme kapasitesi değerlerinin artması zenginleştirme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir.

Fakat, Sömaş numunesi için aynı sonuçlar desikant kil üretimi çalışmalarına yansımamıştır. Ürünlerin kalitesi arttıkça nem alma kapasiteleri ancak %1-2 oranında artmıştır. Tüvenana göre de büyük farklılıklar yoktur. Bu yüzden de bu bentonit numunesinden desikant kil üretimi için zenginleştirme yapılmasının önemli bir fayda sağlamayacağı anlaşılmaktadır.

Lalapaşa numunesinin nem alma kapasitesi “Artık 2” üründen itibaren gittikçe artmıştır. Bu numune için nem alma kapasitesi %18’in üzerinde ve KDK değeri ise 73,4 meq/100 gr üstü olan miktar olarak da malzemenin %49,2’sini oluşturan katkısız halde desikant kil üretilmesi mümkün olmaktadır.

Yaş Elek Analizi İle Zenginleştirme

Deneyler Ca-bentonit olan Lalapaşa ve Sömaş numuneleri üzerinde laboratuvar tipi standart elekler kullanılarak yapılmıştır. Yaş eleme sonucu çıkan elek ürünlerinin

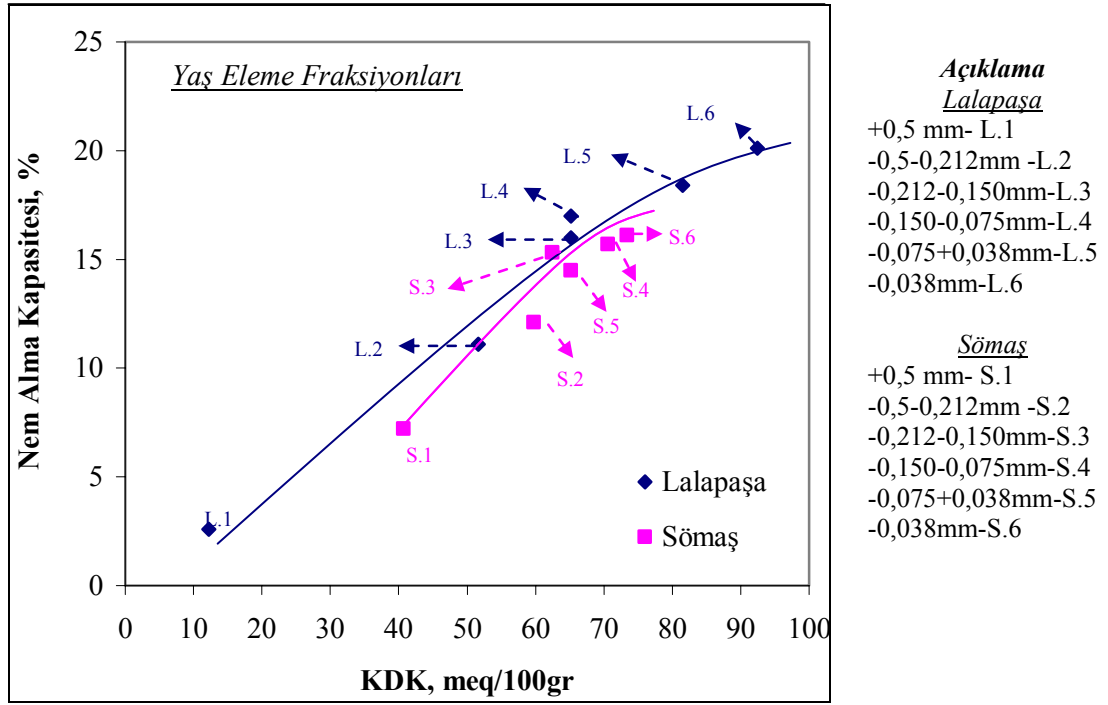
nem alma kapasiteleri ve KDK değerleri incelenmiştir. Nem alma kapasitesi deneyi önceki çalışmalarda belirtildiği gibi numuneler 150°C’de, 4 saat etüvde kurutularak yapılmıştır. İklimlerme dolabında ise sabit koşullarda (25°C sıcaklık ve % 50 bağıl nem) 24 saat bekletilmiştir. Bu deneylerin sonuçları Tablo 5.23 ve 5.24’te ve bu sonuçlara göre çizilen grafik ise şekil 5.18’de görülmektedir.

Tablo 5.23 : Lalapaşa Numunesinin Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri

Boyut, mm	Miktar, %	Nem Alma Kapasitesi, %	KDK Değeri, meq/100gr
+0,5	5,9	2,6	12,2
-0,5+0,212	14,9	11,1	51,6
-0,212+0,150	13,3	16,0	65,2
-0,150+0,075	21,2	17,0	65,2
-0,075+0,038	11,6	18,4	81,5
-0,038	33,1	20,1	92,4

Tablo 5.24 : Smaş Numunesinin Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasitesi ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri

Boyut, mm	Miktar, %	Nem Alma Kapasitesi, %	KDK Değeri, meq/100gr
+0,5	4,4	7,2	40,7
-0,5+0,212	7,3	12,1	59,8
-0,212+0,150	6,2	15,3	62,5
-0,150+0,075	23,2	15,7	70,6
-0,075+0,038	14,9	14,5	65,2
-0,038	44,0	16,1	73,4



Şekil 5.18 : Farklı Boyut Gruplarında Nem Alma Kapasitesi ve KDK Değerleri

Tablo 5.23 ve 5.24 ve Şekil 5.18'den görülebileceği gibi Lalapaşa numunesinin 0,038 mm altı malzemesinin nem alma kapasitesi %20,1 ve tüvenan malzemeye göre ağırlıkça %33,1'üdür. Numune 0,038 mm'lik boyut grubundan ayırma gibi basit bir işlemle ticari ürün ve standartlara uygun bir desikant kil olabilmektedir. Ancak aynı durum Sömaş numunesi için geçerli değildir. Bu numunenin elek fraksiyonları ile tüvenan malzeme arasında nem alma kapasitesi açısından önemli bir farklılık olmamaktadır.

Selektif Kırma İle Zenginleştirme

İri boyutlarda topaklanarak kalan bentoniti, sert yan taşlarından seçimli kırma yöntemi ile ufalanarak zenginleştirme yoluna gidilmiştir. Burada bentonitin yan taşına göre daha kolay ufalanabileceği düşünülmüştür. Bu görüşten yola çıkarak Lalapaşa ve Sömaş numuneleri Çekiçli kırıcı yardımı ile kırılmıştır. Kırma işlemi sonucu elde edilen malzeme farklı boyut gruplarına ayrılarak nem alma kapasitesi ve KDK değerleri saptanmıştır. Elde edilen deney sonuçları Tablo 5.25 ve 5.26'da verilmektedir.

Elde edilen sonuçlarda da görüldüğü gibi selektif bir kırma olmadığı anlaşılmaktadır. Sadece bentonitin değil yan taşların da kırılarak ince boyuta geçmiş olabileceği düşünülmüştür. 0,1 mm altında kalan malzemenin kalitesi tüvenandan daha düşük olduğu KDK değerleri sonucundan anlaşılmaktadır.

Tablo 5.25 : Lalapaşa Numunesinin Selektif Kırma İle Elde Edilen Nem Alma ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri

Boyut Fraksiyonları, Mm	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %	KDK Değerleri, meq/100gr
+1,0	0,9	16,3	76,1
-1,0+0,5	22,0	14,6	65,2
-0,5+0,2	26,6	15,0	59,8
-0,2+0,1	23,5	16,3	70,6
-0,1	27,0	18,4	59,8

Tablo 5.26 : Sömaş Numunesinin Selektif Kırma İle Elde Edilen Nem Alma ve Katyon Değişim Kapasitesi Değerleri

Boyut Fraksiyonları, Mm	Miktar, %	Nem Alma Kapasiteleri, %	KDK Değerleri, meq/100gr
+1,0	2,3	15,1	67,9
-1,0+0,5	28,9	15,3	67,9
-0,5+0,2	27,8	15,7	62,5
-0,2+0,1	19,5	14,9	65,2
-0,1	21,5	13,8	46,2

Katkı Madde İlavesi (Değişik Reaktiflerle Muamele)

CaCl₂'ün Nem Alma Kapasitesine Etkisi

Bentonit numuneler katkı maddesi olarak CaCl₂ ile farklı şekillerde karıştırılmıştır. Karışım elde etmek için 12 gr'lık numuneler CaCl₂ Ca-bentonitler için %1-10 oranında, Na ve ara bentonitler için %1-20 oranında eklenerek hazırlanmıştır. Karıştırma, bentonitin CaCl₂ ile bir spatula yardımı ile kuru olarak bir kaç dakika karıştırma ve bentonitin üzerine suda çözündürülmüş CaCl₂ eklenerek yine bir spatula yardımıyla hamur karışım şeklinde yapılmıştır.

Lalapaşa ve Sömaş bentonit numuneler CaCl₂ ile kuru ve hamur şeklinde karıştırılarak desikant kil karışımları elde edilmiştir. Bu karışımlar 150°C'de etüvde ısıtılma tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C'de bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Tablo 5.27 ve 5.28'de gösterilmektedir. Grafiksel gösterimi ise Şekil 5.19 ve 5.20'de verilmektedir.

Tablo 5.27 : CaCl₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi (Kuru Karışım)

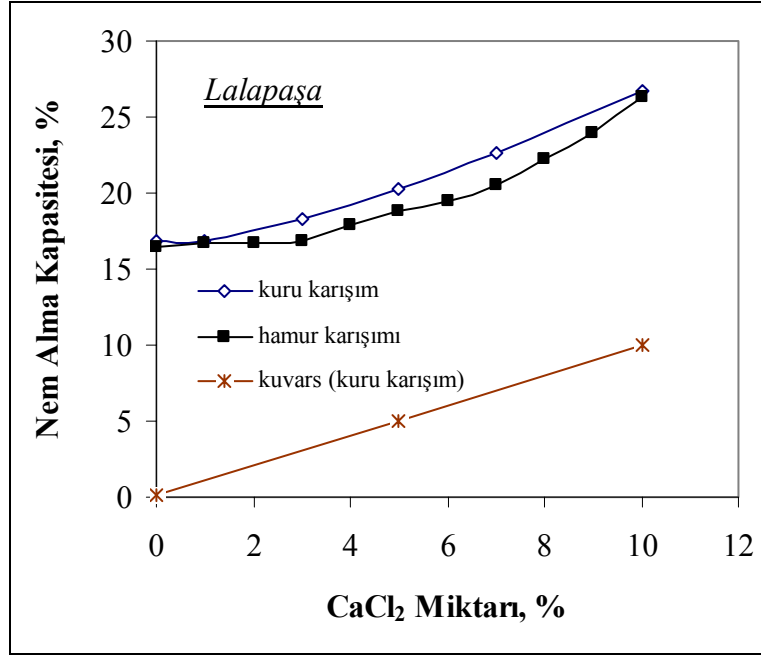
CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %	
	Lalapaşa	Sömaş
0	16,8	15,7
1	16,8	15,8
3	18,3	17,7
5	20,3	19,4
7	22,6	21,4
10	26,7	26,3

Tablo 5.27’de görüldüğü gibi kuru olarak %5 oranında CaCl₂ ilavesi ile Lalapaşa numunesi endüstriyel ve standartlarda istenen %20 nem alma kapasitesine erişmektedir. Sömaş numunesi ise ağırlıkça %6’lık CaCl₂ ilavesi ile bu değere ulaşması mümkün görülmektedir. Ayrıca nem alma özelliği olmayan kuvars numunesinin CaCl₂’e göre davranışı aynı koşullarda incelenmiştir. Elde edilen değerler CaCl₂’ün etkisini görmek üzere grafikler üzerinde gösterilmiştir. CaCl₂ tek başına (kuvars karışımından elde edilen sonuçlara göre) daha iyi bir nem çekicidir. Bentonit ile karıştırıldığında nem alma kapasitesi biraz düşmektedir. Bentonit ile CaCl₂ karışımı herhangi bir sinerji yaratmamakta, ancak bentonit CaCl₂ ile karıştırıldığında hem kendi nem alma kapasitesini arttırmakta hem de nem alarak sıvılaştıran CaCl₂ için iyi bir taşıyıcı olmaktadır.

