

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOKAT-REŞADİYE BÖLGESİ BENTONİTİNİN  
DUVAR KAROSU BÜNYELERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra ÇETİN**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**

**MAYIS 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOKAT-REŞADİYE BÖLGESİ BENTONİTİNİN  
DUVAR KAROSU BÜNYELERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra ÇETİN  
(506111437)**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Malzeme Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**

**MAYIS 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111437 numaralı Yüksek LisansÖğrencisi **Büşra ÇETİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TOKAT - REŞADİYE BÖLGESİ BENTONİTİNİN DUVAR KAROSU BÜNYELERİNDE KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**            **Yrd. Doç. Dr. Cem KAHRUMAN** .....  
İstanbul Üniversitesi

**Prof. Dr. Onuralp YÜCEL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**            **30 Nisan 2015**  
**Savunma Tarihi :**        **29 Mayıs 2015**



*Memoo'ya,*





## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca, gösterdiği her türlü destek, öneri ve yönlendirmelerinden dolayı değerli danışman hocam Sayın Doç.Dr.Necip ÜNLÜ'ye en içten dileklerle teşekkür ederim.

Karakterizasyon çalışmalarında laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Gültekin GÖLLER'e,seramik bünyelerin preslenmesinde laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU'na,seramik bünyelerin preslenmesinde tecrübelerinden faydalandığım Yük. Müh. Hadi JAHANGİRİ'ye, mekanik analizlerim esnasında bana destek olan Sakarya Üniversitesi metalurji ve malzeme mühendisliği bölüm hocalarından Sayın Prof. Dr. Uğur Şen'e ve araştırma görevlisi Eray ABAKAY'a, deneylerimde yardımını esirgemeyen Met. Müh. Esra TÜYSÜZ'e hammede temini konusunda destek olan Karakaya Bentonit San. ve Tic. A.Ş.ve Maden Mühendisi Sayın Bünyamin ERTEK'e de teşekkürü borç bilirim.

Yüksek Lisans öğrenimin boyunca bana destek olan Refkar Soğutma ailesine ve Sayın Şant ÖZBÜLBÜL'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Varlıklarıyla gücüme güç katan canımdan çok sevdiğim annem Periye GİRİŞ ve babam Necati GİRİŞ'e, her konuda yolumu aydınlatan çok sevgili ablam Serra GİRİŞ'e, hayallerimin peşinden koşarken beni asla yalnız bırakmayan biricik eşim Mehmet ÇETİN'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Büşra ÇETİN  
Makine Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY .....	xxi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KİL, MONTMORİLLONİT VE BENTONİT .....</b>	<b>3</b>
2.1 Bentonit .....	7
2.1.1 Bentonitin fiziksel özellikleri .....	8
2.1.1.1 Şişme özellikleri.....	8
2.1.1.2 Katyon değişim kapasitesi.....	10
2.1.1.3 Plastiklik özellikleri .....	12
2.1.1.4 Adsorplama özellikleri .....	12
2.1.1.5 Reolojik özellikleri.....	13
2.1.2 Bentonitin kimyasal özellikleri.....	14
2.2 Bentonitlerin Jeolojisi Ve Mineralojisi.....	14
2.2.1 Mineralojisi.....	14
2.2.2 Oluşumu.....	15
2.2.2.1 Volkanik kökenli bentonit yatakları.....	15
2.2.2.2 Magmatik (hidrotermal) bentonit yatakları.....	15
2.2.2.3 Sedimanter bentonitik kil yatakları .....	15
2.2.3 Dünyada ve Türkiye'de bentonit.....	16
2.2.3.1 Dünyada bentonit .....	16
2.2.3.2 Türkiye'de bentonit rezervleri ve özellikleri .....	17
2.3 Bentonitlerin İsimlendirilmesi .....	18
2.3.1 Bilimsel açıdan bentonit .....	18
2.3.2 Ticari açıdan bentonit .....	19
2.3.3 Genel anlamda bentonit .....	19
2.3.3.1 Sodyum bentoniti .....	20
2.3.3.2 Kalsiyum bentoniti .....	20
2.3.3.3 Ara tip bentonit .....	21
2.4 Üretim Yöntemleri Ve Aktifleştirme.....	21
2.4.1 Aktifleştirme .....	21
<b>3. BENTONİTLERİN ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI.....</b>	<b>23</b>
3.1 Döküm Kumu Ve Peletleme.....	23
3.2 Sondaj Alanında Kullanımı .....	23
3.3 Gıda Sanayinde Kullanımı .....	23
3.4 Berraklaştırma İşleminde Kullanımı .....	24
3.5 Ağartma İşlemlerinde Kullanımı.....	24

3.6 İlaç Sanayinde Kullanımı .....	24
3.7 Seramik Sanayinde Kullanımı .....	25
3.8 Çimento Sanayinde Kullanımı.....	25
3.9 Kâğıt Endüstrisinde Kullanımı .....	26
3.10 Lastik Endüstrisinde Kullanımı .....	26
3.11 İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı .....	27
3.12 Sabun ve Temizlik Maddelerinde Kullanımı.....	27
3.13 Gübre Yapımında Kullanımı .....	28
3.14 Yangın Söndürücülerde Kullanımı .....	28
3.15 Boya Endüstrisinde Kullanımı.....	28
3.16 Petrol Rafinasyonunda Kullanımı .....	29
3.17 Hayvan Yemi Yapımında Kullanımı .....	29
3.18 Adsorban Olarak (Kedi Kumı) Kullanımı .....	29
3.19 Nem Alıcı Kil (Desiccant Clay) Üretiminde Kullanımı .....	30
<b>4. SERAMİK BÜNYELERDE BENTONİT KULLANIMI .....</b>	<b>31</b>
4.1 Seramik Bünyelerin Pişirimi Ve Sinterleme.....	32
4.2 Pişirme İşlemi İle Bünyede Meydana Gelen Olaylar .....	32
4.2.1 Fiziksel değişimler .....	32
4.2.2 Kimyasal değişimler .....	33
4.2.3 Sinterleme mekanizması ve faz değişimleri .....	33
4.3 Pişirme Prosesleri .....	35
4.4 Duvar Karosu Yapımında Kullanılan Hammaddeler.....	36
4.4.1 Feldspat .....	36
4.4.2 Kuvars .....	37
4.4.3 Kalsit .....	38
4.4.4 Dolomit .....	39
4.4.5 Pegmatit .....	40
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>41</b>
5.1 Deneylerde Kullanılan Hammaddeler .....	41
5.2 Deneylerde Kullanılan Alet Ve Cihazlar .....	43
5.3 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonit Tabletlerinin Hazırlanması.....	44
5.4 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentoniti Katkılı Seramik Bünye Tabletlerinin Hazırlanması .....	44
5.5 Deneylerin Yapılışı .....	45
5.5.1 XRF analizi .....	45
5.5.2 Şişme deneyi .....	45
5.5.3 Saat camı testi .....	45
5.5.4 HCL ile tepkime.....	46
5.5.5 Yoğunluk tayini .....	46
5.5.6 pH ölçümü.....	46
5.5.7 Plastisite deneyi .....	46
5.5.8 Boyutça küçülme deneyi.....	46
5.5.9 Su emme deneyi .....	47
5.5.10 Sıcaklıkla renk değişimi.....	47
5.5.11 XRD analizi .....	47
5.5.12 SEM analizi.....	48
5.5.13 Mikrosertlik analizi .....	48
<b>6. DENEY SONUÇLARI .....</b>	<b>49</b>
6.1 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonitinin Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri .....	49

6.1.1 XRF analiz sonuçları .....	49
6.1.2 Şişme deneyi sonuçları .....	49
6.1.3 Saat camı testi sonuçları .....	51
6.1.4 Yoğunluk, pH değeri ve HCl ile tepkime sonuçları .....	52
6.2 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonitlerinin Plastisite, Boyutça Küçülme, Su Emme Ve Renk Değişimi .....	52
6.3 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonit Katkılı Seramik Bünye Tabletlerinin(B1 - B2 Harmanları)Plastisite, Boyutça Küçülme, Su Emme Ve Renk Değişimi .....	54
6.4 Tokat Reşadiye Bölgesi ve Esan Bentonit Katkılı Seramik Bünyede (B1 - B2 Harmanları) Pişirme SıcaklığınınEtkisi .....	56
6.4.1 XRD analizi değerlendirmesi .....	56
6.4.2 SEM analizi değerlendirmesi .....	58
6.4.3 Su emme .....	59
6.4.4 Sertlik.....	60
6.4.5 Sıcaklıkla renk değişimi .....	61
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>63</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>71</b>



## **KISALTMALAR**

<b>TSE</b>	:Türk Standartları Enstitüsü
<b>XRF</b>	:X-ışınları Floresans Spektrometresi
<b>SEM</b>	:Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>XRD</b>	:X-ışınları Difraktometresi
<b>ESAN</b>	:Eczacıbaşı San. ve Tic. A.Ş.





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Ülkelere göre bentonit dağılımı.....	16
Çizelge 2.2 : Başlıca bentonit gruplarının ortalama kimyasal analiz değerleri [32].	20
Çizelge 5.1 : E-benta bentonitine ait kimyasal analizi .....	42
Çizelge 5.2 : Mikronize kuvarın kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği .....	42
Çizelge 5.3 : Mikronize kaolenin kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği.....	42
Çizelge 5.4 : Mikronize kalsitin kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği.....	43
Çizelge 5.5 :Baz reçete kompozisyonu.....	44
Çizelge 6.1 : İncelenen bentonit numunelerinin XRF analiz sonuçları. ....	49
Çizelge 6.2 : Tokat-Reşadiye bentonitinin şişme deney sonuçları. ....	50
Çizelge 6.3 : Esan bentonitinin şişme deney sonuçları.....	50
Çizelge 6.4 : Numunelerinin yoğunluk, pH değeri ve HCl tepkime sonuçları.....	52
Çizelge 6.5 : Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin plastisite, boyutça küçülme ve su emme sonuçları. ....	53
Çizelge 6.6 : Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünye tabletlerinin (B1 - B2 harmanları) plastisite, boyutça küçülme ve su emme sonuçları.....	55



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Kil boyutları ve yüzey alanları [9].	3
Şekil 2.2 : Kil tanesinin birimleri a) Tetrahedral birim, b) Silikat tabakası c) Oktahedral birim, d) Alümina tabakası [10].	4
Şekil 2.3: Montmorillonitin kristal yapısı [13].	5
Şekil 2.4 : Montmorillonitin suda şişmesi [16].	5
Şekil 2.5 : Kil tabakalarının üst üste geldiğinde üç boyutlu görünümü [15].	6
Şekil 2.6 : Kil tabakaları arasındaki katyonların su çekmesi [26].	9
Şekil 4.1 : Kaolin-kuvars-feldspat üçlü diyagramı [64].	31
Şekil 4.2 : Sinterlemeyle küresel partiküller arasındaki boyun oluşumunun Taramalı Elektron Mikroskopundaki görüntüsü [68].	34
Şekil 6.1 : İncelenen bentonitlerin 30. gün esnasında şişme göstererek işgal etmiş oldukları hacimler (Sağda Tokat-Reşadiye bentoniti, solda Esan bentoniti).	50
Şekil 6.2 : Saat camı testi sonuçları a) Tokat-Reşadiye bentoniti b) Esan bentoniti.	51
Şekil 6.3 : HCl ile tepkime. a) Tokat Reşadiye Bentoniti b) Esan Bentoniti	52
Şekil 6.4 : İncelenen Tokat Reşadiye bölgesi bentonit tabletlerinde pişme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.	54
Şekil 6.5 : İncelenen Tokat Reşadiye bölgesi bentonit tabletlerinde pişme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.	54
Şekil 6.6 : İncelenen Tokat Reşadiye bentoniti katkılı seramik bünye tabletlerin (B1) pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.	55
Şekil 6.7 : İncelenen Esan bentoniti katkılı seramik bünye tabletlerin (B2) pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.	56
Şekil 6.8 : Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak XRD analizleri	57
Şekil 6.9 : Esan bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak XRD analizleri.	57
Şekil 6.10 : Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri.	58
Şekil 6.11 : Esan bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri.	58
Şekil 6.12 : Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Tokat Reşadiye bentonit katkılı seramik bünyelerdeki % su emme özelliğindeki değişim.	59
Şekil 6.13: Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Esan bentonit katkılı seramik bünyelerdeki % su emme özelliğindeki değişim.	59
Şekil 6.14 : Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyedeki sertlik özelliğindeki değişim.	60
Şekil 6.15 : Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Esan bentonit katkılı seramik bünyedeki sertlik özelliğindeki değişim.	61

<b>Şekil 6.16 :</b> Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye silindirik tabletlerin pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri. ....	61
<b>Şekil 6.17 :</b> Esan bentonit katkılı seramik bünye silindirik tabletlerin pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.....	62

## TOKAT-REŞADIYE BÖLGESİ BENTONİTİNİN DUVAR KAROSU BÜNYELERİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

### ÖZET

Yüksek sıcaklıkta pişirilmiş toprak tanımıyla ifade edilen seramik, binaların iç ve dış yüzeylerinin, zeminlerinin kaplanmasında kullanılan önemli bir dekorasyon ürünüdür. Doğadan elde edilen kil, kaolen, kuvars, feldspat vb. maddelerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu maddeler hamur haline getirilerek preslenir ve 1100 derecenin üzerinde yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Seramik tarihine bakıldığında, ilk seramiğin M.Ö: 6000 yılında Anadolu'da üretildiği bilinmektedir. Çatalhöyük'teki kazılarda elde edilen seramik parçaları, aradan geçen 8000 yıl boyunca bozulmadan günümüze ulaşmıştır.

16. yüzyılda Türk çini ve seramik sanatı sürekli bir gelişim göstererek teknik ve sanatsal açıdan doruk noktasına ulaşmıştır. Bu dönemde sır altı tekniğinde meydana gelen önemli gelişmeler sonucunda, çini ve seramiklerin uzun yıllar bozulmadan kalması, boyuların korunması ve renklerin daha hoş görülmesi imkanı sağlanmıştır. 16. yüzyılda İznik ve Kütahya çini bünyeleri; silika, cam frit ve %80'ni montmorillonitten oluşan bentonit içermektedir.

Bentonit, su ile temasında kolloidal özellik göstermesi, su ve bazı organik ortamlarda şişme, yüksek plastisite ve yüksek bağlayıcılık gibi özellikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Birçok ticari ürünün bileşenleridir. Döküm kalıp kumlarının hazırlanmasında, demir cevherlerinin peletlenmesinde bağlayıcılar olarak yaygın şekilde kullanılmaktadırlar. Bentonitler, sodyum (Na) bentonit, kalsiyum (Ca) bentonit ve aratip (Na-Ca) bentonit olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Bentonitlerin az miktarlarda ilavesiyle, seramik bünyelerin plastisitesi artarken, yaş, kuru mukavemet ve kuru çekilme de artış göstermektedir.

Bu çalışmada, Karakaya Bentonit A.Ş. tarafından işletilmekte olan Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit yataklarının seramik endüstrisi açısından teknolojik değerlerinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Tokat-Reşadiye bölgesine ait olan bentonitin, yoğunluk, kimyasal bileşim, HCl ile tepkime, pH değeri, saat camı testi ve şişme kapasitesi özellikleri de belirlenmiştir.