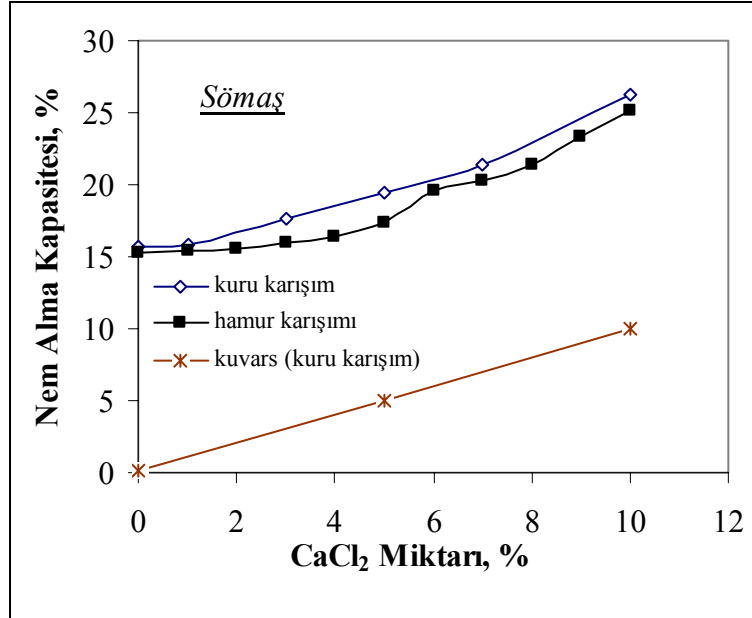
Tablo 5.28 : CaCl₂ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi (Hamur Karışımı)

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %	
	Lalapaşa	Sömaş
0	16,4	15,3
1	16,7	15,4
2	16,7	15,5
3	16,9	15,9
4	17,9	16,4
5	18,8	17,4
6	19,5	19,5
7	20,5	20,2
8	22,2	21,4
9	23,9	23,4
10	26,3	25,2

Tablo 5.28’de görüldüğü gibi CaCl_2 suda çözündürerek hamur halinde bentonit numunesiyle karıştırıldığında ağırlıkça %7 oranında ilave edilerek %20 nem alma kapasite değerine erişmektedir.



Şekil 5.19 : Lalapaşa Numunesinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi



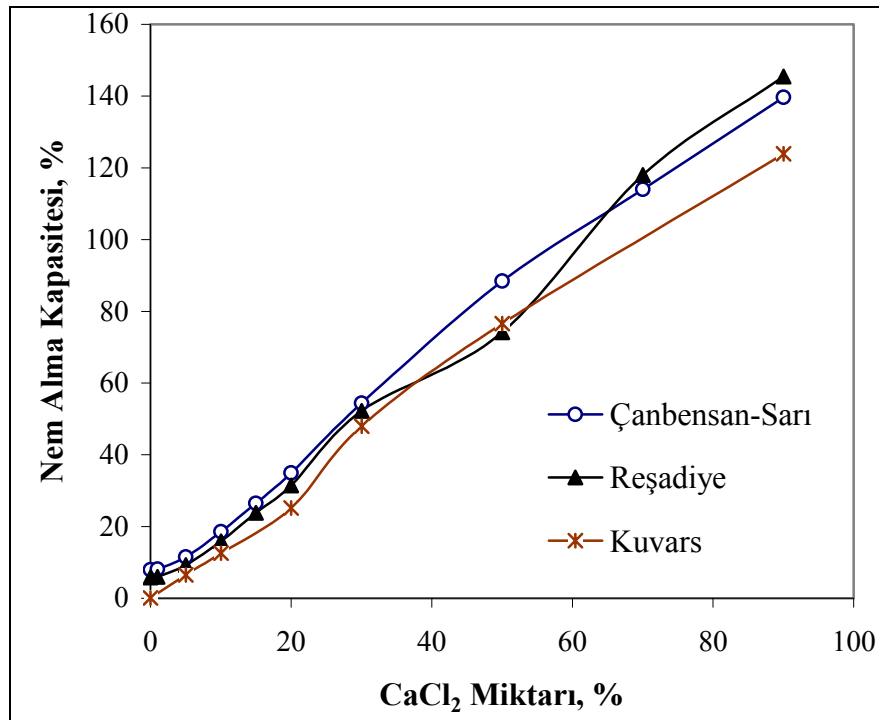
Şekil 5.20 : Sömaş Numunesinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl_2 'nin, bentonite kuru ve hamur halinde karıştırılması pek farklılık göstermemektedir. Ama endüstriyel ürünlerin şekilli hazırlanması düşünüldüğünden hamur halinde hazırlanması daha uygun olacaktır.

Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonit numuneleri ve yine karşılaştırma yapmak amacıyla kuvars CaCl_2 ile kuru olarak karıştırılarak karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımlar 105°C 'de etüvde ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C 'de bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Tablo 5.29'da ve Şekil 5.21'de gösterilmektedir.

Tablo 5.29 : Çanbensan-Sarı, Reşadiye ve Kuvars Numunelerinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Çanbensan-Sarı	Reşadiye	Kuvars
0	7,9	5,8	0,1
1	8,1	6	-
5	11,5	9,3	6,5
10	18,5	15,9	12,6
15	26,5	23,8	-
20	34,9	31,5	25,1
30	54,4	52,2	48
50	88,5	74,2	76,6
70	114,1	118,0	-
90	139,7	145,5	123,9



Şekil 5.21 : Çanbensan-Sarı, Reşadiye ve Kuvars Numunelerinin CaCl_2 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Şekillerde görüldüğü gibi CaCl_2 miktarının artması, bentonitin nem alma kapasitesini arttırmaktadır. Ticari ürünler ve standartlarda bir desikant kilin %50 bağıl nemde en az %20 nem alma kapasitesine sahip olması istenmektedir. Deneyde kullanılan Ca-bentonit numuneleri için bu değere %5-6 CaCl_2 ilavesiyle ulaşırken Na ve ara bentonit numuneleri için %15 CaCl_2 ilave edilmesi gerekmektedir. Ayrıca Ca-bentonitlerde denenen CaCl_2 'ün kuru ve hamur olarak farklı şekillerle bentonit ile karıştırmanın önemli bir değişimi olmadığından bundan sonraki deneylerde CaCl_2 'ü bentonite kuru olarak eklenmesine karar verilmiştir.

Ayrıca bentonitin yan taşlarından olan kuvarsın nem alma özelliğini anlayabilmek ve daha bentonitlerle kıyaslayabilmek amacıyla kuvars numunesi değişik oranlarda CaCl_2 ile karıştırılmış ve bentonit ile yapılan, desikant kil üretimi deney metodu uygulanmıştır. Şekil 5.20'den görüldüğü üzere saf kuvarsın nem alma kapasitesi %0'dır. CaCl_2 katıldığı oranda kuvarsın nem alma kapasitesi de artmaktadır. Kuvars ile karışım halinde sadece CaCl_2 'ün nem tuttuğu anlaşılmaktadır. Ara tip ve Na-bentonitlerin nem alma kapasitesi hiç nem alamayan kuvarsa göre daha iyi olup ancak CaCl_2 miktarı artışına bağlı olarak aradaki fark kapanmaya başlamaktadır.

CaSO_4 'ün Nem Alma Kapasitesine Etkisi

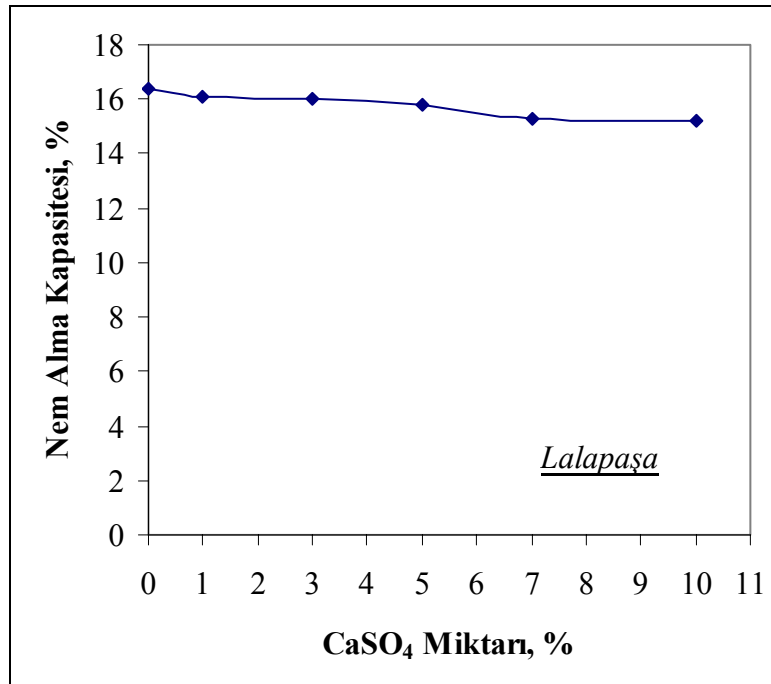
Lalapaşa bentonit numunesi katkı maddesi olarak CaSO_4 ile karıştırılmıştır. Karışımı elde etmek için 12 gr'lık bentonit numunesi CaSO_4 oranı %1-10 olacak şekilde kuru olarak karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlar 150°C 'de etüvde ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C 'de bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Tablo 5.30'da ve Şekil 5.22'de gösterilmektedir.

Şekil 5.22'de görüldüğü üzere Lalapaşa bentonit numunesinin CaSO_4 miktarı artışına bağlı olarak nem alma kapasitesi üzerinde olumlu bir etkisi olmamaktadır. Literatürde jipsin (<http://www.desiccant.mobi/Desiccant-Types.php>, 2007) bir nem alıcı olduğu belirtilmesine rağmen herhangi bir olumlu etkisi gözlenmemiştir. Lalapaşa numunesi en iyi nem alan örnek olduğundan diğer numuneler üzerinde deney yapmaya gerek duyulmamıştır.

Tablo 5.30 :Lalapaşa Numunesinin CaSO_4 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaSO_4 Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %
0	16,4
1	16,1
3	16,0
5	15,8
7	15,3
10	15,2



Şekil 5.22 :Lalapaşa Numunesinin CaSO_4 Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

MgCl₂'ün Etkisi

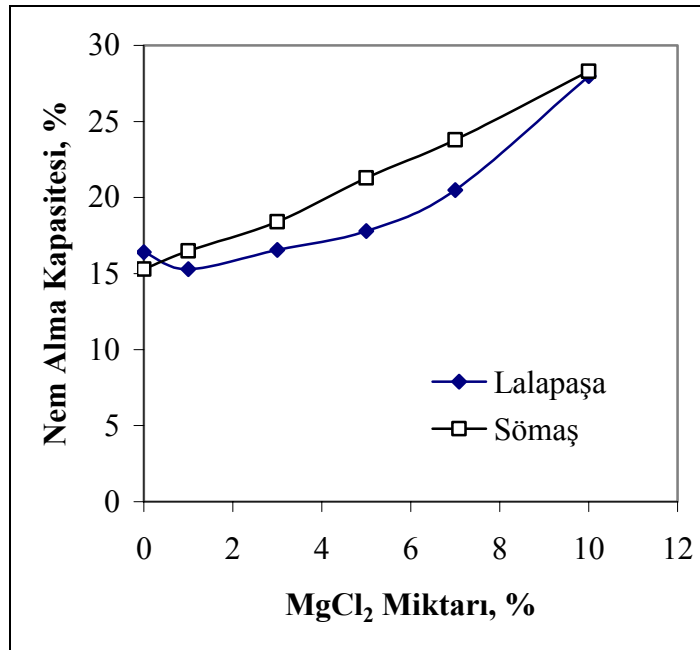
Lalapaşa ve Sömaş bentonit numuneleri katkı maddesi olarak MgCl_2 ile karıştırılmıştır. Karışım elde etmek için 12 gr'lık bentonit numunesi MgCl_2 miktarı %1-10 olacak şekilde kuru olarak karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlar 150°C 'de etüvde ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C 'de bekletilmiştir.