Tokat-Reşadiye bölgesine ait bentonitin seramik endüstrisindeki kullanılabilirliğinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amacıyla standart bir seramik duvar karosu reçetesi (%61 kil-%24 kaolen-%6 kuvars-%9 kalsit) baz alınarak, hazırlanan seramik bünyenin karakterizasyonu ile elde edilen sonuçlar ve öneriler, aynı duvar karosu reçetesi ile hazırlanan Esan bentonitli seramik bünye sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösterirken, Esan bentoniti ise orijinal hacminin yaklaşık 34 katı şişme göstermiştir. Her iki bentonit numunesinin saat camı testi sonucunda şişerek, yıldızvari bölünme gösterdikleri tespit edilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi bentonitinin yoğunluğunun

yaklaşık 2,55 (gr/cm<sup>3</sup>), Esan bentonitinin ise yaklaşık 2,51 (gr/cm<sup>3</sup>) olduğu ve pH değerlerinin Tokat Reşadiye bentoniti için 9, Esan bentonitinin 9,5 olduğu belirlenmiştir. TSE 11136 standardında seramik endüstrisinde kullanılan bentonitler için istenen pH değeri (en az 8) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösteren Tokat Reşadiye bölgesi bentonit numunesinin plastisite değerinin de %143,52 ± 1,21 aralığında olduğu, Esan bentonit numunesinin plastisite değerinin ise %229,89±1.85 aralığında olduğu belirlenmiştir. Pişme küçülme değerinin Tokat Reşadiye bölgesi bentoniti için yaklaşık %-2 olduğu ve TSE 11136 standartta verilen max. pişme küçülmesi yüzdesi (%25) ile uyumlu olmadığı, hatta pişme küçülmesi yerine artan sıcaklık ile 1100°C'ye pişirilen bentonit tabletlerinin büyüme gösterdiği görülmüştür. Esan bentonit tabletleri için pişme küçülmesinin yaklaşık %1,77 olduğu ve seramik endüstrisinde kullanılan bentonitler için istenen TSE 11136 standartta verilen max. pişme küçülmesi yüzdesi (%25) içerisinde kalmış olup seramik endüstrisinde kullanımı uygun olduğu belirlenmiştir.

TSE 11136 standardına göre seramik endüstrisinde kullanıma uygun olarak tanımlanan bentonitler için renk beyaz olarak tanımlanmıştır. İncelenen Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin 1100°C'de pişirilmesi sonrası ulaşılan renk kahve ve tonları şeklinde olduğundan seramik endüstrisinde kullanımı açısından uygun olmadığı görülmüştür. Pişme rengi incelemesi yapılan Esan bentonitinin ise 1100°C 'de pişirilmesi sonrası beyaz ve beyaz tonlarında renk oluşumları gösterdiği, TSE 11136 standardına uygun olduğu görülmüştür.

Kimyasal özellikleri açısından incelendiğinde Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin ağırlıkça %5,17 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ağırlıkça %20,40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermesinin, TSE11136 standardında belirtilen (en fazla %1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %14 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,30 TiO<sub>2</sub>), aralıklara uyumlu olmadığı tespit edilmiştir. İncelenen Esan bentonitinin TSE 11136 standardında belirtilen aralıklara uygun olduğu ( ağırlıkça %0,70 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %13 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,05 TiO<sub>2</sub>) görülmüştür.

TSE EN 14411 duvar karoları teknik özellikleri standardında su emme (%) yüzdesi ortalama %10 olarak belirtilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi bentoniti ile hazırlanan seramik bünyede 1140°C'de ortalama %4,26, Esan bentoniti katkılı seramik bünyede ise 1140°C'de ortalama % 1,73 olduğu ve değerlerin TSE EN 14411 standardının altında olduğu belirlenmiştir.

İncelenen Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyelerde sertliğin en fazla 3 (Mohs), Esan bentonit katkılı bünyelerde ise en fazla 5 (Mohs)'a ulaşabildiği ve literatürde istenilen sertlik değerinin altında olduğu görülmüştür.

İncelenen her iki tip bentonit katkılı seramik bünyelerde artan pişirme sıcaklığı ile sertlik artışının, XRD analizi ile tespit edilen fazı oluşumları ve SEM analizi ile gözlemlenen porların küçülmesi ve kapanması sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

TSE 11136, TSE EN 14411 standartlarına göre Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin seramik endüstrisinde kullanımının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin seramik endüstrisinde kullanılarak değerlendirilebilmesi amacıyla bentonit bünyesinde bulunan bileşenlerin, çeşitli proses süreçleri kapsamında geliştirilmesi ileride yapılabilecek olan çalışmalar için önerilebilir.

## **INVESTIGATIONS OF THE APPLICABILITY OF TOKAT-REŞADİYE REGION BENTONITES IN WALL TILE BODIES**

### **SUMMARY**

A ceramic is identified as an inorganic nonmetallic high temperature fired soil; it is a decoration product which is used for coating the inner surfaces, exterior surfaces and floors of the buildings. It is acquired from the proportional mixture of clay, kaoline, quartz, feldspar etc. which are gained from nature. These materials are made paste and pressed and fired above 1100°C. In the history of ceramic, first ceramic has been produced in B.C. 6000, in Anatolia. After 8000 years, the ceramic parts which was picked up from the excavation in Catalhoyuk are still exist without any breakdown. Turkish porcelain and ceramic art has a seat between the Turkish arts. In 16. Century, Turkish porcelain and ceramic art reached its peak point with the continuous improvement of technical and artistic aspect. In the 16th century, Iznik and Kütahya porcelain pastes consisted of bentonite that contains silica, glass frit and 80% of montmorillonite.

Most high-grade natural sodium bentonite is produced from the western United States in an area between the Black Hills of South Dakota and the Bighorn Basin of Wyoming and Tokat Resadiye region of Turkey. Mixed sodium/calcium bentonite is mined in Greece, Australia, India, Russia, and Ukraine. In the United States, calcium bentonite is mined primarily in Mississippi and Alabama. Other major locations producing calcium bentonite include Germany, Greece, Turkey, India, and China.

Gradual depletion of the known raw materials reserves of the world leads man to explore new mineral deposits and to evaluate better the known ones. Bentonite is one of the most important and abundant clays of Turkey. Lower cost of bentonite in comparison to other raw materials for various usage increases demand for it. Therefore, discovery of new and better quality deposits and carrying out of research to increase the quality of the known deposits are important as their contribution to the Turkish economies will be large.

The material is initially crushed and, if necessary, activated with the addition of soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Bentonite is subsequently dried (air and/or forced drying) to reach a moisture content of approximately 15%. According to the final application, bentonite is either sieved (granular form) or milled (into powder and super fine powder form).

Bentonite often contains 80% montmorillonite. Bentonite is used in a wide range of applications including drilling mud, bleaching earth, water and solvent based rheological additives, cat litter, desiccant clay, and animal feed additive. Due to high viscosity and swelling and low filtration loss, (Na–Ca)bentonites are in high demand in commercial applications. It is commonly known that even good quality sodium bentonites may not meet the required standards for drilling muds as drilling-fluid additives in their natural forms. Their main functions are to viscosify the mud and reduce fluid loss to the formation. By alkali activation or by introducing some polymer additives, it is possible to upgrade some (Na, Ca)-bentonites and even

calcium bentonites to meet the API or TS EN ISO 13500 (30 cP minimum viscosity at 600 rpm; 15 cm<sup>3</sup> filtration losses and 22 ml swelling index) standards. Because raw (Na–Ca) bentonites exhibit high filtration losses and do not develop sufficient viscosity, they cannot meet the above standards and thus require appropriate activation formulations. These activations typically employ various additives such as soda, MgO, and a polymer, usually CMC (carboxyl methyl cellulose).

Bentonites which are widely used in controlling the stability of industrial suspensions due to their high cation exchange capacity may be classified as alkaline (Na bentonite), semi alkaline (Na-Ca bentonite), alkaline earth (Ca bentonite). While Na bentonites are used as drilling fluid for their existing technological properties, semi alkaline and alkaline earth bentonites have limited use in this industry. Although reserves of Na bentonites are limited both in our country and in the world, there is unlimited reserves of Na-Ca and Ca bentonites. It is generally difficult to use these bentonites in their natural form in drilling industry because of their average and low swelling capacity, viscosities and high filtration losses. The only way to obtain drilling mud in compliance with the API and TSE standarts is to activate bentonite by adding various additives. Using new technological developments with these type of bentonites, will be highly competitive and highly important for our national economy.

The increasing demand of bentonite utilization for advanced material technology and the limited reserves of high quality bentonites push the reserachers and the operators/producers to evaluate the lower quality calcium and mixed bentonites for the replacement of Na-bentonites in use. The technological properties of bentonites, however, can be upgraded by the application of concentrating and alkali activation. Mostly, wet concentration methods such as decantation, hyrocycloning and centrifuging have been applying and water quality and ion type/amount which the water carries becomes more important to controll the further activation process since bentonites carry the releasable and exchangable cations on interlayers which interact with ions in water.

Bentonites have a wide range application areas due to their colloidal properties with high plasticity and superior binding characteristics and high swelling capacity in aqueuous and some organic environments. They are components in many commercial products. They are used as the binders for the preparation of casting molds sand and for pelletizing and agglomeration. Bentonites can be classified as sodium bentonite, calcium bentonite and sodium-calcium mixed bentonite.

The small addion of bentonites increases the plasticity of different ceramic green bodies and also increases green and dry strength and dry shrinkage. The amount of bentonite added into the ceramic body differ considerably.

The main aim of this research project was to evaluate the technological values of bentonite originated from the Tokat-Reşadiye region in Turkey, provided from the Karakaya Bentonite Company, and determine the optimum usage conditions in ceramic industry. Also, the chemical and physical properties, i.e., composition, density, pH value, swelling capacity, watch-glass tests, and acid (HCl) reaction tests of the investigated bentonite of Tokat-Reşadiye region were characterized.

Conclusions and recommendations obtained from characterization of ceramic body which is prepared on the basis of a standard ceramic wall tile prescription (61% clay, 24% kaolen, 6% quartz, 9% calcite)are compared with ceramic body with Esan



bentonite which is prepared on the basis prescription to determine the availability in the ceramic industry and optimal use of Tokat-Reşadiye region.

The swelling capacity of Tokat-Reşadiye region bentonite was determined as approximately 18, and the swelling capacity of Tokat-Reşadiye region bentonite was approximately 34. As a result of watch-glass test, both the Tokat-Reşadiye region bentonite and Esan bentonite samples exhibited the swelling behavior, then, star-type splitting. The density and pH value of Tokat-Reşadiye region bentonite were measured as about  $2.55 \text{ gr/cm}^3$  and 9. The density and pH value of Esan bentonite sample were measured as about  $2.51 \text{ gr/cm}^3$  and 9.5, respectively. These values are compatible with desired pH value (min 8) for the bentonite used in ceramic industry according to TSE 11136.

The value of plasticity of Tokat Reşadiye region bentonite was in the range of  $143.52 \pm 1.21 \%$ , The value of plasticity of Esan bentonite was in the range of  $229.89 \pm 1.85 \%$ . The firing shrinkage value of Tokat Reşadiye region bentonite was -2% and this value is not compatible with the specified value of firing shrinkage (25%) in TSE 11136 standard. Even instead of firing shrinkage of fired up to  $1100^\circ\text{C}$  bentonite tablets showed growing with increasing temperature. The firing shrinkage value of Esan bentonite was 1.77 % and this value is compatible with the specified value of firing shrinkage in TSE 11136 standard.

Identified by TS 11136 standard bentonite color as suitable for use in the ceramic industry is white. After fired  $1100^\circ\text{C}$ , the color of examined Tokat-Reşadiye Region bentonite, coffee and shades of coffee, is not suitable for use in the ceramic industry. After fired  $1100^\circ\text{C}$ , the color of examined Esan bentonite, white and shades of white, is suitable for use in the ceramic industry according to TS 11136.

Analyzed in terms of chemical properties, Tokat Reşadiye region bentonite involved wt. 5.17%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and 20.40%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . These values are not compatible with TSE 11136 standard (max  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  %1,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  %14,  $\text{TiO}_2$  %0.30). Chemical properties of examined Esan bentonite (wt. 0.70%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 13%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0.05%  $\text{TiO}_2$ ) were suitable with TSE 11136 standard.

Water absorption (%) is defined 10% in technical standard of wall tiles TSE EN 14411. Water absorption of ceramic bodies with Tokat-Reşadiye region bentonite is average 4.26% at  $1140^\circ\text{C}$ . Water absorption of ceramic bodies with Esan bentonite is average 4.26% at  $1140^\circ\text{C}$  and these values are under the values of TSE EN 14411 standard.

Hardness of inspected ceramic bodies with Tokat-Reşadiye region bentonite were max. 3 (Mohs). Hardness of inspected ceramic bodies with Esan bentonite were max. 5 (Mohs) and these values were under the hardness values of literature.

While increasing the firing temperature, hardness values increased for both inspected ceramic bodies. This condition is compatible with phase formation that determined by XRD analysis and downsizing and closing of the pores that determined by SEM.

It has been determined that Tokat-Reşadiye region bentonite is not suitable for the ceramic industry applications according to the TSE 11136, TSE EN 14411 standard.

In order to evaluate using Tokat-Reşadiye region bentonite in ceramic industry, components of the bentonite has to be developed in the various processes considering the economic factors for the future.



## 1. GİRİŞ

İlk insanlardan bu yana kullanılan kiler, bilinen en eski hammaddelerdendir. Su ile hamur haline getirilen bazı kilerin şekillendirilip, pişirilmesiyle yapılan kaplar, süs eşyaları, sanat eserleri ve yapı malzemeleri geçmiş uygarlıkların günümüzdeki habercileridir [1].

Bentonit, doğada bol miktarda bulunan kolay elde edilebilen bir hammaddedir. Bentonit, birçok sanayi dallarında olduğu gibi seramik alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bentonit, seramik hamurunun plastisitesini, ekstrüzyon kabiliyetini ve kuru mukavemeti arttırması, seramik hamurunun homojen karışmasını ve piştikten sonra kırılabilirliğinin azalmasını sağlaması nedeniyle seramik sektöründe kullanım yeri bulmaktadır [2].

Yüksek sıcaklıkta pişirilmiş toprak tanımıyla ifade edilen seramik, binaların iç ve dış yüzeylerinin, zeminlerinin kaplanmasında kullanılan önemli bir dekorasyon ürünüdür. Doğadan elde edilen kil, kaolen, kuvars, feldspat vb. maddelerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu maddeler hamur haline getirilerek preslenir ve 1100 derecenin üzerinde yüksek sıcaklıkta fırınlanır. Seramik tarihine bakıldığında, ilk seramiğin M.Ö: 6000 yılında Anadolu'da üretildiği bilinmektedir. Çatalhöyük'teki kazılarda elde edilen seramik parçaları, aradan geçen 8000 yıl boyunca bozulmadan günümüze ulaşmıştır [3]. Türk çini ve seramik sanatı, Türk sanatları arasında önemli bir yere sahiptir. 16. yüzyılda Türk çini ve seramik sanatı sürekli bir gelişim göstererek teknik ve sanatsal açıdan doruk noktasına ulaşmıştır. Bu dönemde sır altı tekniğinde meydana gelen önemli gelişmeler sonucunda, çini ve seramiklerin uzun yıllar bozulmadan kalması, boyuların korunması ve renklerin daha hoş görülmesi imkanı sağlanmıştır [4]. 16. yüzyılda İznik ve Kütahya çini bünyeleri; silika, cam frit ve %80'ni montmorillonitten oluşan bentonit içermektedir [5, 6].