Nem alma kapasiteleri Tablo 5.31’de, grafiksel gösterimi ise Şekil 5.23’te verilmektedir.

Tablo 5.31 : $MgCl_2$ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

$MgCl_2$ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %	
	Lalapaşa	Sömaş
0	16,4	15,3
1	15,3	16,5
3	16,55	18,4
5	17,8	21,3
7	20,5	23,8
10	28,0	28,3



Şekil 5.23 : $MgCl_2$ Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Şekil 5.23’ten görüldüğü üzere $MgCl_2$ ’ün miktarı arttıkça Ca-bentonitlerin nem alma kapasitesi artmaktadır. Lalapaşa numunesi için %7 $MgCl_2$ ve Sömaş numunesinde %5 $MgCl_2$ ilavesi ile istenen değere ulaşılmaktadır.

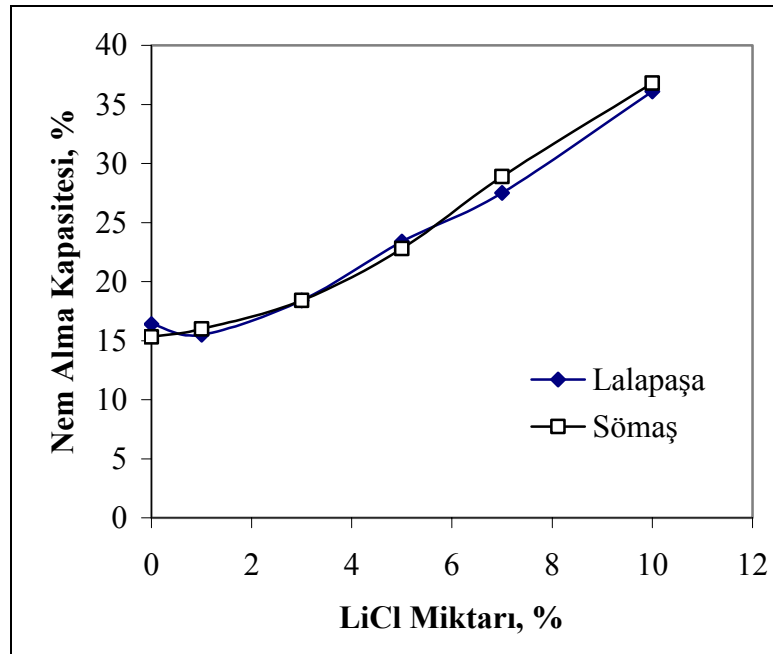
LiCl'ün Etkisi

Lalapaşa ve Sömaş bentonit numuneleri katkı maddesi olarak LiCl ile karıştırılmıştır. Karışım elde etmek için 12 gr'lık bentonit numunesi LiCl oranı %1-10 olacak şekilde kuru olarak karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlar 150°C'de etüvde ısıtılma işlemine tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C'de bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Tablo 5.32 ve Şekil 5.24'te gösterilmektedir.

Tablo 5.32 : LiCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

LiCl Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %	
	Lalapaşa	Sömaş
0	16,4	15,3
1	15,5	16
3	18,4	18,4
5	23,4	22,8
7	27,5	28,9
10	36,1	36,8



Şekil 5.24 : LiCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Şekilden de görüldüğü üzere LiCl'ün miktarı arttıkça Ca-bentonitlerinin nem alma kapasitesi artmaktadır ve %5 LiCl ilavesi ile %22 nem alma kapasitesine

ulaşmaktadır. Daha az miktarda etkili olduğundan LiCl'ün, CaCl₂ ve MgCl₂'e göre daha iyi bir nem alıcı olduğu söylenebilir.

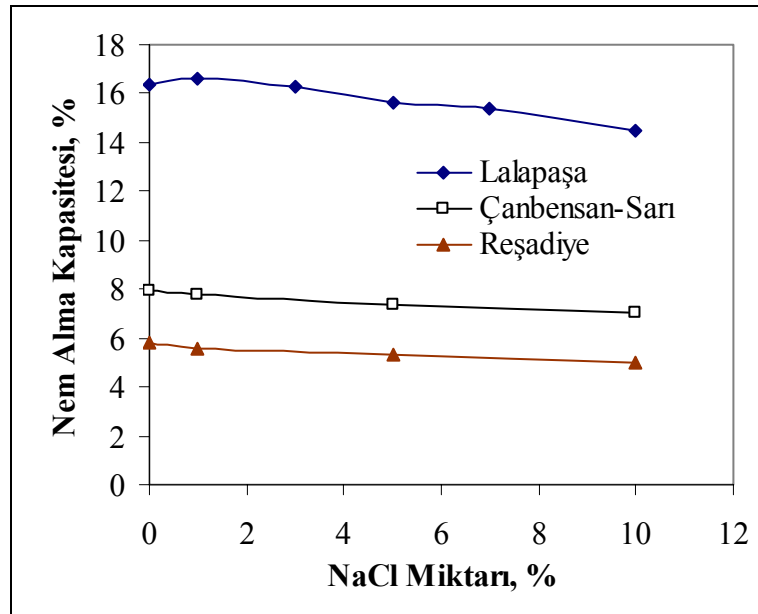
NaCl'ün Etkisi

Lalapaşa, Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonit numuneleri katkı maddesi olarak NaCl ile karıştırılmıştır. Karışım elde etmek için 12 gr'lık bentonit numunesi NaCl oranı %1-10 olacak şekilde kuru olarak karıştırılmıştır.

Hazırlanan karışımlar Lalapaşa bentonit için 150°C'de ve Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonitleri için 105°C'de etüvde ısıtılma işlemi tabi tutulduktan sonra iklimlendirme dolabında 24 saat süreyle %50 bağıl nemde 25°C'de bekletilmiştir. Nem alma kapasiteleri Tablo 5.33'te ve Şekil 5.25'te verilmektedir.

Tablo 5.33 : NaCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

NaCl Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %		
	Lalapaşa	Çanbensan-Sarı	Reşadiye
0	16,4	7,9	5,8
1	16,6	7,8	5,6
3	16,3	-	-
5	15,6	7,4	5,3
7	15,4	-	-
10	14,5	7,0	5,0



Şekil 5.25 : NaCl Miktarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Şekilde 5.25'te görüldüğü üzere bentonit numunelerinin NaCl miktarı artışına bağlı olarak nem alma kapasitesi üzerinde az bir düşüş olmuştur. Buradan nem alma kapasitesine NaCl'ün bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

İnorganik tuzlardan bentonitin nem alma kapasitesi üzerinde en etkili olanlar sırasıyla LiCl, CaCl₂ ve MgCl₂ olmuştur. Bu tuzların endüstriyel alanda kendi başlarına da desikant malzeme olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ambalaj sanayi ve taşımacılıkta tercih edilen desikant kile bu tuzlar ilave edilerek daha iyi nem alan bir ürün haline getirilmektedir. İnorganik tuzların kendi başlarına bu alanlarda kullanılmamasının nedeni bu tuzların açık havada nem alıp sıvılaşmasıdır. Sıvılaşarak su damlacıkları haline gelen bu tuzların sıvılaşmasını önlemek için bentonit gibi hem taşıyıcı hem de nem alan bir malzeme ile karıştırılarak kullanılması faydalı olmaktadır.

İklimlendirme Koşulunun Etkisi

İklimlendirme koşulunun etkisi incelenmek üzere bentonit numuneleri farklı bağıl nem değerlerinde 25°C'de iklimlendirme dolabında bekletilmiştir. Daha önce yapılan bütün deneylerde bağıl nem değeri %50 ve 25°C alınmıştır. Bu deneyde ise bağıl nem değerleri %20, 40, 90 olarak değiştirilerek bentonitin katkısız ve CaCl₂ katkılı olarak nem alma kapasitesi incelenmiştir.

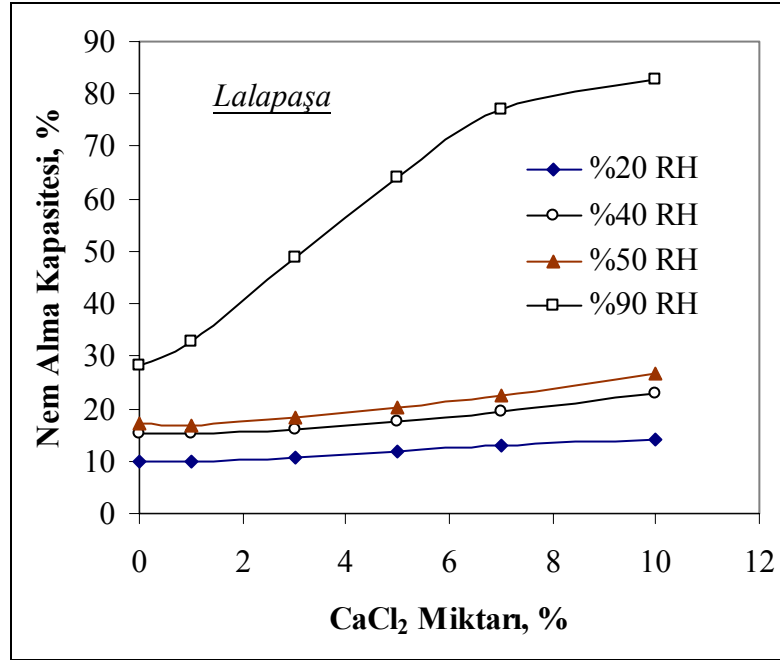
Lalapaşa Bentoniti

Lalapaşa bentonitine ait deney sonuçları Tablo 5.34 ve Şekil 5.26'de görülmektedir.

Şekil 5.26'dan da anlaşılacağı üzere, bağıl nem oranı arttıkça bentonitin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701'e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağıl nemde en az %8'i, %50 bağıl nemde en az %20'si ve %90 bağıl nemde en az %30'u olması gerekmektedir. Tablo 5.34 ve Şekil 5.26'ya göre farklı bağıl nem oranlarında, %5 CaCl₂ katkılı numunenin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır.

Tablo 5.34 : Lalapaşa Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Relatif Nem, %			
	20	40	50	90
0	9,8	15,2	17,1	28,3
1	10,1	15,3	16,8	32,8
3	10,8	16,1	18,3	48,8
5	11,7	17,7	20,3	64,1
7	12,9	19,3	22,6	76,9
10	14,1	22,8	26,7	82,8



Şekil 5.26 : Lalapaşa Bentonitinin Bağlı Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Sömaş Bentoniti

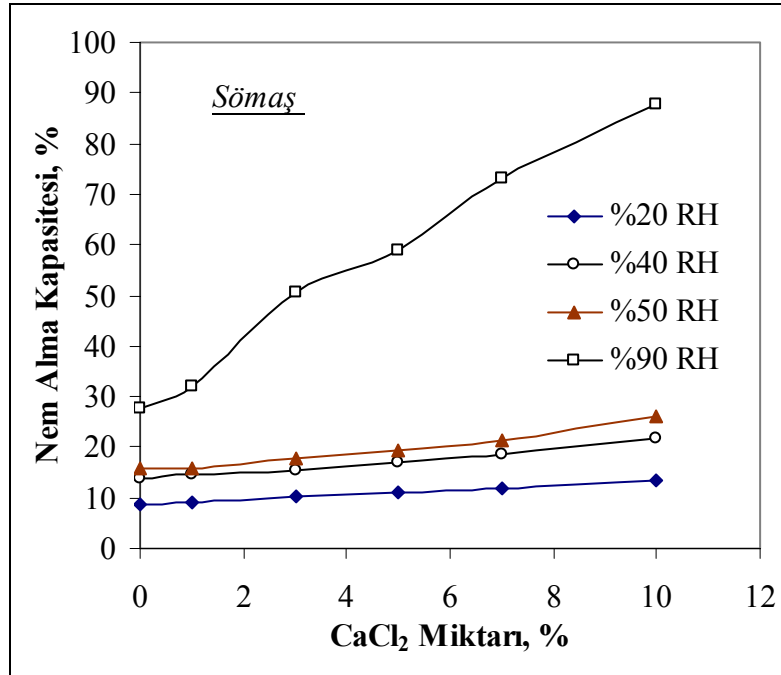
Sömaş bentonitine ait farklı bağlı nemlerdeki deney sonuçları Tablo 5.35 ve Şekil 5.27’de görülmektedir.

Şekil 5.27’den de anlaşılacağı üzere, bağlı nem oranı arttıkça bentonitin nem alma kapasitesinin de arttığı gözlenmektedir. Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701’e göre bir nem alıcı kilin nem alma kapasitesi ağırlığının, %20 bağlı nemde en az %8’i, %50 bağlı nemde en az %20’si ve %90 bağlı nemde en az %30’u olması gerektiğini

vurgulamaktadır. Tablo 5.35 ve Şekil 5.27'e göre farklı bağıl nem oranlarında, %7 CaCl₂ katkılı numunenin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır.

Tablo 5.35 : Sömaş Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Relatif Nem, %			
	20	40	50	90
0	8,5	14,0	15,7	27,5
1	9,1	14,5	15,8	32,0
3	10,2	15,5	17,7	50,5
5	11,0	17,1	19,4	59,0
7	11,8	18,8	21,4	73,1
10	13,3	21,9	26,3	87,6



Şekil 5.27 : Sömaş Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

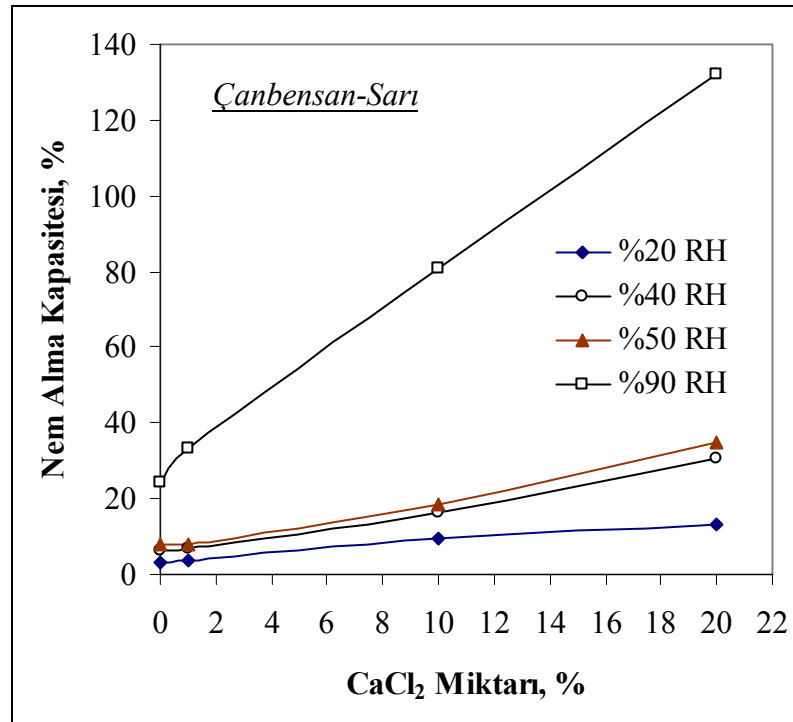
Çanbensan-Sarı Bentoniti

Çanbensan-Sarı bentonitine ait farklı bağıl nemlerde yapılan deney sonuçları Tablo 5.36 ve Şekil 5.28'de görülmektedir. Şekil 5.28'de görüleceği üzere bağıl nem oranı arttıkça bentonitin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Tablo 5.36 ve Şekil 5.28'e göre farklı bağıl nem oranlarında, %20 CaCl₂ katkılı numunenin nem alma kapasitesi standarttaki değerlere uymaktadır. Ancak CaCl₂ miktarı %20 gibi

yüksek bir değer olunca bentonit ile CaCl_2 karışımı yüksek bağıl nem değerlerinde sıvılaşmaktadır ve bu da istenmeyen bir özelliktir.

Tablo 5.36 : Çanbensan-Sarı Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Relatif Nem, %			
	20	40	50	90
0	2,9	6,2	7,9	24,4
1	3,6	7,0	8,1	33,2
10	9,3	16,6	18,5	81,0
20	13,0	30,7	34,9	132,2



Şekil 5.28 : Çanbensan-Sarı Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

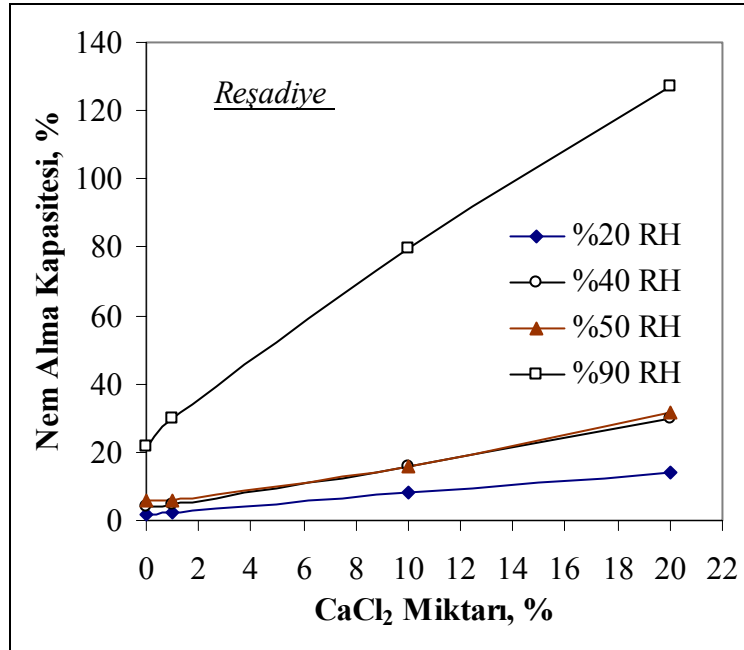
Reşadiye Bentoniti

Reşadiye bentonitine ait farklı bağıl nemlerde yapılan deney sonuçları Tablo 5.37 ve Şekil 5.29'da görülmektedir. Şekil 5.29'da görüleceği üzere, bağıl nem oranı arttıkça bentonitin nem alma kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Tablo 5.37 ve Şekil

5.29'a göre farklı bağıl nem oranlarında, %20 CaCl₂ katkılı numunenin nem alma kapasitesi Japon Endüstrisi Standardı JIS Z 0701'deki değerlere uymaktadır. Ancak CaCl₂ miktarı %20 gibi yüksek bir değer olunca bentonit ile CaCl₂ karışımı yüksek bağıl nem değerlerinde sıvılaşmaktadır ve bu da istenmeyen bir özelliktir.

Tablo 5.37 : Reşadiye Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

CaCl ₂ Miktarı, %	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Relatif Nem, %			
	20	40	50	90
0	1,7	3,9	5,8	21,5
1	2,3	4,9	6,0	29,7
10	8,4	15,7	15,9	79,9
20	14,3	29,9	31,5	127,4



Şekil 5.29 : Reşadiye Bentonitinin Bağıl Nem Oranlarına Göre Nem Alma Kapasitesi

Deneyde kullanılan bentonit numuneleri bir biriyle karşılaştırdığında ara ve Na-bentonitler yüksek bağıl nemde (%90) Ca-bentonitlere benzer sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

Literatürde (Thoruwa ve diğ. 2000) bentonitin 50°C gibi sıcak iklim koşullarında adsorpladığı suyunu geri vermeye başladığı belirtilmektedir. Dolayısıyla iklimlendirme koşulunda bağıl nemi %50 olarak sabit tutarak, bu sefer ortam sıcaklığı 40 ve 60°C olarak değiştirilmiştir. Deney Lalapaşa ve Sömaş numuneleri üzerinde katkısız halde ve %7 CaCl₂ ile kuru olarak karıştırılarak yapılmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 5.38’de verilmektedir.

Tablo 5.38 :Bentonit Numunelerinin Sabit Bağıl Nemde Farklı Sıcaklıklarda Nem Alma Kapasitesi

Ortam Sıcaklığı, °C	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Lalapaşa (katkısız)	Lalapaşa+ %7 CaCl ₂	Sömaş (katkısız)	Sömaş+ %7 CaCl ₂
25	16,4	22,4	15,8	21,8
40	16,1	21,7	15,1	21,9
60	13,5	19,8	13,1	18,6

Tablodan görüldüğü gibi 60°C’de numunelerin aldığı nemi geri bıraktığı anlaşılmaktadır. Lalapaşa numunesi 25°C’de katkısız iken %16,4 nem almışken 60°C’de ise nemi %13,5’e düştüğü görülmektedir. Aynı şekilde %7 CaCl₂’lü karışımda 25°C’de %22,4 nem almışken 60°C’de ise nemi %19,8’e düştüğü görülmektedir Sömaş için katkısız iken 25°C’de %15,8 nem almışken 60°C’de nem alma kapasitesi %13,1’e düşmektedir. CaCl₂’lü karışımda ise 25°C’de %21,8 nem alma kapasitesine ulaşırken 60°C’de nem alması %18,6 olmuştur. Buradan bu tür desikant killerin yüksek sıcaklık söz konusu olan iklimlerde kullanılması sakıncalı olabileceği sonucuna varılmaktadır.

Şekilli Malzeme Üretimi

Bundan önce yapılan deneylerde, bentonit numunesi -4,75 mm boyutunda kuru ve toz halde hazırlanarak yapılmaktaydı. Sadece, katkı madde ilavesinde CaCl₂’i suda çözündürüldükten sonra bentonite bu çözelti ilave edilerek hamur halinde malzeme üretilmiştir. Bu deneyde ise iki Ca-bentonit numunesine biraz su ilave ederek katkısız halde ve %7 CaCl₂ suda çözündürülerek çözelti halde bentonit numunesine ilave edilmiştir. Hamur halindeki bu ürünler bir şırınga yardımıyla makarna şeklinde ve şırınganın ağzını kapalı tutarak içindeki hamur malzemeyi iyice sıkarak çubuk

şeklinde malzemeler yapılmıştır. Yapılan makarna ve çubuk şeklinde malzemelerin ve şekil verilmemiş malzemelerin resimleri Şekil 5.30’da gösterilmektedir. Bu şekilli malzemeler 150°C’de ısıtılma tabi tutulduktan sonra %50 bağıl nem ve 25°C’de iklimlendirme dolabına koyularak nem alması sağlanmıştır ve nem alma kapasitesi ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.39’da verilmektedir.



Makarna Şeklinde

Çubuk Şeklinde

Şekil Verilmemiş

Şekil 5.30 : Makarna, Çubuk Şekilli ve Şekil Verilmemiş Malzemeler

Tablo 5.39 : Makarna Şeklinde Malzemenin Nem Alma Kapasitesi

Nem Alma Kapasitesi, %				
Şekil	Lalapaşa	Lalapaşa+ %7CaCl ₂	Sömaş	Sömaş+ %7CaCl ₂
Şekilsiz	16,4	22,4	15,8	21,8
Makarna	16,2	20,3	15,3	19,7
Çubuk	16,0	20,5	15,0	20,5

Deney sonuçlarına göre şekilli malzemenin nem alma kapasitesi, %7 CaCl₂ ilavesi ile ticari ürün ve standartlarda istenen %20 değerine erişmektedir. İki farklı şekil verilerek yapılan malzemenin birbirinden pek farkı olmadığı anlaşılmıştır.