Bu çalışmada, Karakaya Bentonit A.Ş. tarafından işletilmekte olan Tokat-Reşadiyebölgesi bentonit yataklarının seramik endüstrisi açısından teknolojik değerlerinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında elde edilecek olan sonuçların kıyaslamasının yapılması için Eczacıbaşı

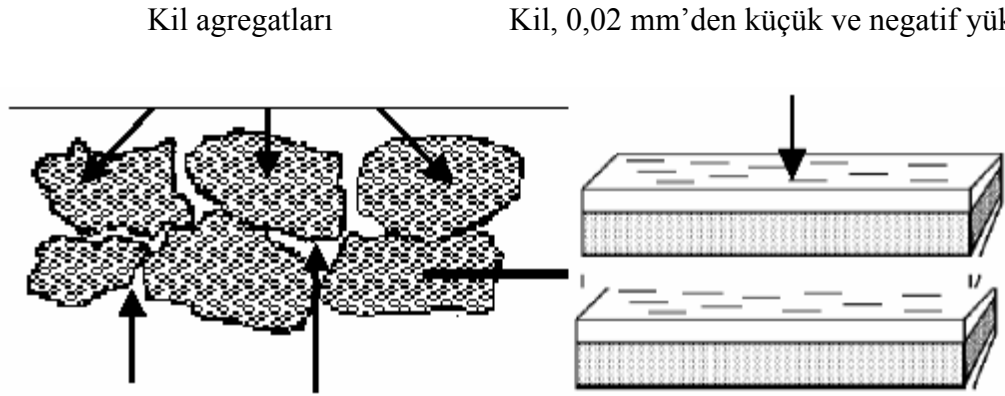
Esan San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiş olan ve seramik bünyelerde kullanılan E-Benta bentoniti de kullanılmıştır. Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonitine aityoğunluk, kimyasal bileşim, HCl ile tepkime, saat camı testi ve şişme kapasitesi özellikleri karakterize edilmiştir. Bentonit numunelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin TSE 11136 Standardına [7] (Bentonit-Seramik Sanayiinde Kullanılan) uygunluğu incelenmiştir. Ayrıca Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitlerinin seramik duvar karosu uygulamalarındaki kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla hazırlanan seramik reçeteninkarakteristik özellikleri (renk değişimi, plastisite suyu, kuru küçülme, pişme küçülmesi, su emme ve sertlik davranışı vb.) belirlenmiş ve TSE EN 14411 Grup BIII standardına [8] uygunluğu incelenmiştir. Sonuçlar aynı seramik reçete ile hazırlanan Esan bentonitli seramik bünyelere ait sonuçlar ile de kıyaslanmıştır.

## 2. KİL, MONTMORİLLONİT VE BENTONİT

Kil, kristal yapıları birbirinden farklı birkaç mineralin oluşturduğu bir karışımın genel ismidir. Bu tanım şu şekilde formüle edilebilir (2.1);

$$\text{KİL} = \text{Ana kil minerali} + \text{Diğer kil mineralleri} + \text{Eser organik maddeler} \quad (2.1)$$

Kil tanecik büyüklüğü 2  $\mu\text{m}$ 'den küçük olanların çoğunlukta olduğu, ısıtıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan hidrate alüminyum silikatların oluşturduğu karışımlardır (Şekil 2.1)[9].



Şekil 2.1 : Kil boyutları ve yüzey alanları[9].

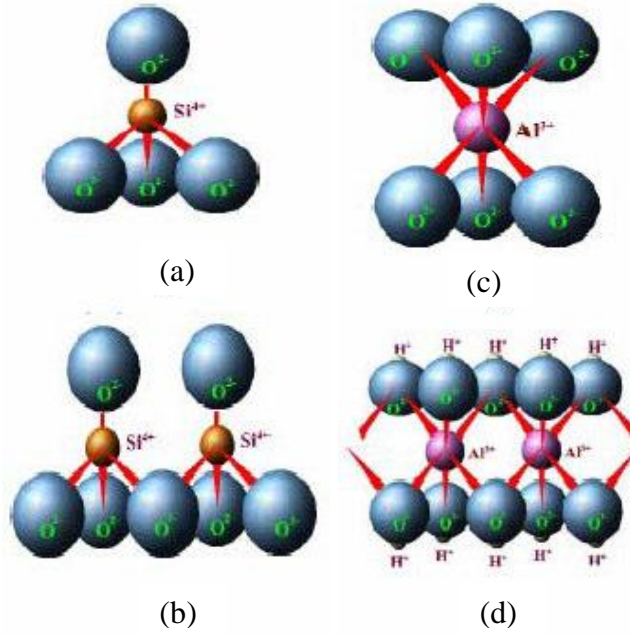
Killer tabakalı yapıda minerallerdir. Kil minerallerinin çoğunda ortak olan iki temel kristal yapı birimi vardır;  $\text{SiO}_4^{4-}$  (silika) tetrahedral dizilişi ve Al-O-OH (gibsit) oktahedral dizilişidir. Kil minerallerinin çoğu bu temel ünitelerin değişik şekilde üst üste gelmesi ile oluşmuşlardır.

Tetrahedral (Si-O) birim; geometrik şekli düzgün dört yüzlü, merkezde silisyum atomu, köşelerde ise merkez atomundan eşit uzaklıkta oksijen ya da hidroksil iyonlarının yer almasıyla oluşan birimdir (Şekil 2.2)[9]. Tetrahedral dizilim sonucunda oksijen atomlarının ortasında  $0.55 \text{ \AA}$  çapında bir boşluk oluşur. Çapı  $0.5 \text{ \AA}$  olan Si atomu için bu boşluk çok uygun bir büyüklüktedir. Her tetrahedral dizilişte dört oksijen atomundan üçü komşu tetrahedral tarafından paylaşılır. Dördüncü oksijen atomu aşağıya veya yukarıya doğru yönelmiştir. Bir yapıdaki tetrahedrallerin tabanları aynı yöney yönelmiştir. Tetrahedraller birbirine üstten

bakıldığında hegzagonal bir ağ oluşturacak şekilde bağlanmışlardır. Tetrahedral oksijenlerinin diğer tetrahedral birimler tarafından paylaşılmasından silikat yapıları oluşur.

Oktahedral (Al-O-OH) birim; geometrik şekli düzgün sekiz yüzlü, merkezde alüminyum iyonları, köşelerde ise oksijen ya da hidroksil iyonları bulunan yapı birimidir. Oktahedallerin diğer oktahedral birimler tarafından paylaşılması sonucu alüminata bakaları oluşur (Şekil 2.2)[9].

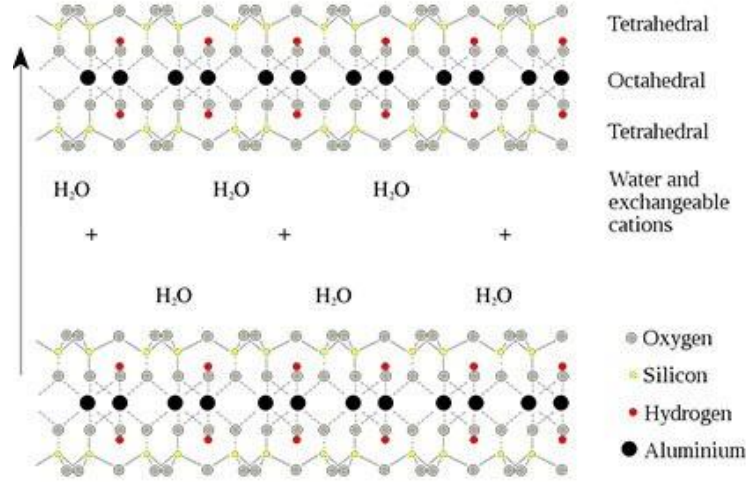
İki silisyum tetrahedralinin arasına bir alüminyum oktahedralinin girmesi sonucu montmorillonit minerali birim katmanı oluşur ve bu yapı kısaca TOT şeklinde simgelenir. Çok sayıda montmorillonit birim katmanlarının üst üste yerleşmesi sonucunda ise montmorillonit tanecikleri oluşur [10].



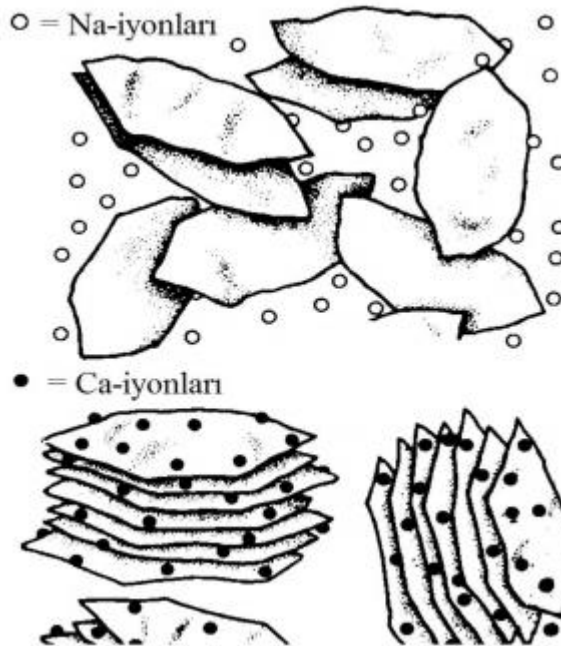
**Şekil 2.2 :** Kil tanesinin birimleri a) Tetrahedral birim, b) Silikat tabakası c) Oktahedral birim, d) Alümina tabakası [10].

Silika ve alümina tabakaları arasında kuvvetli bir iyonik bağ olmasına karşın birim tabakalar birbirine zayıf Van der Waals kuvveti ile bağlanmıştır. Aralarında su moleküllü ve yapılarında pozitif yük noksanlığını karşılayan değişebilen katyonlar bulunur. Su ve organik maddeler bu birim tabakalar arasına girerek yapının genişlemesine neden olurlar. Şekil 2.3'de montmorillonit mineralinin kristal yapısında bulunan iyonlar gösterilmiştir. Bu yapıya göre smektit grubundaki kationların teorik kimyasal formülü;  $[Al_4Si_8O_{20}(OH)_4].nH_2O$  şeklindedir.

Formüldeki  $nH_2O$  birim tabakalar arasındaki suyu göstermektedir. Bu formüle göre teorik olarak mineraller %66,7  $SiO_2$ , %28,3  $Al_2O_3$  ve % 5  $H_2O$ 'dan oluşmuştur (Şekil 2.4).



Şekil 2.3: Montmorillonitin kristal yapısı [13].



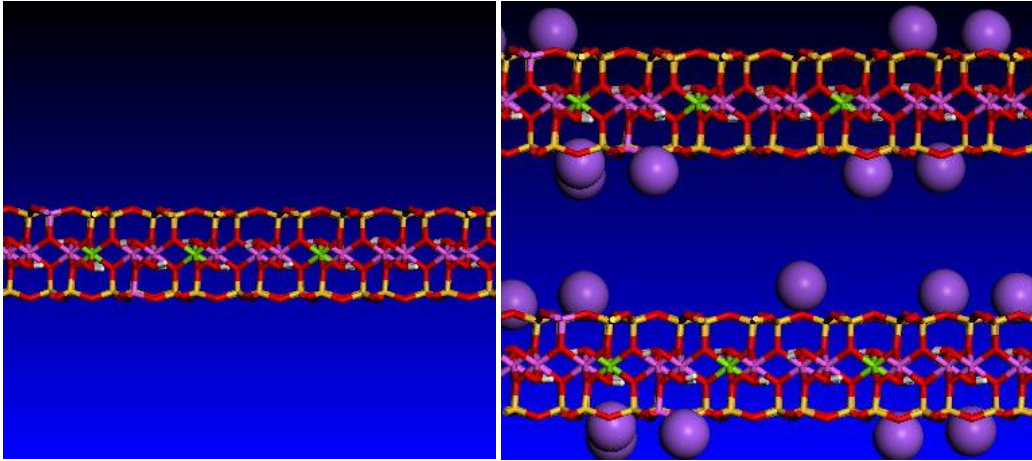
Şekil 2.4 : Montmorillonitin suda şişmesi [16].

Birim tabakalar arasındaki bağların zayıf olması nedeni ile tabaka aralarına değişkiyonlar, organik moleküller ve su girerek bentonitlere absorpsiyon özelliği kazandırır. Silika ve alümina tabakaları arasında kuvvetli bir iyonik bağ olmasına karşın birimtabakalar birbirine zayıf Van der Waals kuvveti ile bağlanmıştır. Bu da tabakaların kolaylıkla ayrılmasına olanak tanımaktadır.

Şekil 2.5’de kil tabakalarının bir diğ erinin üstüne nasıl geldiğini göstermektedir. Oluş an negatif yükler, tabakalar arasındaki o bölgeye veya kil yüzeyine giren pozitif iyonlar sayesinde dengelenmektedir. Doğ al killerde yük dengeleyici katyonlar genellikle  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  dir. Bu katyonlar tabaka arasında su molekülleri ile iliş ki kurmayameyillidirler. Bu da killerin yağ ışı lı havalarda şiş mesini ve kuru havalarda ise çatlama ve çekilmesini açıklamaktadır [15].

Basal boşluğ un genişlemesinin büyüklüğüne bağı lı olarak montmorillonitlerde ikitip şiş me olur: Kristalsi ve ozmotik şiş me. Kristalsi şiş me su moleküllerinin birimtabakalar arasına girmesi sonucunda oluş ur [16-17].

Adsorplanan su moleküllerinin birinci tabakası hegzagonal yapıdaki oksijenatomlarına hidrojen bağı ları ile bağ lanması ile oluş ur [18]. Değ iş ebilir katyon olarak  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$  gibi hidratlı katyonlara sahip olan montmorillonitler 30-40 Å’a kadar şiş erler hatta bu bazen yüzler mertebesine kadar çıkabilir. Bu tip şiş me ozmotik şiş me olarak adlandırılır [19].



**Şekil 2.5 :** Kil tabakalarının üst üste geldiğinde üç boyutlu görünümü [15].

Montmorillonitler değ iş ebilir katyon olarak çok degerlikli katyona sahip olduklarında çok fazla şiş mezler. Bunun nedeni katyon ve silikat tabakaları arasındaki çekme kuvvetinin iyon hidrasyonunun itici etkisinden daha baskın olmasındankaynaklanmaktadır [20]. Montmorillonitler ayrıca polar ya da iyonik karakterdeki organik karışı mların da tabakalar arasına girmesine olanak tanırırlar[21]. Kil minerallerinin özellikle tabakalar arasına büyük moleküllerin girmesi ile şiş mesi X ış ınları kırınımı (XRD) çalış maları ile saptanır [22-23].



## 2.1. Bentonit

Bir kayaç adı olan Bentonit kelimesi ilk kez 19. yüzyılda, Wyoming'in doğusunda, Rock Creek bölgesinde Kretase yaşlı Benton Formasyonuna ait Benton Seyl'ine verilen isimle kullanılmaya başlanmıştır. Aslında, smektit grubu kil minerallerinden oluşan bir kil grubu olarak tanımlamak gerekir. Ana yapıcısı montmorillonit olup, bazı tür bentonitler smektit grubu üyeleri olan saponit ve hektorit minerallerince zenginleşmiş durumdadır. Smektit kelimesi ise eski Yunanca'da sabun anlamına gelen "smektos" kelimesinden alınmıştır.

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

Bentonitlerin % 60'ından fazlasını montmorillonit ve geri kalan miktarın bir kısmını kuvars ve daha az miktarını da illit, kalsit, mika, klorit ve volkanik camların çözülmemeyen parçacıkları oluşturmaktadır. Montmorillonitler 2:1 tabaka yapısı şeklinde adlandırılan bir adet genelde Al katyonlarını içeren oktahedral merkez tabaka ve iki adet genelde Si ve O atomlarını içeren tetrahedral tabakalardan oluşmaktadır [24].

Tetrahedral tabakadaki Si yerine Al ve oktahedral tabakadaki Al yerine Mg, Fe, Zn veya Li iyonları girmesi ile elektriksel denge bozularak pozitif yük noksanlığına neden olmaktadır. Bu pozitif yük noksanlığı birim tabakalar arasında alkali veya toprak alkali iyonların (genellikle  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Ca}^{+2}$ ) girmesi ile giderilmektedir. Bundan dolayı, bentonitlerin genel sınıflaması, tabaka arasında baskın olarak bulunan sodyum, kalsiyum ve nadiren magnezyum iyonları ile yapılmakta [24] ve bunlara göre oluşan bentonitler sırasıyla sodyum bentonit (Na-B), kalsiyum bentonit (Ca-B) ve Na-B - Ca-B karışımı olan bentonitler de " Ara bentonit " olarak adlandırılmaktadır [9]. Yüksek sodyum içeriğine sahip montmorillonitler tabaka arasında su adsorplamaya yeteneğine sahiptir. Bu özellik, teknolojik uygulamalar açısından çok

önemlidir. Silikatabakaları arasına suyun nüfuz etmesi, bünyesinde kendi kütlelerinin 5 katı kadar tutabilen bentonit tabakalarının yaklaşık olarak 0,3 nm açılmasını sağlamaktadır. Hidrateolmuş bentonit tabakaları sıvı akışı için tam bir bariyer özelliği göstermeye baslar. Bununla, bentonitler sızdırmazlık sağlanmasının istendiği yerlerde, jeomembranlarda ya da sondaj teknolojisinde sık sık kullanılmaktadır. Benzer bir mekanizmaya göre diğersolventler, yüzey aktif madde çözeltileri ya da polimerler bentonitler tarafından adsorbedilebilirler. Bu durumun araştırılması modifiye bentonitin uygulama olasılıkları ya da mekanik özellikler vasıtasıyla karakterize edilen yeni nanokompozit sistemlerin polimerteknolojileri için hazırlanmasında özellikle önemlidir [24].