Yenilenebilirlik (Rejenerasyon) Testi

Nem alıcı kilin bir defa kullandıktan sonra ısı aktivasyonu uygulanarak tekrar kullanılabilirliği araştırılması için rejenerasyon testi yapılmıştır. A.B.D standardı olan MIL-D-3464E, (1987)’de bir nem alıcı aktive edildikten sonra ilk nem alma kapasitesinin %90’ını koruyabilmesi gerektiği belirtilmektedir. Deneyde Lalapaşa ve Sömaş Ca-bentonit numuneler -4,75 mm boyutunda, katkısız halde ve %7 CaCl₂ ilave edilerek denenmiştir. Her seferinde 150°C’de 4 saat ısıtılma uygulanmıştır. İklimlendirme koşulu ise %50 bağıl nemde 25°C’dir. Deneyden elde edilen nem

alma kapasite sonuçları Tablo 5.40'ta verilmektedir. Tablo 5.40'ta % olarak verilen sayılar orijinal nem alma kapasitesinin % kaçını koruduğunu göstermektedir.

Tablo 5.40 : Rejenerasyon Test Sonuçları

Rejenerasyon Sayısı	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Lalapaşa	Lalapaşa+ %7CaCl ₂	Sömaş	Sömaş+ %7CaCl ₂
1	16,4	22,4	15,8	21,8
	%100	%100	%100	%100
2	16,2	21,6	15,2	21,1
	%98,70	%96,40	%96,20	%96,70
3	15,5	21	14,7	20,5
	%94,50	%93,70	%93,00	%94,00
4	15,4	20,4	14,8	20,2
	%93,90	%91,10	%93,60	%92,60
5	15,3	19,9	14,4	19,7
	%93,30	%88,80	%91,10	%90,30

Deneyden elde sonuçlara göre Lalapaşa ve Sömaş Ca-bentonit numunelerin %7 CaCl₂ ilavesiyle 5 kez aktive edilerek kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Tekrarlanabilirlik Testi

Deneyisel çalışmalarda yapılan deneylerin tekrarlanabilirliği yani doğruluk oranını saptamak amacıyla farklı günlerde deneyler yapılmıştır. Deneyde Lalapaşa ve Sömaş Ca-bentonit numuneleri katkısız ve %7 CaCl₂ ile karıştırılarak kullanılmıştır. 150°C'de etüvde 4 saat kurutulduktan sonra iklimlendirme dolabında %50 bağıl nem ve 25°C'de tabi tutularak nem alma kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.41'de verilmektedir.

Tablo 5.41 : Tekrarlanabilirlik Testi

Tekrarlama Sayısı	Nem Alma Kapasitesi, %			
	Lalapaşa	Lalapaşa+ %7CaCl ₂	Sömaş	Sömaş+ %7CaCl ₂
1	16,4	22,4	15,8	21,8
2	16,6	22,7	15,9	22,1
3	16,5	22	16	21,6
4	16,4	22,1	15,8	21,8
5	16,6	22,6	15,8	21,4
Hata Payı	16,5 ± 0,1	22,3 ± 0,4	15,9 ± 0,1	21,8 ± 0,4

Tablo 5.41’de görüldüğü gibi Lalapaşa bentonit numunesinin katkısız halde nem alma kapasitesi $16,5 \pm 0,1$ hata payı ile, %7 CaCl_2 ilavesi ile $22,3 \pm 0,4$; Sömaş örneğinde ise katkısız halde $15,9 \pm 0,1$ ve %7 CaCl_2 ilavesi ile $21,8 \pm 0,4$ hata payı ile tekrarlanabilirlik oranı saptanmaktadır.

6 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bentonitten nem alıcı (desikant) kil üretimine yönelik olarak yapılan bu çalışmada, Türkiye'nin farklı bölgelerinden getirilen bentonit numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler Lalapaşa, Sömaş, Çanbensan-Sarı ve Reşadiye isimli numuneleridir. Lalapaşa örneği Edirne-Enez'den, Sömaş (şirket adı) örneği İstanbul-Silivri'den, Çanbensan-Sarı (şirket adı) numunesi Çorum-Çankırı'dan ve Reşadiye numunesi ise Tokat'tan getirtilmiştir.

Numunelerin özelliklerini belirlemek amacıyla, laboratuvar standart elekleri kullanılarak yapılan yaş elek analizleri sonucunda Lalapaşa örneğinin d_{90} boyutu 0,36 mm, Sömaş örneğinde d_{90} boyut 0,26 mm, Reşadiye örneğinde 0,18 mm, Çanbensan-Sarı örneğinin d_{90} boyutu ise 0,022 mm olarak tespit edilmiştir.

Yapılan pH ölçümü sonucunda Lalapaşa numunesinin pH'sı 6,43; Sömaş numunesi 8,62; Çanbensan-Sarı örneğinde ise 9,2 ve Reşadiye numunesi için 9,71 olduğu saptanmıştır. Nem alıcı kil olarak kullanılacak malzemenin pH aralığının 5 ve 8 (İngiliz Standardı BS 7529, 1991) arasında istendiği göz önüne alınırsa, Lalapaşa ve Sömaş bentonitleri bu koşula uygun malzemelerdir.

Kimyasal analizleri sonucunda Lalapaşa numunesi için SiO_2 %59,0; Al_2O_3 %18,7; CaO % 1,9 ve Na_2O %0,4 olduğu, Sömaş numunesinde SiO_2 %55,4; Al_2O_3 %14,6; CaO % 3,9 ve Na_2O %0,5 olduğu, Çanbensan-Sarı örneğinde SiO_2 %61,1; Al_2O_3 %16,9; CaO % 2,1 ve Na_2O %2,1; Reşadiye örneğinde ise SiO_2 %61,9; Al_2O_3 %17,3; CaO % 3,0 ve Na_2O %2,3 olarak saptanmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarına göre Ca-bentonit numunesi olan Lalapaşa ve Sömaş bentonitlerinin Na_2O içerikleri, ara tip olan Çanbensan-Sarı ve Na-bentonit olan Reşadiye'ye göre düşüktür. CaO miktarı için böyle bir genelleme yapılamamaktadır. Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonitinde de numunelerin CaO oranları yüksektir. Bunun sebebi numunelerin yan taş olarak kalsit içermesidir.

DTA analizlerinde ilk endotermik reaksiyon 4 numune için 130°C - 150°C arasındadır. Sömaş ve Lalapaşa örneklerinde pikin 205°C - 220°C aralığında, yüksek sıcaklık

tarafındaki yokuşunda bir omuzu vardır. Diğer iki örnekte bu iz bulunmaz. İkinci önemli endotermik reaksiyon 550°-700°C aralığında meydana gelmektedir.

TG analizlerinde Lalapaşa ve Sömaş örneklerinde toplam ağırlık kaybı %18 iken Reşadiye ve Çanbensan-Sarı örneklerinde %12-13 arasındadır. İlk endotermik piklerinin 205°-220°C aralığına karşılık gelen bir noktasında omuz bulunan Lalapaşa ve Sömaş örnekleri için bu ana endotermik reaksiyona karşılık gelen TG'deki ağırlık kaybı %11,5-11,8 arasındadır. Oysa ki diğer iki örnekte bu reaksiyon için ağırlık kaybı %6,1-7,0 arasında değişir.

Yapılan XRD çalışmaları sonucunda bütün örneklerde ana mineral montmorillonit olup kuvars, feldspat, kalsit, kristobalit ve amorf malzeme diğer minerallerdir. Numunelerde montmorillonit oranı Lalapaşa örneğinde %75-80, Sömaş'ta %70, Çanbensan-Sarı'da %50 ve Reşadiye için %70-75 olarak belirlenmiştir.

Kil numunelerinin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan katyon değiştirme kapasitesi, şişme, su emme kapasitesi ve viskozite testlerin sonuçları Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo 6.1 : Bentonit Numuneleri Üzerinde Yapılan Karakterizasyon Testlerin Sonuçları

Numune Adı	Katyon Değiştirme Kapasitesi, meq/100gr	Şişme İndeksi, ml	Su Emme Kapasitesi, %	Viskozite, cp	
				300 rpm	600 rpm
Lalapaşa	65,0	6,0	133,95	1,5	3,5
Sömaş	61,5	7,0	142,86	1,5	3,25
Çanbensan-Sarı	70,6	15,5	154,31	4,5	7,0
Reşadiye	76,0	20,5	156,78	17,5	31,0

Tablo 6.1'de verildiği gibi Ca-bentonit olan Lalapaşa ve Sömaş numunelerinin KDK değerleri, şişme indeksi, su emme kapasitesi ve viskozitesi ara tip olan Çanbensan-Sarı ve Na-bentonit olan Reşadiye numunelerinden daha düşüktür. Bentonit numunelerinin karakterizasyon testleri sonuçları Lalapaşa ve Sömaş numunelerinin Ca-bentonit, Çanbensan-Sarı numunesinin Ara-bentonit ve Reşadiye örneğinin ise Na-bentonit olduğunu kanıtlamaktadır.

Bentonit tipine göre nem alma kapasitesi incelendiğinde Ca-bentonitlerin nem alma kapasitesi ham halde Lalapaşa için %16,4; Sömaş için %15,8; ara tip bentoniti olan Çanbensan-Sarı için %7,9 ve Na-bentonit Reşadiye’de %5,8 olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma sıcaklığı Ca-bentonitler için 150°C ve Na-bentonitler için 105°C olduğunda en iyi sonuçlar alınmıştır. Bentonit türüne bağlı olarak değişim gözlenmiştir. Isıl işlem uygulandığında Ca-bentonitler 150°C’de nem alma kapasitesi açısından en iyi duruma gelmektedirler. Ca-bentonitlerin DTA ve TG (Ekteki Şekil A.2 ve A.4) analizlerinden bu sıcaklığa yakın değerlerde bentonitlerin adsorpladıkları suyu kaybettikleri anlaşılmaktadır. Ca-bentonitlerin kaybettikleri bu sularını tekrar adsorplama yoluyla geri kazandıkları söylenebilir. DTA eğrisi 250°C’de ısı değişikliğinin yükseldiğini ve sabitlendiğini göstermektedir. Bu sıcaklıkta nem alma kapasite değişiminin düştüğü noktaya karşılık gelmektedir. Çanbensan-Sarı ve Reşadiye bentonitlerin DTA ve TG eğrilerinden (Ekteki Şekil A.6 ve A.8) anlaşılabileceği üzere pik noktalar 136 ve 139,2°C derecelerdendir. Bu da bu numunelerin neden daha düşük sıcaklıkta (105°C) maksimum nem alma kapasitesine sahip olduklarının bir sebebi olabilir. Ayrıca yine TG eğrilerinden Ara-bentonit olan Çanbensan-Sarı ve Na-bentonit olan Reşadiye’nin ağırlık kayıpları yaklaşık 175°C civarında sabitlenmektedir. Bu sıcaklıktan sonra bünyeden su çıkmaması nedeniyle, artık bünyeye su girişinin de durduğu söylenebilir. TG sonuçlarına göre ağırlık kayıpları ara tip bentonitte %7 ve Na-bentonitte %6,2’dir. Bu da Ca-bentonitin neden daha fazla su alabildiğinin açıklanmalarından biridir.

Tüvenan bentonitle yapılan deneylerde, hazırlama boyutunun nem alma kapasitesine pek etki etmediği anlaşılmıştır. Bentonit numunelerinin 1 mm ve 0,5 mm altındaki boyutları ayırmadan tamamı 4,75 mm altında hazırlanarak yapılan deneyler sonucunda ince boyutların ayrılması ile nem alma kapasitelerinde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Doğal haliyle yeteri kadar nem çekemeyen bentonite, CaCl_2 , MgCl_2 ve LiCl ilave edildiğinde nem alma kapasitesinin arttığı; CaCl_2 ilave şeklinin ise sonuçları fazla değiştirmedeği görülmüştür. CaCl_2 miktarının artması, bentonitin nem alma kapasitesini arttırmaktadır. Ticari ürünler ve standartlarda bir desikant kilin %50 bağlı nemde en az %20 nem alma kapasitesine sahip olması istenmektedir. Deneyde kullandığımız Ca-bentonit numuneleri için bu değere %5-6 CaCl_2 ilavesiyle

ulaşırken Na ve ara bentonit numuneler olan Reşadiye ve anbensan-Sarı için bu oran %15 CaCl₂ ilave etmesi gerekmektedir.

5.Bentonite CaSO₄ ve NaCl ilave edildiėinde nem alma kapasitesinin dűřtűėű gűzlenmiřtir. Bu konudaki incelemelerin daha detaylandırılması gerekmektedir.

Hidrosiklon ve yař eleme ile zenginleřtirme iřleminin Sűmař bentonitinin en kaliteli űrűnde nem alma kapasitesinin tűvenana gűre 1-2 derece deėiřtirdiėi dolayısıyla bu numune için zenginleřtirmenin çok avantajlı olmadıėı anlařılmıřtır. Lalapařa bentoniti için hidrosiklon ya da yař eleme ile bir zenginleřtirme iřlemi uygulayarak katkısız halde standartta istenen %20 nem alma kapasitesine ulařması műmkűn olmaktadır. űrűnlerinde yapılan KDK analizleri bir zenginleřtirmenin olduėunu gűstermekte, KDK deėerlerinin arttıėı űrűnlerde nem alma kapasiteleri de artmaktadır.

Selektif kırma iyi sonuç vermemektedir. ekili kırıcı yerine daha uygun bir selektif boyut kűűltűcű kullanılması uygun olabilir.

Farklı bağıl nem koşullarında yapılan deneylerde ham halinde Ca-bentonitler %20 ve %90 bağıl nemde Japon Endűstri Standardı JIS-Z-0701’de verilen değerlere ulaştığı, ancak %50 bağıl nemde belirlenen değere ulaşamadığından bentonite CaCl₂, MgCl₂ ve LiCl tuzların %5-7 ilavesiyle uygun desikant kil űretilebileceėi sonucuna varmıştır.

Sabit baėıl nemde ortamın sıcaklıėını deėiřtirerek yapılan deney sonucunda, desikant kilin nemle doyduktan sonra 60°C’de nemini geri bıraktıėı anlařılmıřtır. Bu yűzden yűksek sıcaklıkta bu tűr desikantların kullanılması sakıncalı olabilmektedir. 60°C’de numunelerin aldıėı nemini geri bıraktıėı anlařılmaktadır. Lalapařa numunesi 25°C’de %16,4 nem almıřken 60°C’de %3’lűk nemini geri bıraktıėı gűrűlmektedir. Sűmař için %2,7’lűk nem kaybı sűz konusudur. Buradan bu tűr desikant killerin yűksek sıcaklık sűz konusu olan iklimlerde kullanılması sakıncalı olabileceėi sonucuna varılmaktadır.

řekilli malzeme űretilerek yapılan deney sonucunda, ister makarna veya sıkıřtırılarak çubuk řeklinde, ister olduėu gibi toz halde űretilsin bunların bentonitin nem alma kapasitesini pek deėiřtirmediėi tespit edilmiřtir. Ancak ticari olarak satılan desikant kil űrűnlerinde genellikle toz halinde olmaması istenmektedir.

Rejenerasyon testi sonucunda, üretilen desikant kilin ısı aktivasyonu uygulanarak 4-5 kere kullanılabileceği anlaşılmıştır.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

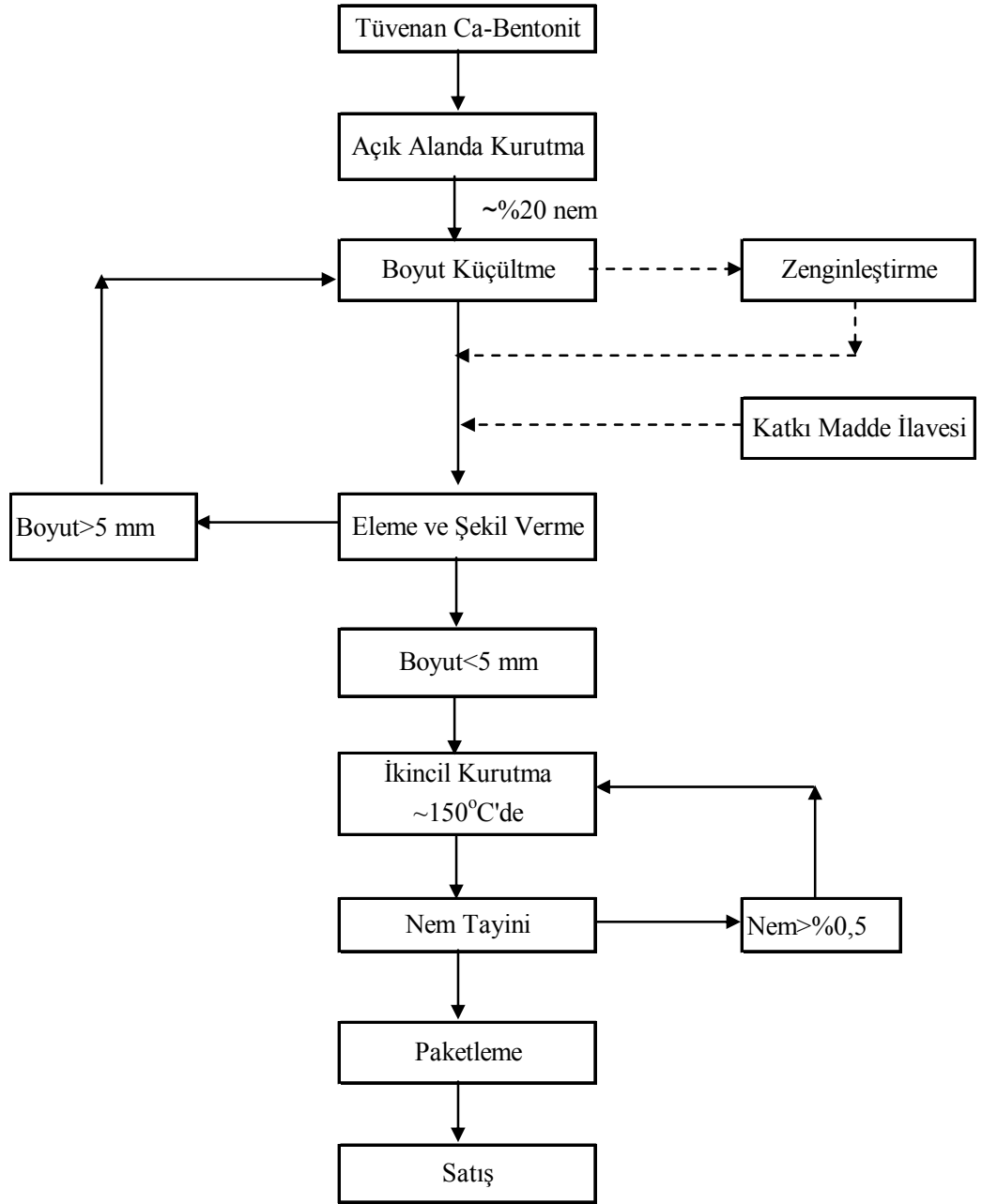
Türkiye'nin farklı yörelerinden getirilen 2 adet Ca-bentonit, bir ara-bentonit ve bir Na-bentonit ile çalışılan bu araştırmanın sonucunda Ca-bentonitin nem alma kapasitesi diğer tip bentonitlere göre daha iyi olduğu, ancak standart ve ticari ürünlerde istenen değere ulaşılmadığından bu bentonitlere CaCl_2 , MgCl_2 ve LiCl gibi inorganik tuzların ilavesiyle istenen değere ulaşılacağı anlaşılmıştır. Yapılan hidrosiklon ile zenginleştirme işleminin sonucunda Lalapaşa numunesinin ağırlıkça %50'si temiz ürün olarak alınıp nem alma kapasitesi %19 olan, piyasaya paketlenip sunulabilecek katkısız nem alıcı kil olabileceği saptanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda bentonite desikantın kullanım alanına göre katkı maddesi olarak inorganik tuzların yerine organik maddeler (nişasta, polimerler vb) katılarak inceleme yapılabilir. Ayrıca farklı Ca-bentonitler denenebilir.

Desikant Kilin Endüstriyel Boyutta Üretimi İçin:

- Ca-bentonitin kullanılması
- Ca-bentonitlere, yeteri kadar nem alamıyorsa kullanım alanına göre katkı madde ilavesi veya zenginleştirme işlemi uygulanması
- Standard ve ticari ürünleri göz önüne alındığında toz oluşumunu önlemek amacıyla desikant kilin hamur yaparak granül malzeme olarak üretilmesi önerilmektedir.

Şekil 7.1'de desikant kil üretimi için akım şeması önerilmektedir. Bu akım şemasında, ocaktan gelen bentonitin boyutlandırması yapıldıktan sonra gerektiği takdirde zenginleştirme veya katkı madde ilavesinden sonra nem ve boyut kontrolünden geçerek paketlenip satışa sunulması önerilmiştir.



Şekil 7.1 : Desikant Kil Üretimi Akım Şeması

KAYNAKLAR

- Akbulut, A.**, 1996, Bentonit, MTA Yayını, Eğitim Serisi, No:32
- Alemdar, A.**, 2001, Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlarının Reolojik, Viskoelastik, Kolloidal özellikleri üzerine organik ve inorganik tuzlarının etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bates, R., Branburry, J. C., Buie, B. F., Foose, R. B., Husted, J. E., McCarl, H. N., Roe, L., Rooney, L. F. and Stokowki, S.**, 1983, Industrial minerals and rocks, Part City Pres, USA.
- Bates, R.**, 1969, Geology of Industrial rock and minerals, Dover Publications, Inc. New York, 459 p.
- Çınar, M.**, 2006, Reoloji Ders Notu, D.P.Ü, Kütahya
- Coşkun, M.**, 2003, Coğrafya öğretiminde nem konusundaki kavram yanlışlıkları ve giderilmesine yönelik öneriler, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Gazi Üniversitesi, Cilt 23, Sayı 3, 147-158
- Czimerova, A., Bujdak, J. and Dohrmann, R.**, 2006, Traditional and novel methods for estimating the layer charge of smectites, Applied Clay Science, 34, No:1-4, pp. 2-13
- Çinku, K., Bilge, Y.**, 2001, Bentonit ve aktivasyon yöntemleri, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya
- Çinku, K.**, 1999, Yazır (Trakya) bentonitinin boya sanayinde kıvamlaştırıcı olarak kullanılmak üzere hazırlanması olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Çinku, K.**, 2007, Yayınlanmamış Doktora Tez, Ara Raporu, İ.Ü
- Dinçer, D.**, 2006, Silivri Büyükkılıçlı yöresi bentoniti ve nem giderme kapasitesinin araştırılması, Lisans Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, İstanbul
- Erdinç, Ş., Ş.**, 1976, Bentonitlerin metalurjideki uygulamaları yönünden araştırılması ve Reşadiye bentonitlerinin bu açıdan incelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Eruslu, N.**, 1993, Türkiye bentonitleri ve döküm kumları araştırma projesi, DPT Teknolojik Araştırma Projesi, Sonuç Raporu
- Fire, E.**, 2003, Storage Tips : Desiccant and the Storage of Chemicals, Erowid Extracts, No:4
- Gandhidasan, P. and Mohandes, M. A.**, 2007, Predications of vapor pressures of aqueous desiccants for cooling applications by using artificial neural Networks, Applied Thermal Engineering, Accepted Manuscript
- Gandfidasan, P.**, 2004, A simplified model for air dehumidifications with liquid desiccant, Solar Energy, 76, pp. 409-416