### **2.1.1 Bentonitin fiziksel özellikleri**

Ham bentonit; kaolin kıvamında, yumuşak ve parçaları kırılmaya elverişlidir. Eylesürülünce yağsı bir görünüşle yayılır ve yüzeye yapışır. Kuru bentonitin özgül ağırlığı 2,7–2,8 gr/cm<sup>3</sup> iken, toz haline getirildiğinde yoğunluğu 1,6–1,8 gr/cm<sup>3</sup> değerlerine kadardüşmektedir. Bentonitler, şişen bentonit (Na-bentoniti), şişmeyen bentonit (Ca-bentoniti) ve karışık bentonit (hem Na hem Ca-bentonit) olarak üçe ayrılmaktadır. Na - Bentonit su içine konulunca şişer ve jelleşme özelliği gösterir. Na - Bentonit bu davranışı ile suyu absorbe etmektedir. Şişmeyen bentonit (çamaşır kili) ise, suda hacimce çok az değışmegösterir.

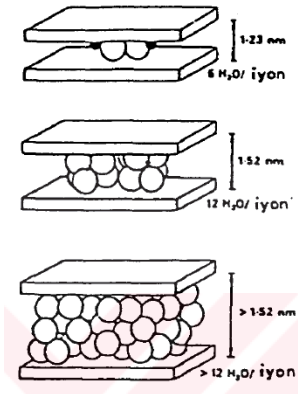
Şişen Bentonit şişmeyen bentonitten daha az bilinir. Su içerisinde kendi hacminin 15 katı oranında hacim artışı gösterirken, ağırlığında da büyük bir artış görülür. Bu tip bentonit su içerisinde sürekli olarak süspansiyon halinde kalabilir. Şişmeyen bentonit oluşumları, şişen bentonite oranla daha yaygın olarak bulunmaktadır. Az miktarda su absorbe ederler, balmumu görünümündedirler ve su içerisinde çabuk dağılırlar [14], [25].

#### **2.1.1.1 Şişme özellikleri**

Bentoniti diğerkillerden ayıran en önemli özellik bünyesinde su tutmasıdır. Bentonit bünyesinde tuttuğu fiziksel suyu 100-150°C gibi düşük sıcaklıkta kaybedebilir. Kristal suyu ise 300°C 'in üzerinde vermeye baslar. Bentonitin sıcaklıkta tuttuğu fiziksel su, kilin fiziksel ve kimyasal karakteristiğini kontrol eden en önemli faktörlerden biridir. Ticari alanlarda, killerde aranan plastiklik, kolloidal ve bağlama gibi özellikleri etkileyen düşük sıcaklıktaki bu fiziksel sudur.

Bentonitin bünyesine fiziksel su alması ve kristal yapısının genişlemesine "şişme" denir. Bentonitin suda şişme kapasitesi kilin tane iriliğine ve suya ilave edilmiş şekline bağlıdır. Su bentonit üzerine eklenirse jel oluşumu nedeniyle şişme olmaz. Bentonitin suya yavaş yavaş eklenmesi şişme olayının tam ve daha çabuk olmasını sağlar. Bentonitin yaklaşık kendi ağırlığının beş katı su absorbe edebilir ve kurutulduğu zaman ilk hacmine geri döner. Na-montmorillonit Ca-montmorillonite göre daha çok şişme özelliği gösterir. Şişme kristal içi ve ozmotik olmak üzere iki türlü olmaktadır: (i) Kristal içi şişme ve (ii) ozmotik şişme.

Kristal içi şişme, kuru bir kilde değişebilen katyonların hidrasyonundan (su çekme) kaynaklanır (Şekil 2.6). Tamamen kurutulmuş bir kilde, tabakalar arasındaki değişebilen katyonlar tabakaların yüzeyine ya da tetrahedron tabakalardaki hegzagonal yapıdaki boşluklara yerleşmişlerdir. Kuru haldeyken montmorillonit tabakaları birbirine öyle yakın uzanmışlardır ki neredeyse temas halindedirler. Tabakalar arasındaki uzaklık 0,96-1 mm arasındadır. Bir tabakanın kalınlığı ise 0,91 nm'dir. Negatif yüklü tabakalar, tabakalar arasındaki katyonlar vasıtasıyla ve bu küçük uzaklıklarda Van Der Waals çekim kuvvetleri ile sıkıca bir arada tutunurlar [26].



**Şekil 2.6 :** Kil tabakaları arasındaki katyonların su çekmesi [26].

Katyonların su çekmesinden dolayı tabakalar arasındaki boşluk genişler. Killerde kristal içi şişmede, su moleküllerinin polaritesi çok büyük önem taşımaktadır. Su molekülleri elektriksel olarak nötraldir; iki pozitif, iki negatif yük merkezi vardır. Katyonların hidrasyonunda, su moleküllerinin negatif kutupları katyonlara doğru yönelir ve böylece tabakalar arasındaki katyonlar ile negatif yüklü tabakalar arasındaki elektrostatik etkileşim zayıf düşeceğinden, katyonların etrafını saran su molekülleri artar.

Ozmotik şişme ise gözenek suyundaki ve kil yüzeyine yakın iyon derişimindeki büyük farklardan kaynaklanır. Kristal içi şişmenin tersine daha fazla uzaklıklarda etkili olabilir. Kristal örgüsündeki düzensizlikle, negatif yük fazlalığı ile gösterilebilir. Bu fazlalık kil yüzeyine yakın pozitif iyonlarla giderilebilir. Yüzeye yakın pozitif iyonların derişimi yüksek; negatif iyonların derişimi ise düşüktür. Pozitif iyon derişimi yüzeyden uzaklaştıkça azalır, negatif iyon derişimi ise artar. Negatif yüklü kil yüzeyi ve iyon bulutu difuze elektriksel çift tabakayı oluşturur ve kil tabakasının yüzeyinde, yüksek bir negatif potansiyel oluşur. Bu potansiyel değeri yüzeyden uzaklaştıkça azalır ve gözenek suyunda sıfır olur. Bu tür iki negatif potansiyel bölgesi üst üste geldiğinde birbirini iterler ve kilde şişmeye neden olurlar. Potansiyel eğri profili ve verilen bir uzaklıkta itme, gözenek suyundaki elektrolit derişimi ve çift tabakadaki zıt iyonların çapı ve değeri ile değişir. Na-M 'in Ca formuna dönüşmesi ve/ ya da gözenek suyundaki elektrolit derişimin artması çift tabaka kalınlığının düşmesine ve şişme basıncının azalmasına neden olur.

#### **2.1.1.2 Katyon değişim kapasitesi**

Kil mineralleri bazı katyon ve anyonları absorbe ederek onları değişebilen durumda tutarlar. Katmanlar arasında bulunan  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  gibi katyonlar inorganik ve organik tüm katyonlarla yer değiştirebildikleri için "değişebilen katyonlar" olarak adlandırılmaktadır. Montmorillonit ya da diğer kil minerallerinin 100 gramı içinde bulunda değişebilen katyonların milli eşdeğer molar kütle sayısı "Katyon Değişim Kapasitesi , KDK" olarak tanımlanır. Değişebilen katyon olarak  $Na^+$  içeren bir kil  $CaCl_2$  çözeltisi ile işleme sokulursa, çözeltideki her bir  $Ca^{+2}$  iyonu, 2 Na iyonunun yerini alır; bu işleme katyon değiştirme denir.

Sodyum iyonu katmanlar arasında fazla miktarda suyun girerek mineralin şişmesine yol açarken kalsiyum iyonu daha az suyun girmesine ve mineralin de daha az şişmesine yol açmaktadır. İyon değişimi ile fazla ve az şişen montmorillonit mineralleri birbirine tersinir olarak dönüşebilmektedir. Ca-M bazlar ya da bazik tuzlarla işlenerek Na-M 'e dönüştürülürken birim katmanın kalınlığı  $15^\circ A$  değerinden  $12^\circ A$  değerine değişmektedir. Tabakalar arasındaki katyonlar aynı kolaylıkla diğerinin yerini alamazlar. Katyonun değeri yer değiştirmede önemli bir faktördür. Büyük değerlikli katyonların yer değiştirme gücü daha yüksektir. Bazı katyonlar şu sıraya göre yer değiştirirler ;  $Na^{+2} < K^+ < Ca^{+2} < Mg^{+2} < NH_4^-$  , bunun anlamı Ca iyonu kolaylıkla Na iyonunun yerini alır, ancak Na iyonu aynı kolaylıkla

Ca iyonunun yerini alamaz. Katyon değişim reaksiyonlarında yukarıda belirtildiği gibi çok keskin bir sıra yoktur. Deney koşullarına ve kilin cinsine göre bu sıra değişebilir [27].

Killerde katyon değişiminin iki nedeni vardır:

1. Kristalin kırılması sonucunda oluşan doymamış bağlar
2. Yapı içerisindeki düzensizlikler

Kil yapısındaki silika ve alümina tabakalarının kenarlarında kırılan bağlar doymamış yükler oluştururlar (doymamış Al ve OH bağları). Bu doymamış yükler adsorbe edilen katyonlarla dengelenir. Katyonların kristallerin kırılmış aktif yüzeyine çekilmeleri ya da başka bir deyimle bağlanma güçleri katyonun değerliğine ve büyüklüğüne göre değişir. Tanecik büyüklüğü azaldıkça yani kırılmış alan/toplam alan miktarı arttıkça katyon değişim kapasitesi de artar.

Smektit killerde, deneysel olarak katyon değişim kapasitesinin 50-100 mili eşdeğer molar kütle arasında değiştii bulunmuştur. Kırılan bağ teorisi bu yüksek katyon değişim kapasitesinin ancak %20'sini karşılamaktadır. Geri kalan kısmı ise yapı içerisindeki düzensizliklerden kaynaklanmaktadır.

Yapı içerisindeki izomorf yer değişimlerden oluşan yük noksanlığı elektrikselenötrlüğü korumak üzere ortamdaki iyonların kil yüzeyine çekilmesiyle sağlanır. Örneğin; montmorillonit ( $(Si_8(Al_{3,3}Mg_{0,66})_{20}(OH)_4M^{+1,05}.nH_2O)$ ) alümina tabakasındaki oktahedrallerin merkezlerindeki  $Al^{+3}$  iyonlarının tümünün yerine  $Mg^{+2}$  ve  $Li^{+}$  iyonlarını geçmesiyle hektorit mineralli ( $(Si_8(Mg_{4,95}Li_{1,05})_{20}(OH)_4M^{+1,05}.nH_2O)$ ) oluşur.

Bu değişim, yapıda yük dengesizliğine neden olur. Bu yüksek dengesizliği yapı dışında bulunan katyonlarla dengelenir. Hektorit mineralindeki  $M^{+}$  değişebilen katyonu  $Na^{+}$  iyonudur. Smektit killerde yapıdaki bu tür değişiklikler katyon değişim kapasitesinin %80'ini tutar.

Killerin kullanıldığı çeşitli alanlarda katyon değişimi özeliği çok önemlidir;çünkü killerin fiziksel özeliği genellikle değişebilen katyonlarla bağlıdır.

Bentonitlerin katyon değiştirme kapasitesi metilen mavisin kimyasal adsorpsiyonu ölçülerek bulunur. Bunun yanında spektroskopik yoldan da belirlenir [28].

### 2.1.1.3 Plastiklik özellikleri

Killerin reolojik özelliklerinin su içeriği ile değiştiği bilinmektedir. Killerin şekillendirilebilmeleri için, üretilecek seramik malzeme türünü göre değişik nicelikte su içermelidir. Su miktarının değişimi, kil hamurunun katı ve akıcı haller arasında değişik kıvamlar kazanmasına neden olur. Kildeki su miktarının azalması kilin katılaşmasını, su miktarının çoğalmasına kilin akıcı duruma gelmesini sağlar. Buna kil hamurunun kıvamı denir.

Kil hamurlarının kıvamları, İsveçli toprak bilim adamı Atterberg tarafından ortaya atılan bazı kıvam limitleri ile tanımlanmıştır. Bunlar plastik limit ve sıvı limittir.

Plastik limit : Kilden 3 mm çapında, makarna şeklinde örnekler yapılır. Bu örneklerin kırılmadan yuvarlanabildiği su içeriği olarak tanımlanır.

Sıvı limit : Kilin kendi ağırlığı ile viskoz bir çamur gibi aktığı su içeriğidir.

Bunlara Attarberg limitleri de denir. Sıvı limit ile plastik limit arasındaki fark plastiklik indeksini verir [29].

### 2.1.1.4 Adsorplama özellikleri

Killer, içerdikleri minerallerin nitelik ve niceliğine bağlı olarak gözenekli yapıdadırlar. Gözenek duvarlarının alanı, killerin görünen yüzey alanından çok büyüktür. Bir gram kilin sahip olduğu tüm yüzey alanı ve gözenek hacmine sırası ile "özgül yüzey alanı" ve "özgül gözenek hacmi" denir ve genellikle  $m^2g^{-1}$  birimi ile verilir[1].

Gaz, buhar ya da sıvı fazlardan herhangi biri ile temasa getirilen bir katının gözenek duvarlarında moleküllerin tutunması olayına "adsorpsiyon"denir.

Bentonitlerin adsorplama gücü tanecikler arası ve tanecik içi gözeneklilikten kaynaklanmaktadır. Genişliği 2nm'den küçük olanlara "mikrogözenek", 2nm ile 50 nm arasında olanlara "mezogözenek", 50 nm den büyük olanlara ise "makrogözenek" adı verilmektedir [30]. Bentonitler her türden gözenek içermektedir. Yüzey alanı büyük ölçüde mikro ve mezo gözenek duvarlarından kaynaklanmaktadır.

Tanecikler arasında yer alan makro gözenek duvarlarının yüzey alanına katkısı ihmal edilebilecek kadar azdır. Gözenek hacmi ise mikro ve mezogözenekler yanında büyük ölçüde makrogözeneklerden kaynaklanmaktadır. Yüzey alanı, mikro ve mezo gözenek hacimleri yanında mikro ve mezogözenek boyut dağılımlar gibi adsoplama

özellikleri genellikle azotun 77 K'deki adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermeleri yardımıyla belirlenir.

### **2.1.1.5 Reolojik özellikleri**

Bentonitlerin geniş çapta uygulama alanı bulmaları nedenlerinden biri de reolojik davranışlardır. Bentonitlerin birçok teknik kullanımının temelinde, katkı maddeleri eklenmesi ile viskozite ve tiksotropik özelliklerindeki değişim gelmektedir.

Süspansiyonlardaki akış tipi, viskozite ve akma noktası gibi reolojik özellikler aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- Süspansiyondaki katı oranı ve tanecik boyutu
- Süre
- Değişebilen katyonlar ve yüzey yük yoğunluğu
- Ph
- Sıcaklık
- Katkı maddeleri eklenmesi
- Mineral içeriği

Bentonitler akma noktası, akış tipi ve viskozite gibi reolojik özelliğe sahiptir. Bu özellik kilin su içeriği ile değişir. Bentonitlerin birçok kullanımının temelinde, katkı maddelerinin eklenmesi ile viskozite ve tiksotropi (görünür viskozitenin belli bir kayma hızında zamanla değişmesi) özelliklerindeki farklılık gelmektedir [9]. Viskozite; sıvının akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak ifade edilir. Dışarıdan bünyeye alınan su, dışarıdaki serbest suyun azalmasına ve bu durumda, bentonit-sukarışımı çamurun akmaya karşı bir iç sürtünme ve direncine neden olur. Bentonitlerin ortalama viskoziteleri 15 cp (1 cP = 1 m Pa.s) civarındadır. Sondaj çamurunda jelleşme, akma noktası (yield point), viskozite ve su kaybının düşük olması istenir. İyi bir sondaj çamuru kuyu çeperinde ince ve sağlam sıva yapmalı, formasyonu sağlamlaştırmalı ve formasyonla su temasını mümkün olduğu kadar azaltmalıdır [31].