- Gandfidasan, P., Abdulghani, A., Al-Farayedhi, Ali A. Al-Mubarek.,** 2001, Dehydration of natural gas using solid desiccants, *Energy*, 26, pp. 855-868
- Grim, R. E.,** 1962, *Applied clay mineralogy*. New York: McGraw-Hill
- Grim, R. E.,** 1968, *Clay Mineralogy*, 2nd edition, McGraw Hill, New York,
- Grim R. E., ve Güven, N.,** 1978, *Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses, Developments in Sedimentology 24*, Elsevier Publishing Company, New York, 256 pages
- Günister. E.,** 2004, Na-aktif bentonit-su sisteminde partikül etkileşimleri üzerine BDTDACI ve DTABr katyonik yüzey aktiflerinin etkisinin reolojik ve elektrokinetik yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- İşcan, M.,** 1987 *Kil, Kaolen ve Bentonitin Dış Pazar Araştırması*,
- Karakaya, M. Ç.,** 2006, *Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri*, Bizim Büro Basımevi, Ankara
- Konukçu, E.,** 2007, *Bentonitten Nem Emici (Desikant) Kil Üretimi*, Lisans Tezi, İTÜ, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
- Orhun, F.,** 2006, *Lalapaşa Bentonitlerinin Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi ve Rutubet Kontrolünde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özkan ve Erkalfa,** 1977, *Türkiye’deki Ticari Bentonit Killerinin Özellikleri ve Kullanış Alanlarının tespiti*, Marmara, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Ünitesi Raporu, İstanbul
- Pasın, G., Acar, J.,** 1985, *Kilin Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları*, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 497-505, Ankara,
- Rahle, U.,** 2006, “Desiccant Kurutma ile Nem Kontrolü”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Sayı 95, s. 37-42
- Roskill,** 2005, *The Economics of Bentonite*, Roskill Inf, Serv. (Ireland) Ltd, London
- Roskill,** 1979, *The Economics of Bentonite, Fuller’s Earth and Applied Clays*, Roskill Inf, Serv. (Ireland) Ltd, 128., London
- Rozes, B.,** 1981, *Sodium-exchanged bentonites in France*, *Industrial Minerals*, pp. 59-64
- Sağlam, A. ve İncecik, M.,** 1985, *Bentonit bulamaçlı diyafram duvarlar*, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 387-396, Ankara
- Sarıkaya, Y., Ceylan, H., Biçer, C., Biçer, N., Bozdoğan, İ.,** *Killerin Ağartıcı Özellikleri*, 2. Ulusal Kil Sempozyumu, 507-512, Ankara, 1985
- Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T., Noyan, H.,** 2001, *Bir Bentonitin Katyon Değiştirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki*, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konya 2001
- TÜBİTAK 106G106,** 2007, *Devam Eden Kamu Projesi, Tübitak M.A.M*

- Thoruwa , T.F.N., Johnstone, C.M., Grant, A.D., Smith, J.D.,** 2000, Novel, low cost CaCl_2 based desiccants for solar crop drying application, Renewable Energy, 19, pp. 513-520
- Tuncan, A.,** 1995, Bazı Kil Minerallerinin Fiziko-Kimyasal Özelliklerinin Laboratuarda Tayini, 7. Ulusal Kil Sempozyumu, 27-30, Ankara
- Yalçın, M.,** 1997, Çevresel Kirlilik Şartlarının Bentonit Kilinin Şişme/ Büzülme Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Yılmaz, T., Büyükalaca, O.,** 2000, Desisif-Evaporatif Soğutma Sistemleri, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı 60, s. 58-66
- Yurdakoç, M., K., Güzel, F., ve Tez, Z.,** 1989, Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) ve Belirleme Yöntemleri, 6. Ulusal Kil Sempozyumu, s.183-185

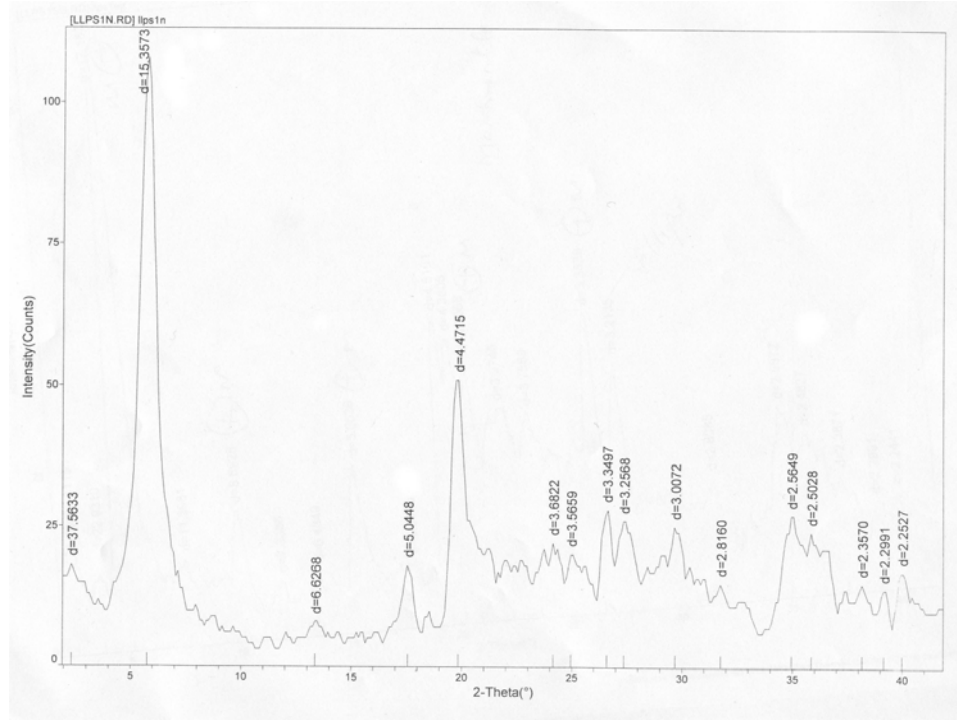
Standardlar:

- BS 1133-19,** 1986, Packaging code : Use of desiccants in packaging, British Standards
- BS 7529,** 1991, Specification for desiccant activated clay, British Standards
- JIS Z 0701,** 1977, Silica gel Desiccants for Packaging, Japanese Industrial Standard
- TS 10252,** 1992, Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- TS 5360,** 1996, Döküm Bentoniti, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- TS 977,** 1993, Bentonit Sondaj İşleminde Kullanılan, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- TS-11441,** 1994, Bentonit Kağıt Sanayinde Kullanılan, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara
- US MIL-D 3716B,** 1988, Desiccants, Activated for dynamic dehumidifacion, US Standards
- US MIL-D-3464E,** 1987, Desiccants, Activated, Bagged, Packaging Use and Static Dehumidification, US Standards

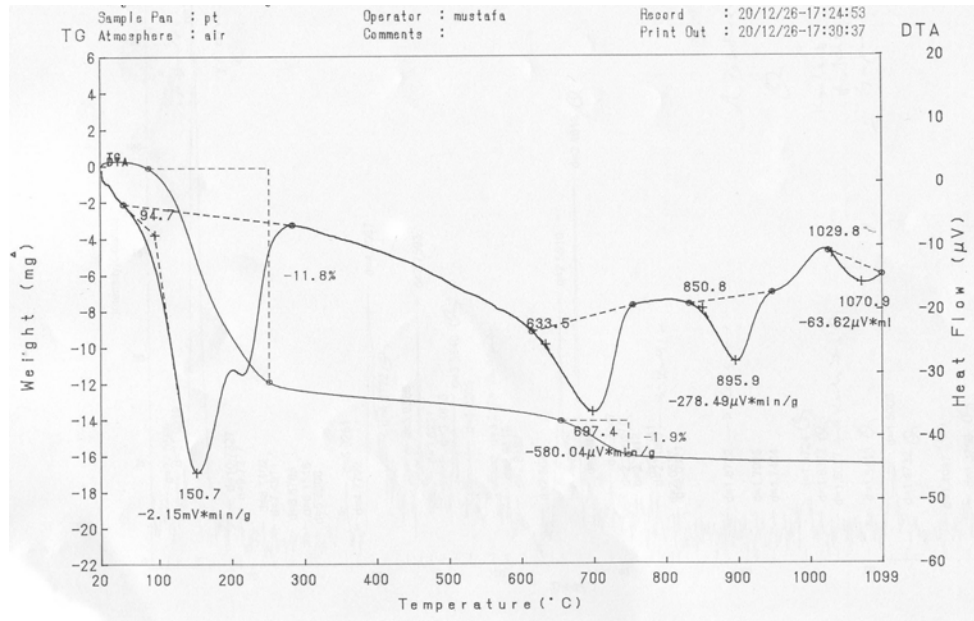
Web siteleri:

- <http://www.desikimya.com/eak.html>, 2007
- <http://www.desikimya.com/aa2.html>, 2007
- <http://www.desikimya.com/narc.html>, 2007
- <http://www.desiccant.com.cn/about.asp>, 2007
- <http://www.desiccant.mobi/Desiccant-Types.php>, 2007).
- http://fortuneandstar.trustpass.alibaba.com/product/11491222/Natural_Clay_Desiccant.html, 2007
- <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc231.htm>, 2007
- http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/kil_bentonit.htm, 2007