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

Bu özelliklerine ek olarak; kil bünyesindeki suyun uzaklaştırılması ile büzülme, kilin taneleri bağlayıcılığı ve kırılma, kayma ve şekil değiştirmeye karşı

gösterdikleridirenç gibi özellikleri de kullanım amacına göre önemli olmaktadır. Genellikle alkalibentonit (Na-Bentonit) çok gelişmiş viskozite, tiksotropik ve plastik özelliklerine sahiptir.Ca-Bentonit ise üstün ağartıcı ve absorpsiyon özellikleri gösterir. Alkali bentonit ile aynıözellikleri Türkiye’de Reşadiye bentonitleri gösterir. Çankırı, Enez bentonitleri ise, tipikMissisipi bentonitlerinin benzerleri olarak Ca-Bentonitleri grubuna girerler.

### **2.1.2 Bentonitin kimyasal özellikleri**

Bentonitin kimyasal bileşiminde teorik olarak %65,4 SiO<sub>2</sub>, %23,2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %3,6MgO bulunmaktadır. Bentonitin teorik formülü ise Si<sub>8</sub>Al<sub>4</sub>O<sub>4</sub>(OH)<sub>4</sub>.nH<sub>2</sub>O’dur. Birim yapıdameydana gelen bazı yer değiştirmeler nedeniyle montmorillonit yapısında farklı değerliatomlar yer almaktadır. Tetrahedral katmanındaki silisyumun alüminyum tarafındanornatılma olasılığı %15 kadardır. Dioktaedrik smektitlerde, (montmorillonit-beidelitserisinde) tetrahedral silisyumu alüminyum tarafından ornatılmıştır. Bu da kristal yapıdabir artı yük eksikliği yaratmıştır. Söz konusu eksiklik ise birimler arasına girmiş değişebiliriyonlarla giderilmektedir. Bu iyonlar genellikle Na<sup>+</sup> ve Ca<sup>+2</sup>,dur. Montmorillonit örneğindeolduğu gibi teorik formül; (OH)<sub>2</sub>(Al<sub>1,67</sub>Mg<sub>0,33</sub>)Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>Na<sub>0,33</sub>şeklinde dönüşmüştür.

Birim tabakalar arasındaki bağların zayıf olması nedeniyle tabaka aralarına değişikiyonlar, organik moleküller ve su girerek bentonitlere adsorpsiyon özelliği kazandırır[14].

## **2.2 Bentonitlerin Jeolojisi Ve Mineralojisi**

### **2.2.1 Mineralojisi**

Bentonitler, içerisinde bol camsı malzeme bulunan volkanik kül, tüf ve lavlarınkimyasal yolla ayrışması sonucu meydana gelirler. Bentonit içerisinde montmorillonit mineralihakim olup camsı malzemenin duraysız oluşu onun hidroliz yoluyla Montmorillonitedönüşmesine neden olmaktadır. Dönüşüm aşamaları kalan silis-alüminyum yapısının ayrışması,yapının montmorillonit minerali halinde yeniden oluşması, kanyonca zengin eriyikleringözeneklerde zeolit oluşturması ve fazla silisin atılması ya da çökeltilmesidir.Ham bentonit kaolin kıvamında, yumuşak ve parçaları kırılmaya elverişlidir. Elesürülünce yağsı bir görünüşle yayılır ve yüzeye yapışır. Kuru bentonitin özgül ağırlığı 2,7–2,8gr/cm<sup>3</sup> iken, toz haline getirildiğinde yoğunluğu 1,6–1,8 gr/cm<sup>3</sup> değerlerine kadar düşmektedir.



### **2.2.2 Oluşumu**

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

#### **2.2.2.1 Volkanik kökenli bentonit yatakları**

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

#### **2.2.2.2 Magmatik (hidrotermal) bentonit yatakları**

Derinlerde ayrışmakta olan bir magmaya bağlı olarak oluşan ve başlangıçta asit özellikte bulunan hidrotermal eriyiklerin çeşitli reaksiyonlar sonucu alkali elementler bakımından zenginleşerek bazik özellik kazandıkları sık görülür. Bu bazik eriyiklerin etkisiyle maruz kalan feldspatlar montmorillonite dönüşerek damar ve filon halindeki bentonit yataklarını oluştururlar. Asit ve bazik kayaç kontaklarında yükselen asit hidrotermal eriyikler ise kaolin ve bentonit yataklarının bir arada oluşumuna yol açabilir.

#### **2.2.2.3 Sedimanter bentonitik kil yatakları**

Gerek volkanik olaylar sırasında gerekse daha sonra dış alterasyon sonucu volkanik kül, tüf, piroklastik camsı malzeme, bazik gabroik tüf, yeşil kayalar, liparit, riyolit ve andezitlerden oluşan bentonitler aşınma ve taşınma olayları sonucu tatlı su havzalarına ulaşır, buradan sedimantasyona uğrayabilirler. Bu yatak değiştirme sırasında bentonitler bünyelerindeki bazı yabancı unsurlardan kurtulup, bazı yeni unsurlar kazanarak bentonitik kilere dönüşürler. Sedimanter bentonitik killere ile

volkanik ve post volkanik alterasyona bağlı olarak oluşan bentonitler doğada en yaygın yataklaşma şeklidir.[32]

## 2.2.3 DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE BENTONİT

### 2.2.3.1 DÜNYADA BENTONİT

Dünya bentonit rezervi yaklaşık 1870 milyon ton civarındadır. Dünyanın en önemli bentonit rezervleri A.B.D, B.DT, Japonya, Yunanistan, Kıbrıs, İtalya, Almanya, İngiltere, İspanya, Bulgaristan'da olup, coğrafi konumları açısından Milos Adası (Yunanistan), Kıbrıs ve Sardunya Adası (İtalya) önemli avantajlara sahiptir. Çizelge 2.1'de ölkelere göre bentonit rezervi dağılımı verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Ölkelere göre bentonit dağılımı.

ÖLKE	REZERV (milyon short ton)
AMERİKA	950
K.Amerika	900
A.B.D.	800
G.Amerika	50
Diğer	100
AVRUPA	720
B.D.T.	250
Türkiye	370
Diğer	100
AFRİKA	-
ASYA	-
AVUSTURALYA	50
DİĞER	150
TOPLAM	1870

Dünya bentonit ve ağartma toprağı üretimi 1996 yılı itibariyle 14 milyon ton civarındadır. Bu üretimin % 40'ı sondaj çamuru, % 30'u döküm sanayi, %15 ağartma toprağı ve %15'i diğer alanlarda kullanım alanı bulmaktadır. Öte yandan sadece Yunanistan 'in senelik bentonit üretimi ve satışı 1,000,000 tonun üzerindedir. Dünyanın en büyük bentonit üreticisi olan Amerika Birleşik Devletleri'nin senelik üretimi 4,000,000 ton 'un üzerindedir. Son senelerde tüketimi hızla artan Avrupa kedi kumu piyasasında 1992 senesi kedi kumu olarak bentonit ve sepiolit tüketimi 900,000 ton olmuştur.Bu pazarda etken olan İspanya sepiolitlerinin payı ise 750,000

ton civarında olup, İspanya ekonomisine yaklaşık 70,000,000 USD 'lık bir katma değer yaratmıştır (Mineral Commodity Summaries, 1996). Bentonit ihracatında nakliye çok önemli bir parametre oluşturmaktadır. Bu açıdan bentonit rezervlerinin, liman ve yükleme olanaklarının bulunduğu bölgelerde olması ve iklim koşulları açısından az yağış alması iki temel koşulu oluşturmaktadır.. Yunanistan ve İtalya örneğinde olduğu gibi ada da üretilen hemen gemilere yüklenebilen bentonit en ucuz biçimde tüm Akdeniz ve Avrupa ülkelerine pazarlanabilmektedir. Wyoming bentonitinin sondaj çamuru için istenen yüksek kaliteyi sürekli sağlayabilmesi, Almanya' da Tonsil adı altında üretilen ağartma toprağın sıvı yağları ağartmadaki performansı bu ülkeleri bentonit ticaretinde öne çıkarmaktadır. Diğer taraftan İngiltere' nin aktiflendirme tekniği ile geliştirdikleri OCMA, döküm ve mühendislik işlerine uygun aktiflendirilmiş bentonitleri onun Afrika ve Batı Avrupa' da tanınmasını sağlamıştır. Bunun yanısıra İtalya ve Yunanistan'ın doğal ve aktiflendirilmiş bentonitleri de coğrafik konumları nedeniyle bu piyasada etkin olmalarını kolaylaştırmıştır. Öte yandan Avrupa piyasası için senelerden beri işletilmekte olan, İspanya, Almanya, Yunanistan ve diğer bentonit ocaklarının rezervleri de önemli oranda azalmakta olup, önümüzdeki 5- 10 sene içerisinde başta ülkemiz olmak üzere Hindistan, Azerbeycan ve Kazakistan 'daki bentonit madenleri değer kazanacak ve dünya fiyatlarının artmasıyla halihazırda işletilmesi ekonomik olmayan bentonit ocakları, işletme konumuna geçebilecektir.

### **2.2.3.2 Türkiye'de bentonit rezervleri ve özellikleri**

Bentonit Türkiye'de magmatik kayalar, volkanik ana katkılı 'çökel ve salt çökel birimlerin içinde bulunmaktadır. Mercek, cep, kütle ara seviyeler ve kırıklar boyunca düzensiz şekillerde yataklanmalar gösterir. Türkiye'nin toplam potansiyel bentonit rezervi yaklaşık 281,000,000 tondur. Türkiye'nin en önemli bentonit yatakları Edirne, Ankara, Eskişehir, Kütahya, Balıkesir, Çankırı, Konya, Tokat ve Ordu bölgelerinde bulunmaktadır (MTA 1989). 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 bakımından verimli yataklar Ankara, Çankırı ve Tokat, döküm bentoniti yatakları Çankırı, Çorum, kağıt ve deterjan ile yağların ağartılmasına uygun bentonitler ise Edirne, Ordu, Balıkesir, bölgelerindedir. Türkiye'nin 1996 yılı itibarıyla bentonit üretimi 150,000 tondur. Türkiye'de bentonitin en çok tüketildiği

alanlar sondaj ve döküm sanayileridir. Ayrıca yağların ağartılmasında kullanıldığı gibi temizlik malzemesi yapımında ve yem katkı sanayinde de kullanılmaktadır. Ülkemizde özellikle 1960'lardan bu yana bentonit üretimi artmıştır (Madencilik Özel İhtisas Komisyonu 1996). Türkiye'nin bentonit ihracatı 1996 yılı itibariyle 58,000 tondur, ihraç ettiğimiz bentonitler öğütülmüş ve öğütülmemiş bentonitler olup, ihraç yaptığımız ülkeler ise Almanya, Ürdün, Türkmenistan, Suriye Irak, İngiltere ve İtalya'dır. Yine Türkiye'nin 1996 yılı itibariyle 87,000 ton bentonit yurt içi talebi bulunmaktadır. Sürekli ve ortalama 5 bin ton/yıl dışsatım yaptığımız ülkeler Almanya, İngiltere ve italya'dır. Sürekli ve ortalama 1000 ton/yıl düzeyinde dışsatım yaptığımız Orta Doğu ülkeleri ise Suriye ve Ürdün'dür.

Dünya piyasalarında katma değeri düşük olan ham bentonit ve kedi kumu pazarlarından pay alabilmemiz için, bu sektörde finansman açısından güçlü olan özel girişimcilerin yatırım yapması zorunludur. Avrupa- ülkelerinde kedi kumu üretim tesisleri 100 -250 ton / gün kapasiteli olup, birim ürün maliyetleri de kullanılan üretim teknolojileri ve üretim kapasiteleri ile doğru orantılıdır. Bünyelerde bir tesisin kurulması ise 2,5 - 3,5 milyon USD 'lık yatırımı gerektirmektedir. Öte yandan karma değeri yüksek olan organik killerin ve modifiye saf bentonitlerin üretimi için yüksek teknoloji ve know - how transferi ile birlikte önemli yatırım sermayesine gereksinim vardır. Ülkemiz koşulları açısından öncelikle kedi kumu, sondaj bentoniti ve demir cevheri pelet bentoniti üretim tesislerinin (300 - 400,000 ton/yıl kapasiteli) kurulması ve işletmelerin oluşturacağı karlılığın yüksek teknoloji isteyen özel amaçlı ürünlerin üretim yatırımlarına aktarılması uygun gözükmektedir.

## **2.3 Bentonitlerin İsimlendirilmesi**

### **2.3.1 Bilimsel açıdan bentonit**

Yumuşak, plastik, poroz, açık renkli özellikle ana mineral olarak simektit grubu minerallerden oluşan, içinde kolloidal silis bulunan ve camsal magmatik kayaların, genellikle volkanik kül ve tüflerin kimyasal ayrışmasına bağlı olarak devitrifikasyonu sonucu oluşmuştur.

Kayacın renkleri taze örneklerde beyazdan açık yeşil ve açık maviye kadar değişebilir, açık krem renk zaman içinde sarı, kırmızı veya kahveye dönüşebilir. Kayaç elde ufalandığında yağlı ve sabunumsu bir his verir. Kayaçtaki simektit grubu

minerallerin saflığına ve di- veya trioktahedrankristal yapısına bağlı olarak, çeşitli türlerinde orijinal hacminin 8 katı genişleyecek kadar fazla suyu emebilir.

### **2.3.2 Ticari açıdan bentonit**

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

### **2.3.3 Genel anlamda bentonit**

Fiziksel özellikleri simektit grubu mineraller tarafından kontrol edilen ve simektit grubukil minerallerinin hakim olduğu bir kil oluşumu olarak tanımlanır. Ülkemizde çeşitli yörelerde kullanılan “baş kili”, “çamaşır kili”, “bebe toprağı” ve “pekmez toprağı” gibi killer de genellikle bentonittir. ABD’de ticari olarak kullanılan bazı bentonit deyimleri ise aşağıda verilmektedir:

Subbentonit: Orta-düşük şişme özellikli bentonit.

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

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

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

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

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

Organofilik bentonit: organik moleküllerle kaplanarak su itici özellik kazanmış bentonit [32].

Bentonitlerin kimyasal bileşimleri hangi tip bentonit oldukları konusunda kesin bir bilgi vermemekle birlikte, yaklaşım sağlamak üzere tahmin yapmaya yardımcı olabilir. Bentonit gruplarına ait ortalama kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.2’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre;  $\text{Na}_2\text{O}^+\text{K}_2\text{O} / \text{CaO}^+\text{MgO}$  oranı 1 ve daha büyükse

sodyum; 1'den küçük 1/3'e kadar olanlar aratip; 1/3'den küçükse Ca-bentonit olarak adlandırılabilir [32].

**Çizelge 2.2 :** Başlıca bentonit gruplarının ortalama kimyasal analiz değerleri [32].

Bileşen (%)	Na-Bentoniti	Ca-Bentonit	Aratip
SiO <sub>2</sub>	64	59	62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21	19.7	15.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	5.9	3
MgO	2.3	5.5	2.6
CaO	0.5	1.7	4.5
Na <sub>2</sub> O	2.6	0.2	2
K <sub>2</sub> O	0.4	0.2	1

### 2.3.3.1 Sodyum bentoniti

Çoğunluk olarak bünyesinde sodyum montmorillonit bulunduran bentonit türüdür. Hacminin 15 katına kadar genişleyebildiği gibi bazı durumlarda fazlaca şişen çeşitleri de mevcuttur. Suda süspansiyon olarak kalabilirler. Suyu emer ve jel şeklinde kalır.