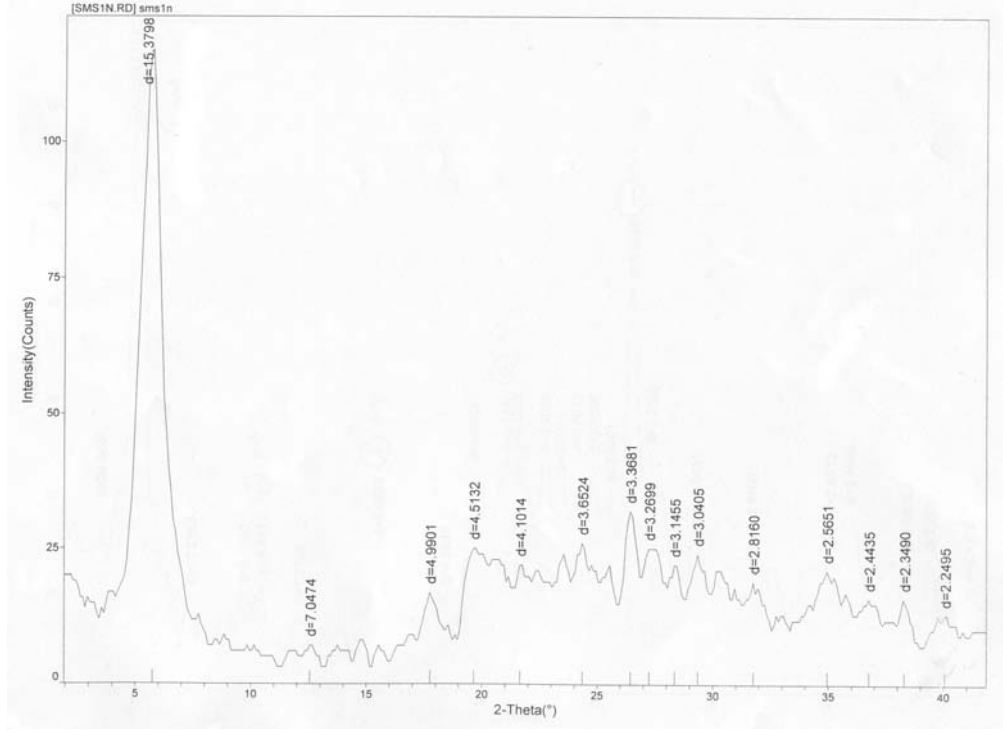
EK A



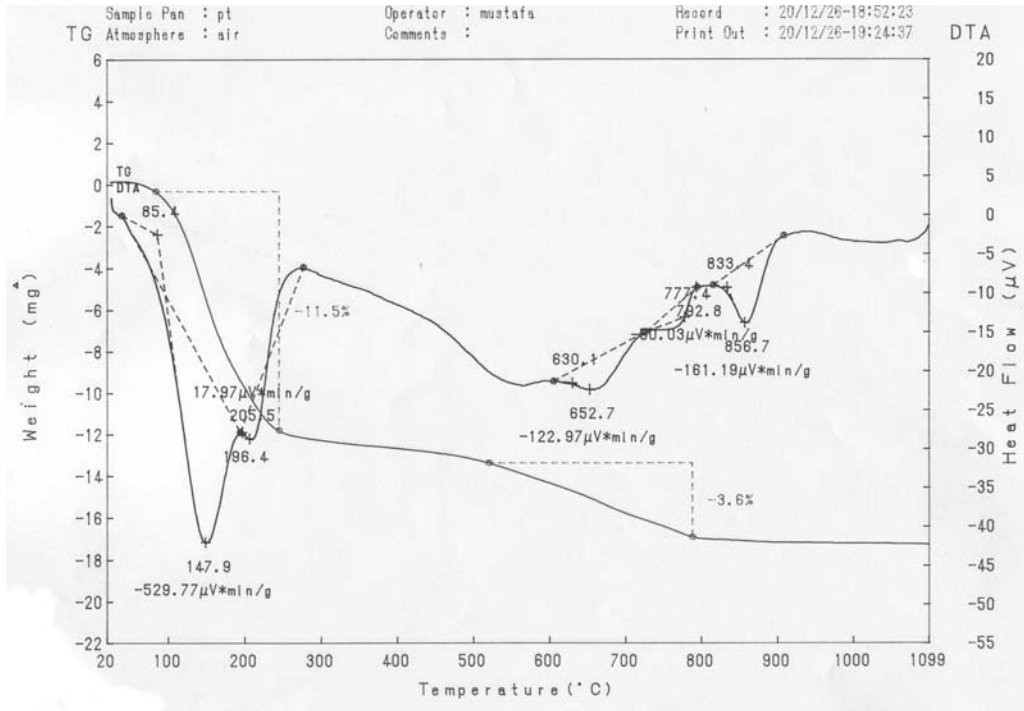
Şekil A.1 : Lalapaşa Numunesinin XRD Sonucu



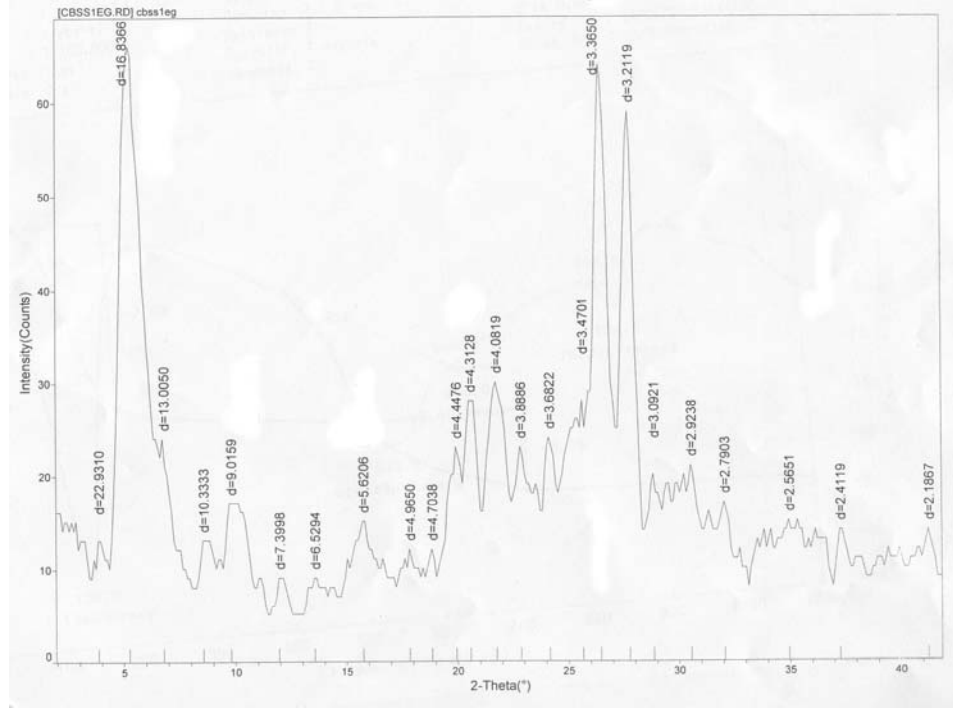
Şekil A.2 : Lalapaşa Numunesinin DTA ve TG Sonuçları



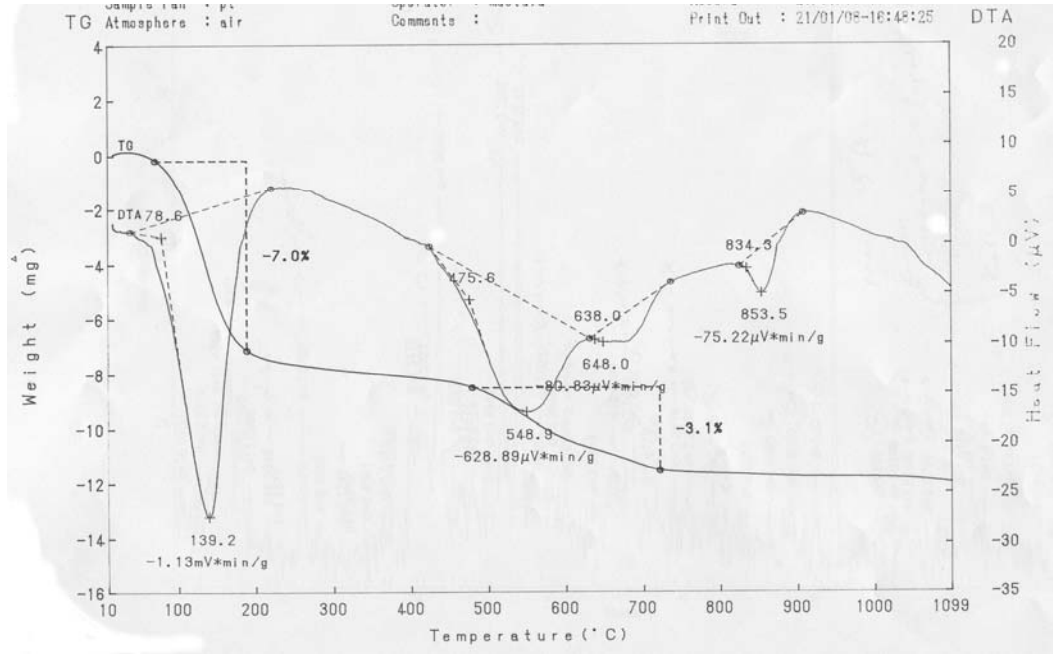
Şekil A.3 : Sömaş Numunesinin XRD Sonucu



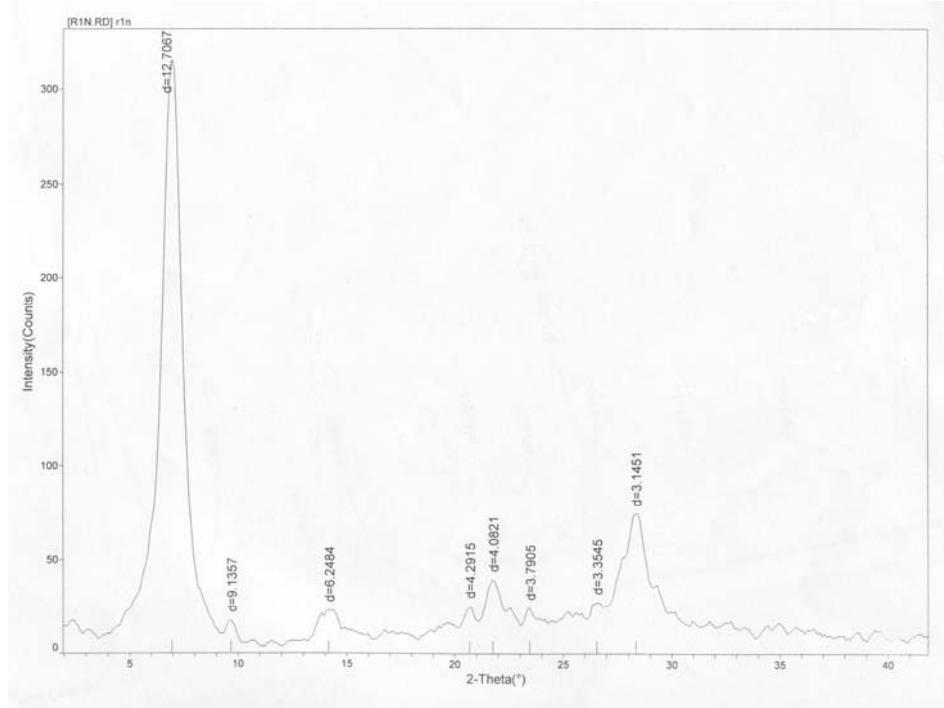
Şekil A.4 : Sömaş Numunesinin DTA ve TG Sonuçları



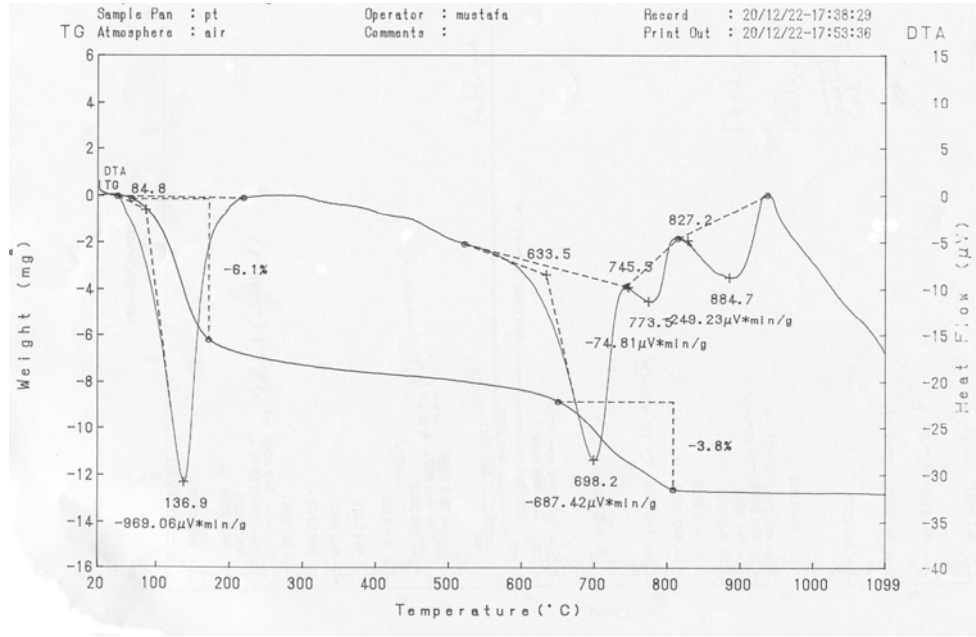
Şekil A.5 : Çanbensan-Sarı Numunesinin XRD Sonucu



Şekil A.6 : Çanbensan-Sarı Numunesinin DTA ve TG Sonuçları



Şekil A.7 : Reşadiye Numunesinin XRD Sonucu



Şekil A. 8: Reşadiye Numunesinin DTA ve TG Sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

Tezi hazırlayan Munkhjargal CHIMEDDORJ, 1980 yılında Moğolistan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğretiminini Moğolistan'da okudu. Üniversite eğitiminine Türkiye'de Ankara Üniversitesi Türkçe Öğretim Merkezinde Türkçe öğrendikten sonra 2000 yılında İ.Ü Maden Mühendisliği Bölümünde başladı. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimler Enstitüsü'nde Cevher ve Kömür Hazırlama Programında yüksek lisansa başladı. İyi derecede Türkçe ve orta derecede İngilizce ve Almanca bilmektedir.