Sodyumla aktif edilmiş bentonitler çelik dökümler için likit limit değeri genellikle sağlayamazlar. Buna karşılık iyi yaş mukavemet özellikleri gösterirler. Doğal sodyum bentonitleri yüksek füzyon sıcaklığına sahiptir. Aynı zamanda yüksek kuru mukavemet gözlemlenir. Yüksek miktarda suya ihtiyaç duyarlar. Düşük akıcılığa sahiptirler [31].

### 2.3.3.2 Kalsiyum bentoniti

Kalsiyum bentonit yapısında büyük oranda kalsiyum montmorillonit bulundurur. Su emip şişme göstermezler. Az miktar su emerler. Suda çabuk dağılırlar[33].

Arazide tanınması zordur. Bentonitin kalsiyum içerip içermediği asitle reaksiyona sokularak anlaşılır. Üzerine dökülen asit sonrası kabarıp köpürüyorsa kalsiyum içerdiği söylenebilmektedir.

Döküm açısından kalıptan kolay sıyrılmayı sağlar. Yaş mukavemeti değerleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanımı düşüktür. Düşük mukavemet özellikleri gösterir [31].

### **2.3.3.3 Ara tip bentonit**

Bazı durumlarda sodyum ve kalsiyum bentonitlerinin özelliklerinin bir arada olmasının istendiğini durumlarda iki bentonit karıştırılarak istenen özelliklere ulaşılmaya çalışılır.

Bu tip bentonitler yüksek bentonit miktarları istenildiğinde iyi bir alternatif olarak düşünülebilir. Böylece yüksek mukavemetli kalıp kumu karışımları hazırlanabilir. Düşük seviyede neme ihtiyaç duyarlar [34].

## **2.4 Üretim Yöntemleri Ve Aktifleştirme**

Bentonit yataklarının konumu ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sondajlar açılarak tayin işlemleri gerçekleştirilir. Tayin sonuçlarına göre işletme şekli belirlenir. Çoğunlukla yüzeye yakınlığından dolayı açık işletme tipi seçilir. Yer altında olması durumunda ise kapalı işletme usulü benimsenir [35].

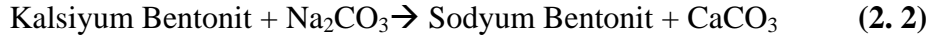
Diğer taraftan aynı kalitede bentonit ürünlerinin çıkarılması amacıyla kalite haritaları hazırlanır. Çıkartılma işlemine başlamadan önce arazini drenaj sistemi örtü tabakasının ve bentonitin karışarak kaliteyi bozmasının önlemek amacıyla kurulumu gerçekleştirilir. Yatağın biçimi belirlenmesi amacıyla kuyu ve hafif sondaj makineleri kullanılır [36]. Çıkarılan ürünün oksitlenmesi gerektiğinden açık arazilere serilir. Diğer yandan genellikle ocaktan çıkan bentonit genellikle nemli olup, kurutma işlemi gerçekleştirilir. Oksitlenme ve kurutma sonrası bentonitin mukavemet ve vizkozitesinde iyileşmeler görülür. Birçok üretici kuru ürün üzerine soda dökülerek aktifleştirme yöntemini uygular [35].

Bentonit genellikle ince partiküllü hallerde kullanılır. Bu nedenle kırma ve öğütme işlemleri gerçekleştirilir [36]. Kırma işlemi bunkerde gerçekleştirilir [35]. Çıkan ürün 5 cm civarındadır [35]. Belli bir nem miktarının uzaklaştırılması amacıyla kurutma işlemi uygulanır. Nem miktarı % 3-10'e kadar düşürülebilmektedir. Kurutma işlemi gören yarı mamül çubuklu veya bilyalı değirmenlerde öğütme işlemine tabi tutulur [36]. İstenen boyutlarda ürünün sağlanması amacıyla eleme işlemine geçilir, paketlenip son ürün haline getirilir [35].

### **2.4.1 Aktifleştirme**

Endüstriyel açıdan önemli olan ve şişme özelliği gösteren bentonit üretimi için kalsiyum ve toprak alkali bentonitlere iyon değiştirme işlemi uygulanır. Bentonitin

ocaktan çıkarılması sonrasında soda ile karıştırılarak yaş halde uygulanmasına bentonit aktifleştirilmesi denir. Kalsiyum bentoniti soda veya soda solüsyonu hazırlanarak aşağıdaki reaksiyona uğrayarak iyon değişimiyle sodyum bentonit haline getirilir [36].



Reaksiyon sadece tek yönde ilerler. Sonrası aynı biçimde devam eder. Dolayısıyla sodyum bentonit daha sonrasında tekrardan kalsiyum bentonit haline gelemmez. Döküm kumu için üretilen sodyum bentonitin kalsiyum bentonitten aktifleştirilmesinde daha az miktarda soda kullanılmalıdır. Zira soda, kumun ergime noktasında düşmeye neden olmaktadır [36].

Soda aktivasyonu yanı sıra başka aktifleştirme prosesleri de mevcuttur. HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi asitler kullanılarak aktifleştirme işlemi gerçekleştirilebilir. Bu süreçte mineralin kristal yapısı bozulmaz ancak ortalama gözenek çapları ve yüzey alanı artar.

Karboksi metil selüloz (CMC) kullanılarak da aktifleştirme gerçekleştirilebilir. CMC Na<sup>+</sup> iyonları ve Ca<sup>+2</sup> iyonları yer değişimine maruz kalır. Vizkozite artar ve filtrasyon kaybı azalır.

Aktifleştirme proseslerinden bir diğeri ise organik bileşenler kullanılarak gerçekleştirilen organik aktivasyondur. Proses sonucu ürün olarak organik killer elde edilir. Yüksek iyon değişirme kapasitesine sahip olan sodyum bentoniti bu işlem için en çok tercih edilen bentonit çeşididir.

Son olarak, yüzey aktif maddeler kullanılarak gerçekleştirilen aktifleştirme ve alüminyum ve magnezyum tuzları, oksit ve hidroksitli bileşikler kullanılarak gerçekleştirilen aktifleştirme işlemleri de mevcuttur [35].



### **3. BENTONİTLERİN ENDÜSTRİYEL KULLANIM ALANLARI**

#### **3.1 Döküm Kumu Ve Peletleme**

Bentonit kolloidal özelliği ve plastisitesi nedeniyle dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcılık özelliği kazandırır. Kalıp kumlarına %2 den % 50 e kadar değişik oranlarda bentonit katılır. Bu alanda bentonitte aranan en önemli özellik minimum miktarda kille yüksek bağlama mukavemeti ve kum kalıplarında yüksek gaz geçirgenliği sağlamasıdır.

Ülkemizde döküm kumu nitelikli bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS-5360 standardı kullanılmaktadır [37, 14, 38, 39, 40, 41].

#### **3.2 Sondaj Alanında Kullanımı**

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

Türk Standartları Enstitüsünün TS 13500 standardı kullanılmakta olup tüm Dünya'da yaygın olarak API (American Petroleum Institute) standartları (1985'e kadar OCMA) kullanılmaktadır [14, 42, 43, 44, 45].

#### **3.3 Gıda Sanayinde Kullanımı**

Gıda sanayinde kullanılan bentoniti, genel olarak, berraklaştırma işlemlerinde kullanılan bentonit ve yağ sanayinde kullanılan (ağartma işlemlerinde kullanılan) bentonit olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür.

Bentonit berraklaştırma ve ağartma işlemleri dışında, un ve undan yapılan gıdalara %0,025-1,25 oranlarında katılarak bayatlamayı geciktirmede kullanılmakta ayrıca bazı sütlerle karışmış kanserojen Aflatoksin M1'in uzaklaştırılmasında da kullanılmaktadır.

### 3.4 Berraklaştırma İşleminde Kullanımı

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

### 3.5 Ağartma İşlemlerinde Kullanımı

Yağların rengini gidermekte yani rafinasyon işleminde kullanılan ve ağartma toprağı olarak bilinen killer bentonitin asit aktivasyonu adı verilen kimyasal işlemler sonucu bazı özellikleri geliştirilmiş şeklindedir. Rafinasyon olarak bilinen, bitkisel ve hayvansal yağların (ayçiçeği, soya, kanola, mısır özü v.b.) ağartılması işlemlerinde bentonitin; ksantofil, klorofil, karoten, gasipol gibi renk veren pigmentler, oksidatif etkiyle oluşan hidroksi ya da poliketanasitlerin yanı sıra diğer renk verici maddeleri adsorbe etme özelliğinden yararlanır. Birçok bitkisel ve hayvansal yağlar içerisindeki safsızlıklar yağların rafinasyonu ile giderilmektedir. Alkali rafinasyon işlemi sonucu elde edilen yağlar, yağın türüne ve yapısına bağlı olarak %0,3–1,5 oranında ağartma toprağı ile karıştırılıp 90-95°C ısıda 30 dakika süre ile vakum altında rafinasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Bu alanda HCl veya  $H_2SO_4$  gibi asitlerle muamele edilerek aktifleştirilmiş (değişebilir katyonları hidrojen ile yer değiştirilmiş) ya da doğa olarak aktif olan bentonitler kullanılmaktadır. Ağartma toprağı olarak kullanılan bentonitler şişme özelliği düşük olan Ca-Bentonitlerdir. Oktahedral durumdaki  $Al^{+3}$  ile yer değiştirmiş olan  $Mg^{+2}$ 'lu bentonitler asitle aktifleştirmede kullanılacak en uygun killerdir. Lovibond Tintometresi ile yapılan ölçümlerde renk ağartma özelliğinin kıyaslamalı incelemelerinde maksimum olması gerekmektedir [46, 47, 48, 49, 42, 43, 50, 51, 52].

### 3.6 İlaç Sanayinde Kullanımı

Alkali bentonitler merhemlerde dolgu maddesi olarak ve çok kuvvetli ilaçların seyreltilmesinde kullanılır. Bentonit iç organların röntgeninin çekilmesinde

kullanılan baryumsülfatın süspansiyon halinde kalmasını sağlayan en önemli maddelerden biridir. Bentonit aynı zamanda yapışkan özelliği olan çeşitli ilaç hammaddelerine katılarak öğütölmelerine yardımcı olur. Alkali bentonitler, çeşitli sıvılarla karıştırıldığında plastik ve homojen, temizleyici ve iyileştirici özelliği olan süspansiyonlar oluşturur. Kolloidal özellikleri nedeniyle tıpkı deterjanlar gibi rutubeti, tuzları, zehirli maddeleri vücut yüzeyinden uzaklaştıran bentonit, derideki gözenekleri açarak derinin daha kolay temizlenmesini sağlar. Bu özellikleri nedeniyle bentonit kozmetik sanayinde de önemli bir yere sahiptir. İlaçlarda dolgu, süspansiyon, temizleme gibi işlevleri olan bentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS 10252 numaralı “Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan” başlıklı standardı kullanılmaktadır. [37, 39, 53].

### **3.7 Seramik Sanayinde Kullanımı**

Bentonit seramik sanayinde seramik hamurunun plastisitesini artırıp çalışılmasını kolaylaştırdığı için kullanılmaktadır. Bağlayıcı özelliği ve ateşe dayanıklılığı fazla, pişme rengi beyaz olan alkali bentonitler seramikte plastisite ve kuru mukavemeti artırırlar. Sırlara öğütmes sırasında ilave edilen bentonit, sırrın dibe doğru çökmesini engelleyerek süspansiyon halinde kalmasını sağlar. Seramik çamuruna Bentonit ilavesi: Çamurun homojen karışmasını sağlaması, kuruma çatlamalarını azaltması, kuru mukavemeti artırması ve piştikten sonrası kırılabilirliğini azaltması şeklinde verilebilir. Seramik sanayinde kullanılan bentonitlerde aranan özellikler genel olarak; bağlayıcı özelliğinin fazla olması, piştikten sonra renginin beyaz olması, %5 MgO ve hacimce 25 katı su ile karıştırılıp 24 saat bekletildiğinde yapışkan bir jel meydana gelmesi ve pH'ın en az 10 olmasıdır. Seramik sanayinde kullanılan bentonit için Türk Standartları Enstitüsünün TS 11136 “Bentonit-Seramik Sanayinde Kullanılan” başlıklı standardı kullanılmaktadır [14, 7].

### **3.8 Çimento Sanayinde Kullanımı**

Portland çimentosuna %1 oranında bentonit ilavesinin mekanik mukavemeti arttırdığı ve donma müddetini azalttığı görölmüştür. Çeşitli betonlarda mineral yağlarla muamele edilmiş olan bentonit su geçirmeyi önleyici dolgu maddesi olarak kullanılır. Alkali bentonitler, kuruması sırasında meydana gelen hacimce fazla küçölme

nedeniyle bu alanda fazla kullanılmazlar. Bununla birlikte Portland ve magnezyum çimentosu ile alçı karışımında gözenekleri doldurmak için az miktarda kullanılan bentonit, çimentoyu su geçirmez hale getirir. Bentonit beton ve harçlara ilave edildiği zaman plastisiteyi ve işleme kabiliyetini artırır, çakıl ve kumun ayrılıp bir yerde toplanmasını önler. Bentonit kullanılarak yapılan betonlar homojen olduğundan diğer betonlara oranla daha dayanıklıdır ve su geçirgenliği azdır. Katkı oranları ve şekli ticari bir sır olup bu konuda alınmış birçok patent vardır. Bu alanda kullanılan bentonitle ilgili herhangi bir standart bulunmamaktadır.

### **3.9 Kâğıt Endüstrisinde Kullanımı**

Kâğıt hamuruna az miktarda ilave edilen bentonit, katranın, reçinelerin ve balmumunun bir yerde toplanmasını önler ve renk verici olarak bilinen pigmentlerin homojen olarak dağılımını sağlar, boya maddelerini adsorbe ederek üstün bir lak meydana getirir. Bentonit çok ince taneli olduğundan kâğıt makinelerine zararı olmadan dolgu maddesi olarak kullanılabilir. Alkali bentonit kâğıda aynı zamanda kayganlık vermekte ve sakızlı maddelerle emülsiyon yaparak kâğıt üretiminde kullanılan eleklerin tıkanmasına, makinelerin kâğıt hamurundaki reçinelerin etkisi ile kirlenmesine engel olmaktadır. Bentonit, gerek emülsiyonlaştırma özelliği ve adsorpsiyon gücü, gerekse negatif (-) yüklü olması nedeni ile pozitif (+) yüklü karbonu elektriksel kuvvetler nedeniyle çekmesinden yararlanarak eski gazetelerin kâğıtlarının yeniden işlenmesinde (mürekkep çekme özelliği nedeniyle) kullanılır. Ülkemizde kâğıt sanayinde kullanılacak bentonitler için Türk Standartları Enstitüsü'nün TSE EN 14411 nolu standardı temel alınmıştır. Gelişmiş ülkelerde, kâğıt üretiminde uzun yıllardan beri dolgu malzemesi olarak kalsitin yerine, modifiye bentonitler de kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılacak bentonitlerin beyazlık derecesinin ISO 85'in üzerinde olması, yüksek şişme özelliğine sahip olması, serbest yığın yoğunluğunun (bulk) ise 0,2–0,3 kg/l değerlerinde olması gerekmektedir. Ayrıca bentonitin kademeli olarak 200°C'de kalsine edilmiş olması da gerekmektedir [54, 8].

### **3.10 Lastik Endüstrisinde Kullanımı**

Lastik sanayinde bentonit gibi nötr özellikteki maddelere dolgu malzemesi olarak ihtiyaç duyulur. Bu alanda bentonitin ince taneli olması, su ile jel ve koloidal

süspansiyonmeydana getirmesi, koyulaştırma ve dehidratasyon etkilerinden yararlanılmaktadır.Kalınlaştırıcı ve stabilizatör olarak Lateks'e ilave edilen bentonit viskoziteyi de arttırır. Lastiksanayinde kullanılan bentonitlerde aranan genel özellikler şöyledir: Safsızlıklarından (kuvars,feldspat v.b.) tamamı ile arındırılmış olması, 200 mesh elekten tamamının geçmesi, rutubetininmaksimum %4-5 olması, 1000°C'de ateş kaybının maksimum %8,5 olması ve malakit yeşili boyasını fazla absorbe etmesi şeklinde verilebilir. Ülkemizde lastik sanayinde kullanılacakbentonitler için Türk Standartları Enstitüsünün TS 11442 nolu standardı mevcuttur.

### **3.11 İnşaat Mühendisliğinde Kullanımı**

Bentonitin fazla miktarda su absorblaması, jel meydana getirerek suyu geçirmemesi gibiözelliklerinden yararlanır. Bu alanda kullanılan bentonitte aranılan genel özellikler, çok incetaneli, plastisitesinin yüksek ve tiksotropi özelliğinin olmasıdır.Şişme ve jel oluşturma özellikleri nedeniyle bentonitten, baraj yapılırken su kaçaklarınıönlemede yararlanır. İnşaat mühendisliğinde kullanılacak bentonitin çok ince taneli,plastikliğinin ve tiksotropisinin yüksek olması gerekir. Bu alanda kullanılacak bentonitler üçkısım kum veya çakıla bir kısım olarak katılır.Killi sahalarda yapılacak inşaatların planlanmasında ve inşasında kil gereçlerininözelliklerini bilmek çok önemlidir. İnşaat işlerinde çok etkili olan bentonitlerin fizikselözelliklerinin bilinmesi inşaat mühendislerince önem taşır.

### **3.12 Sabun ve Temizlik Maddelerinde Kullanımı**

Bentonitlerin deterjan etkisi bulunmakta olup yağları absorbe etmeleri nedeniyle ellerinve kumaşların temizliğinde kullanılır. Eskiden “çamaşırıcı kili-lekeci kili-sabun kili” olarakbilinir ve temizlikte kullanılırdı. Sabunların deterjan özelliği bentonitler sayesindegeliştirilmektedir. Kolloidal bentonit, sabun imalatında süspansiyonun yüzey gerilimini azaltmakta ve sabunun daha iyi dağılıp köpürmesini sağlamaktadır. Suyun sertliğini de giderenbentonit bu sayede sabun sarfiyatını da azaltmaktadır.Alkali bentonit, kirleri emer ve hidrolize olarak yağlı maddelerin sabunlaşmasını sağlar,böylece kirlerin eski yüzeye dönmesine engel olur. Süspansiyon halindeki kolloid bentonittanelerinin negatif (-) yüklü olması, emülsiyon ve süspansiyon özellikleri, yağları adsorbeetmesi, kation değişim

kapasitesi gibi özellikler bentonitin temizlik malzemesi olarak kullanılmasının başlıca nedenleridir. Ülkemizde bu alanda kullanılan bentonitlerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsünün TS 11326 nolu “Bentonit-Deterjan Sanayinde Kullanılan” başlıklı standardı bulunmaktadır.

### **3.13 Gübre Yapımında Kullanımı**

Bentonit, koloidal özelliği ve kation değişim kapasitesi nedeniyle toprağın gübrenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Bitkilerin büyümesi için gerekli olan rutubet sağlanması ve bunu uzun süre koruması, gübredeki çözünebilir tuzların ortamdan çabuk uzaklaşmasına engel olması (bu tuzları adsorplaması-absorblaması nedeniyle), bentonit gübreye kazandırdığı önemli özelliklerdir. Bentonit sayesinde bitkiye suyun dengeli verilmesi, toprağın havalanması ve gübrenin sulama periyodunda homojen olarak bitkiye verilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bentonit, sıvı veya süspansiyon halindeki gübrelerin yapımında stabilizatör olarak da kullanılmakta olup bu alanda kullanılan bentonitlerle ilgili olarak herhangi bir standart bulunmamaktadır.

### **3.14 Yangın Söndürücülerde Kullanımı**

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

### **3.15 Boya Endüstrisinde Kullanımı**

Alkali bentonitler, renk verici pigmentleri ve diğer boya hammaddelerini adsorbederek devamlı süspansiyon oluşturacak kadar ince taneli olduklarından su bazlı ve solvent bazlı boyalarda, badanalarda, emayelerde, matbaa mürekkeplerinde ve yağlı boyalarda kullanılırlar. Boya sanayinde sürekli ve yüksek oranda süspansiyon oluşturabilme özelliğine sahip olmaları nedeniyle sodyum bentonitler kullanılmaktadır. Sulu bazlı boya ve badanalarda istenilen viskoziteyi sağlamak için tebeşirle birlikte bentonit karıştırılarak kullanılmaktayken, yağlı boyalarda ise

süspansiyon özelliği artırmak için %5 oranında bentonit ilavesi yapılmaktadır. Ülkemizde boya sanayinde kullanılan bentonit için herhangi bir standart bulunmamaktadır [37,55, 56].

### **3.16 Petrol Rafinasyonunda Kullanımı**

Ağır petrol fraksiyonlarının katalitik parçalanmasında kil katalizlerinin önemli bir yeribulunmaktadır. Ağır petrol ürünlerinin parçalanarak ince petrol ürünlerinin elde edilmesindekataliz olarak kullanılan bentonitler asitle aktifleştirilir. Aktivasyonda bentonit asitlekaynatıldıktan sonra yıkanır ve uygun boyutlara (hareketli yataklar için 1,3-3mm, akışkanyataklar için ise 20–150µm) öğütülür. Asitle aktive olmuş bentonitin ısıya dayanımını artırmak için 500-600°C’de kalsinasyon işlemi uygulanır. Asit aktivasyonu ve kalsinasyon sonucu elde edilen kataliz bentonitin demir içeriğinin çok düşük olması gerekmektedir, demir içeriğinin yüksek olduğu durumlarda kataliz oda sıcaklığında seyreltik HCl ile yıkanarak demir içeriği%0,15’e kadar indirilebilir.

### **3.17 Hayvan Yemi Yapımında Kullanımı**

Hayvan yemi sanayinde bentonit özellikle tavuk ve benzeri kümes hayvanlarının yemlerine ilave edilerek büyüme hızlarının ve yumurta verimlerinin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Büyük baş hayvanların yemleri içerisine bentonit ilavesi sayesinde büyüme hızlandırılmasının yanında hayvan dışkılarının kötü kokularını da giderilmektedir. Yemleri içerisine bentonit ilavesi, sindirimi kolaylaştırmakta, sulu yemlerde bulunan yüksek konsantrasyonlu amonyumun toksik etkisini azaltmakta, yemin tüketilme hızını azaltarak besinlerin daha kolay özümlemesini sağlamaktadır. Hayvan yemi katkı maddesi olarak sodyum bentonit kullanılmakta olup katkı miktarı%1–1,5 arasında değişmektedir. Yem içerisine %1–1,5 oranında bentonit ilavesi ile tavuk ve benzeri kümes hayvanlarında canlı ağırlıkta %35 artış, yumurta veriminde ise %15’lik artışarmeydana gelmektedir[14, 57, 58, 60].

### **3.18 Adsorban Olarak (Kedi Kumu) Kullanımı**

Sepiyolit, bentonit, atapulgit gibi adsorban özelliğe sahip killer için en önemli kullanımlarından biri de kedi kumu pazarıdır. Kedi kumu olarak kullanılan killer yüksek yoğunluklu killer (bentonit) ve düşük yoğunluklu killer (Sepiyolit, atapulgit)

olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sektörde daha çok düşük yoğunluklu killeri kullanılmakla beraber bentonitin payı da %25 kadardır. Adsorban olarak kullanılacak bentonitin absorpsiyon kapasitesi yüksek, ufalanma oranı düşük ve 1-6 mm arasında granül boyutuna sahip olması gerekmekte olup bualanda Ca bentonit kullanılmaktadır [37, 60, 51, 52].

### **3.19 Nem Alıcı Kil (Desiccant Clay) Üretiminde Kullanımı**

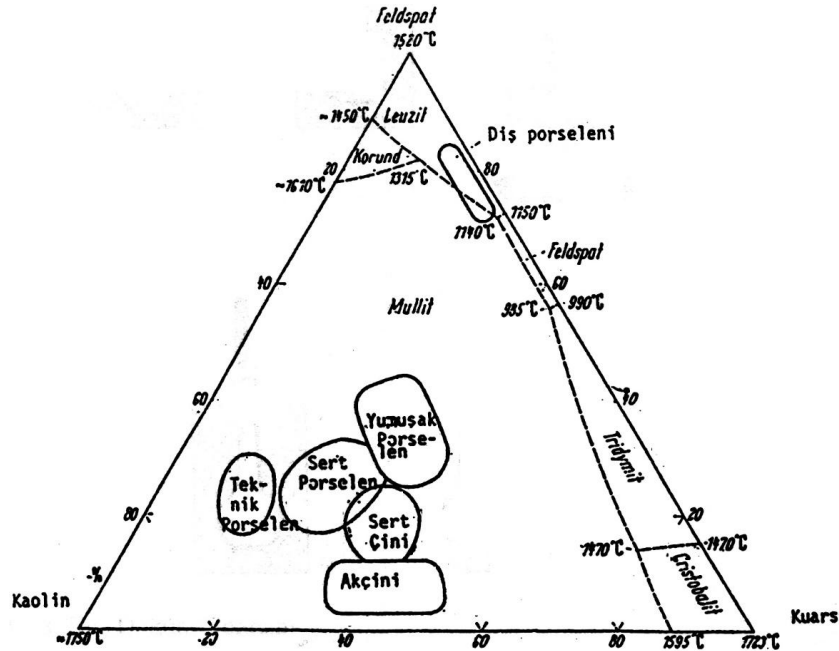
Killer, özellikle simektit ve Sepiyolit grubunda yer alan killeri nem alıcı (Desiccant) üretiminde kullanılmaktadır. Bu alanda kullanılacak olan bentonitler çeşitli yöntemlerle modifiye edilmekte ve böylece nem adsorplama-absorplama yetenekleri artırılmaktadır. Modifiye işleminde bentonit, çeşitli nem alıcı bileşikler yardımıyla aktive edilmekte olup bu işlemler esnasında  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ , aktif alümina,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  ve odun talaşı gibi bileşikler kullanılmaktadır. Killer nem absorpsiyonu için yaygın olarak kullanılmakta olup, simektit grubu killeri olan; Sepiyolit, atapulgit ve fuller earth olarak bilinen ağartma toprağı yani Ca bentonit yaygın olarak kullanılan adsorban ve absorban killerdir. Nakliye ve depolaması yapılan neme karşı hassas eşyaların, gerek paketlerinde gerekse bu paketlerin yer aldığı konteynir gibi taşıyıcı ortamların ve depoların nem kontrolü için Ca bentonit kullanılmakta olup bu iş için en uygun desiccant oktahedral tabakada çok az miktarda demir içeren ve %5'ten daha fazla MgO içeren bentonittir [11,63].



#### 4. SERAMİK BÜNYELERDE BENTONİT KULLANIMI

Seramik ürünleri, uygulama alanlarına göre çok çeşitli özellikler taşırlar. Karışımların bileşimine bağlı olarak, özelliklerinde büyük farklılıklar gözlenir. Çamur reçetelerinin bileşimleri belirli sınırlar içinde bulunmakta olup, çok sayıda faktörle birlikte kullanılır. Birincisi, şekillendirme için gerekli uygun plastisitedir. İkincisi, parçanın çatlaksız ve deforme olmadan kuruması ve pişmesidir. Bu amaçla kuvars, grog gibi kil olmayan malzemeler kullanılır. Son olarak, pişme ile bünyenin camsı bir yapıya ulaşmasıdır. Camsı yapıyı oluşturmak amacıyla feldspat kullanılır. İnce seramik endüstrisinde yine aynı adla anılan ve yaygın olarak kullanılan ince seramik çamurları mevcuttur. Birbirlerinden bileşimleri üretim teknolojileri ve kullanım yerlerine göre ayrılırlar. Akçini, sertçini, vitrifiye seramik ve porselen olarak da tanımlanırlar.

Genel bileşimlerinde, kaolin-kuvars-feldspat bulunur. Üç ana mineralin hangi bünye bileşimlerini oluşturduğu Şekil 4.1'deki[64] kaolin-kuvars-feldspat üçlü diyagramında görülmektedir [64, 65].



Şekil 4.1 : Kaolin-kuvars-feldspat üçlü diyagramı [64].

Bentonit, seramik çamurunda plastisiteyi arttırıp, çalışmasını kolaylaştırdığı için önemli bir yer tutar. Çamurda kullanılan bentonit, çamurun homojen karışmasını sağlar, kurutma çatlaklarını azaltır. Ayrıca döküm çamurunun vizkositesini ve tiksotropiyi ayarladığından dik ve kavisli yüzeylerdeki birikime engel olur. Bazı mineral karışımlarına ilave edilen bentonit, diğer killerden daha üstün plastisite sağlar[66, 67].

#### **4.1 Seramik Bünyelerin Pişirimi Ve Sinterleme**

Seramik ürünlerin üretiminde pişirme, önemli bir adımdır. Şekillendirilmiş ve kurutulmuş ürüne, fırında istenilen mikroyapı ve özellikleri kazandırmak için ısı işlem uygulanır. Bu proses, pişirme olarak tanımlanır.

Parçalanma ve oksidasyon ile su ve organik bileşiklerin, gazların üründen uzaklaştırılması, sinterleme ve soğuma aşamalarını içerir. Pişirmede amaç, sinterleme ile koherent bir kütle içinde partikülleri birleştirmektir. Sinterleme terimi, pişirme esnasında üründeki birleşme olayını tanımlamak için kullanılır. Sinterleme, üründe önemli değişiklikler meydana getirir.

#### **4.2 Pişirme İşlemi İle Bünyede Meydana Gelen Olaylar**

Pişirmenin başlamasıyla birlikte seramik ürünlerin bünyesinde; fiziksel, kimyasal ve yapısal değişimler başlar. Bünyeyi oluşturan kil minerallerinin kimyasal suyun uçması, organik maddelerin yanması, karbonat ve sülfatların bozunmasından sonra faz değişimleri meydana gelir.

##### **4.2.1 Fiziksel değişimler**

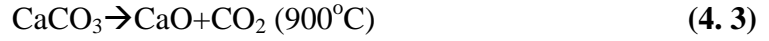
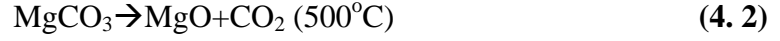
Kurutma işlemi ile, seramik bünyedeki kil minerallerinin sahip olduğu higroskopik su tamamen uzaklaştırılmaz.

Pişme sırasında karşılaştıkları ilk olay, 200°C’de başlayan ve 300°C’de son bulan higroskopik suyun bünyeyi terk etmesi olayıdır. Bu esnada, bünyede gözenekler oluşur. Isının yükselmesi ile 400°C’ye ulaşıldığında, kil minerallerine bağlı olan kimyasal suları veren bozunma başlar ve 550°C’ye kadar devam eder ve endotermik reaksiyonu ile ifade edilir (4.1) [64].

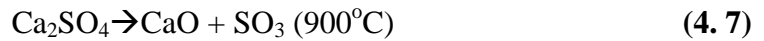
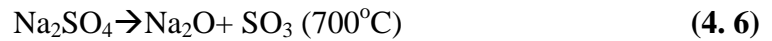
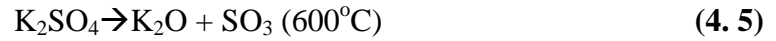
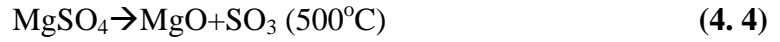


#### 4.2.2 Kimyasal değişimler

Seramik bünyeye, hammaddelerle birlikte karbonatlar, bağlı buldukları metal oksitin cinsine göre değişik ısılar karşısında bozunup, metal oksit ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşürler.



Karbonatların bozunması bünyede camlaşma sonrasına kalırsa, açığa çıkan CO<sub>2</sub>, şişmelere neden olabilir. MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi sülfatlar, 500°C-1000°C arasında bozunurlar.

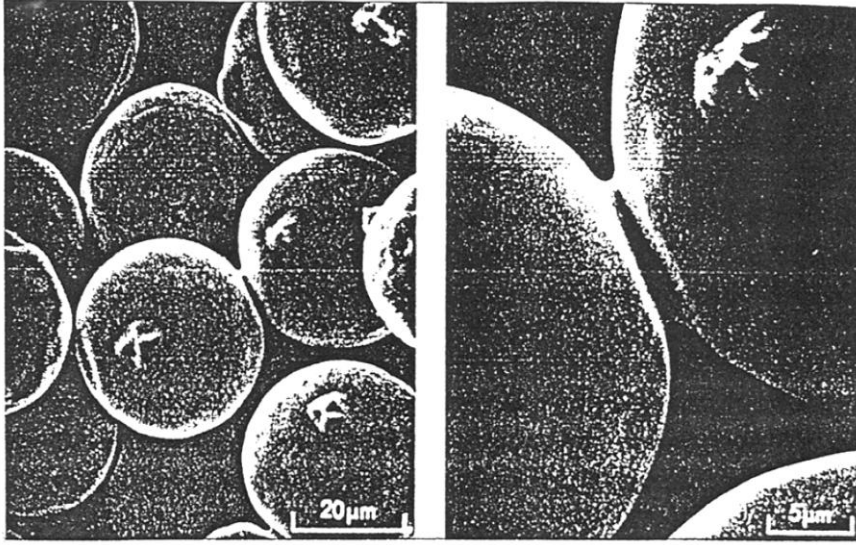


Açığan çıkan SO<sub>3</sub> fırın atmosferinde yoğunlaştığında, bünyeden uzaklaşmazsa karbonatlar gibi; şişme, kabarma ve sırlı yüzeylerde hatalara neden olurlar. Demir oksitler, fırın atmosferine göre etkilenirler. 1000-1100°C'de renkli olan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, redüksiyonlu atmosferlerde indirgenir ve oksijen vererek renksiz demir oksidi dönüşür. Eğer indirgenmezse, bünyede ve sırlı yüzeyde siyah, kahverengi ve kırmızı lekeler oluşturur. Demir oksit taneleri çok ince ve homojen dağılmışsa lekeler görülmez. Ancak bünyenin genel rengi kremden kahverengiye doğru değişir.

#### 4.2.3 Sinterleme mekanizması ve faz değişimleri

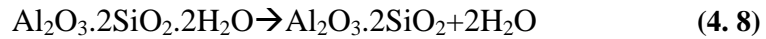
Sinterleme, partiküllerin yüksek sıcaklığa ısındıkları zaman birbirine bağlanmasıdır. Bağlanma, partiküller arası bağlantı noktalarında kohezif boyun büyümesi olarak meydana gelir. Bu tür boyun büyümeleri, sinterleme ile birlikte önemli özellik değişimlerine neden olurlar. Yapısal değişimler, çeşitli taşınım mekanizmalarına bağlıdır. Sıvı faz sinterlemesi olarak bilinen vitrifikasyon prosesi, pek çok silikat sistem için temel pişirim prosesidir. Pişirme sıcaklığında viskoz bir sıvı oluştururlar ve bu bünyede bağlanmaya yardımcı olur. Prosesin oluşumunun ana bölümü, ince porların neden olduğu basınç altında, viskoz akış ile meydana gelmektedir [68, 69]. Şekil 4.2'de sinterlenmiş partiküller arasındaki boyun oluşumunun taramalı elektron mikroskopundaki görüntüsü verilmiştir. Partikülün boyun ve yüzey alanı arasında;

kimyasal, potansiyel veya serbest enerjideki farklılık, maddenin transferine neden olan itici bir güç sağlar.

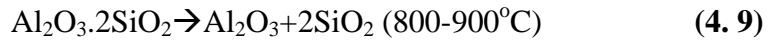


**Şekil 4.2 :**Sinterlemeyle küresel partiküller arasındaki boyun oluşumunun Taramalı Elektron Mikroskopundaki görüntüsü [68].

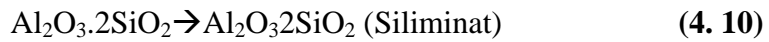
Seramik ürünler, üç ana hammaddenin karışımı ile oluşmaktadır. Pişme sırasındaki olaylar, kristal ve cam faz olarak ayrı ayrı gelişmeyip birlikte oluşmaktadır. Sinterleme olayı, cam ve kristal fazı oluşturan malzemelerin çözünmesiyle ve çeşitli reaksiyonlarla meydana gelir [64,70].Kaolinit, kuvars, feldspat üçlü bileşeninden oluşan bir karışımda, ısının yükselmesiyle, önce kaolinitin dehidrasyonu sonucu;



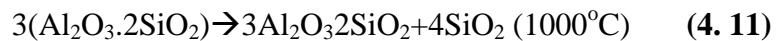
endotermik reaksiyonuyla metakaolinit oluşur. 800-900°C arasında metakaolinit parçalanır ve asitlerde çözünebilir karakterde olan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e,



reaksiyonuyla dönüşür. 900-950°C arasındaki sıcaklık alanında,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yeniden  $\text{SiO}_2$  ile birleşerek silimaniti meydana getirir.



Sıcaklık 1000°C ulaştığında mullit ve kristobalit formundaki serbest silika oluşmaya başlar.



Sıcaklık arttıkça, kil ve kaolinden dolayı müllit yüzdesi artar. Müllit kristalleri iğne şeklinde olup, birbiri içine girerek bünyenin mekanik dayanımını arttırmaktadır [25,31,32]. Ürün bileşimindeki feldspat, camsı fazı oluşturur. Camlaşan feldspat; kil, kaolin ve kuvars taneciklerinin etrafını çevreler ve kendi erirken de eritmeye başlamaktadır. Vitrifikasyon etkisi yaparak sinterleşmeyi sağlamaktadır. Feldspatın erimesi esnasında, erimeden kalabilen bir miktar SiO<sub>2</sub>, cam faza ulaşan bünyenin deformasyonunu önleyen iskelet görevini yapmaktadır [62-70]. Pişirme ile bünyede gerçekleştirilen sinterleme sonucunda ürün; boyutsal ve hacimsel küçülme, suya karşı duyarlılığın azalması, saydamlık, üründe renk değişimi ve mukavemet artışı gibi istenilen özellikleri kazanmaktadır [72,73].

### 4.3 Pişirme Prosesleri

Pişirme, seramik bünyede uygun bir sıcaklıkla sinterleme, camlaşma ve erimenin sağlanması olayıdır. Pişirmenin amacı; uygun pişirim sıcaklığı, ısı dağılımı, sıcaklık değişim hızı ve alev kalitesini sağlayarak, istenilen kalite ve miktarda ürün elde edebilmektir. Uygun pişirim sıcaklığı, seramik ürünün türüne ve kullanımına bağlı olarak, 700-1700°C arasında değişmektedir.

Seramik ürünlerin pişirme işlemleri, pişecek ürünlerin sabit veya hareketli olduğu yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Pişecek ürünlerin sabit olduğu yöntemde; ürünler sabit bir hacim içine yerleştirilip, fırın hacmine her pişirim için yeniden yerleştirilip ısıtılır. İstenilen sıcaklığa ulaşıldığında ısıtma durdurulur ve hacim soğutulur ürün dışarı alınır. Pişecek ürünlerin hareketli olduğu yöntemde; seri halde pişirimi yapılacak ürünler, araba ve bant gibi hareket eden araçların üzerine yerleştirilir. Fırın hacmi bir koridor halinde olup, devamlı ısıtılmaktadır. Ürünler koridorun bir ucundan girip diğer ucuna doğru giderler. Hareket sırasında belirli ısılardan geçerek, en sıcak bölgeye ulaşırlar. Bu bölgede pişme olayının gerçekleşmesinden sonra, soğuyarak dışarı alınırlar.

Ürünlerin sabit olduğu pişirmede, zaman ve enerji kaybı söz konusudur. İkinci yöntemde ise enerji kaybı minimuma iner. Bekleme yoktur. Ancak sürekli olarak pişirilecek ürün bulundurmamak gerekmektedir [42]. Pişirme yöntemi ve seramik fırınların seçiminde; pişirilecek malzemenin türü, pişirme kapasitesi, pişirme sıcaklığı, süre ve pişirim atmosferi, yakıt türü, gereksinim duyulan kalite ve teknik gibi ölçütler göz önünde bulundurulur [64,65,74].

## 4.4 Duvar Karosu Yapımında Kullanılan Hammaddeler

### 4.4.1 Feldspat

Kristalin kayalardaki en yaygın mineral feldspattır, sertliği Mohs'a göre 6,0-6,5'dir. Feldspatlar, potasyum, sodyum, kalsiyum ve baryum alüminyum silikattır. Kimyasal yönden katyon türlerine bağlı olarak, K-feldspatlar (ortoklaz,  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $6SiO_2$ ), Na-feldspatlar (Albit,  $Na_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $6SiO_2$ ), Ca-feldspatlar ve Ba-feldspatlar olarak ayrılırlar. Na-feldspat  $1120^\circ C$ 'de, K-feldspat ise  $1170^\circ C$ 'de tamamen erir. Eridikten sonra bünyelerinde %90 camsı faz, %10 serbest silis içerirler.

K-feldspat grubundan olan ortoklas, mikroklin, sanidin, anortoz aynı kimyasal yapıya sahip ancak ortoklas ve sanidin monoklinik, mikroklin ve anortoz triklinik sistemde kristallenmiştir [75-76]. Ortoklas ısıtıldığı zaman  $1160^\circ C$  civarında bozunmaya baslar ve  $1290^\circ C$ 'de erimesi tamamlanır. Saf ortoklas eriyince tetragonal yapıdaki leucite ( $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $4SiO_2$ ) ve camadönüşür, Albit  $1120^\circ C$ 'de erir ve (%65 ortoklas, %35 albit içeren bir karışım  $1070^\circ C$ 'de erir) ortoklasdaki çok az albit miktarı ergime miktarını düşürür [77]. Plajioklaslar, Na-Ca feldspat olup saf Albit  $NaAlSi_3O_8$  serisi yaparlar. Plajioklas bileşiminde Na ile Ca'un her oranda yer değiştirmesiyle yapıda meydana gelen elektrik yük fazlalığını yok etmek için silis yerini alüminyum alır [78]. Plajioklasların kullanımı; potasyumlu feldspatlardan daha az kullanılır. Albit, mikroklingibi seramikte kullanılır. Renk oyunu gösteren labrodoritler parlatılarak süs eşyası olarak kullanılırlar. Opalesans gösteren türleri kesilerek ay taşı olarak satılır [79].

Feldspatların içerisinde demirli bileşikler bulunur. Bunlar ötektik sıcaklığı düşürür ve üründe lekelenmelere neden olur. Bunu için feldspatlar zenginleştirildikten sonra kullanılmaktadır [80]. Feldspatın seramik çamurunda kullanılmasının nedeni  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $CaO$  bileşiklerini çamura kazandırmaktır. Seramik yapıdaki cam faz bu oksitlerin yardımı ile sağlanmaktadır.

Bunların eriticilik özelliklerinden faydalanılarak pişme esnasında kuvars ile birlikte camsı faz oluştururlar [81]. Feldspat, çamurlarda belli bir pişme sıcaklığına çıktığı zaman, çamurları pekiştirerek, eriticilik özelliği gösterdiği gibi sırlarda da eritici olarak kullanılmaktadır [81]. Dünyada endüstriyel değer taşıyan feldspat yatakları çok sayıda ülkede yer alır. Türkiye'de önemli K ve Na feldspat yatakları Aydın-Çine, Kütahya-Simav, Demirci-Manisa, Gördes, Kırklareli, Üsküp, Ankara-Bey pazarı, Balıkesir-Bandırma ve Bilecik-Söğüt dolaylarında bulunur [79].

Feldspatların seramik ürünlerindeki etkileri:

- a) Karışımda feldspat arttıkça sistemin erime noktasını ve dayanımını düşürür. Fayanstaki feldspat 1165°C'de erimesine rağmen 1040°C'de sertleştirici rol oynar.
- b) Kuvarsın ısıl uzama katsayısını düşürme gibi olumsuz etkilerini azaltmak için karışıma feldspat ilave edilir. İlave edilen feldspat çatlama önler.
- c) 1200°C'ye kadar maddenin plastikliğini düşürür.
- d) 1200°C'nin üzerinde eriyerek karışım maddesinin dayanımını artırır, gözenekliliği düşürür.
- e) Fazla feldspat içeren masse üzerinde pembe benekler meydana gelir.
- f) Plajyoklasların pişme dereceleri 1200°C, erime dereceleri ise 1120°C'dir ve birbirlerine çok yakındır. K-feldspatların yumuşama dereceleri ile erime dereceleri birbirinden uzaktır. Bu nedenle K-feldspatlar seramik bünyeler için dahakiymetlidir [64].

#### 4.4.2 Kuvars

Kuvars yeryüzünün incelenmiş kısmının %25'ini oluşturur. Oksijenden sonra dünyada en çok rastlanan silisyumun bir bileşimidir [82]. Kimyasal formülü  $SiO_2$  olup, mol ağırlığı 60, sertlik derecesi Mohs'a göre 7'dir. Kuvarsın kristal yüzeyleri cam cilalı, kırılan yüzeyleri ise yağ cilalıdır. Camı ve yağmsı parlaklık gösteren kuvars genellikle renksiz ve beyazdır, ancak içerdikleri yabancı maddelere bağlı olarak değişik renkler gösterir. İçerdikleri renkler kuvarstürlerinin tanınmasında kullanılır. Saydam ve yarı saydamdırlar. Saf kuvars %46,7 Si ve %53,3O içerir [83].

Bir seramik yapının kil gibi plastik ve dolgu özelliği olan hammaddeler yanında kuvars gibi plastik olmayan ve yapıyı yüksek sıcaklıklarda ayakta tutacak hammaddeye gereksinim vardır. Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliğini düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir [84]. Kuvars iri taneli vekriptokristalin olmak üzere iki grupta incelenebilir. İri taneli kuvarslar renklerine göre çeşitli adlar alırlar; kaya kristali, ametist, mavi kuvars, pembe kuvars, dumanlı kuvars, opal, diatomit, kuvars kumu, kuvarsit, sileks, flint taşı [82, 85]. Seramik hammaddesi olarak kullanılan kuvarsın ısıl davranışının üretim aşamalarında önemle takip edilmesi gerekmektedir. Çünkü saf kuvars ısıtılmaya başlandığında çeşitli modifikasyonları oluşur. Silisyum dioksitin oda sıcaklığında değişmez formu beta kuvarstır. Beta kuvarsın 573°C'ye kadar ısıtılması ile, bu sıcaklıkta alfa kuvars oluşur. Bu reaksiyon geridönüşümlü olup,

hacimce %2'lik büyüme gösterir. Isıtmanın yavaş sürdürülmesi ile alfa kuvars 870°C'de alfa tridimite dönüşür. Hacimce %12 artar. 1470°C'de ise alfa kristobalitin eriyerek kuvars camı haline gelmesi ile son bulur. Silisyum dioksitin yüksek sıcaklıktaki formlarından olan tridimit ve kristobalit de 230°C'de oluşur. Silisyum dioksitin dönüşümleri sonucu ortaya çıkan formlarının hepsi farklı özgül ağırlıklara sahiptirler. Kuvarsın dönüşüm sıcaklıklarında hacim değişiklikleri olacağından ani sıcaklık değişimlerinden sakınmak bu noktalardan yavaş geçmek gerekir. Aksi takdirde çatlama meydana gelebilir. Ayrıca sırlarda kuvars camı haline gelen kuvarsın ısıl uzama katsayısı küçük olduğundan sır çatlamalarını önler [45]. Kuvars seramik bölgede katkı miktarı arttıkça çamurun bağlayıcı özelliği kuru direnci artırır. Pişmiş çamurda gözeneklilik ve su emme artar. Kuruma ve pişme küçülmesi değerlerinde azalma ortaya çıkar. Katkı oranının çok fazla artması durumunda küçülme yerine büyüme gözlenir. Eridiği ortamlarda genleşme katsayısını düşürücü etki yapar. Tam olarak erimemesi durumunda ise aksine genleşme katsayısını artırıcı etki yapar. Erimemiş kuvarsın genleşme katsayısı erimiş kuvarsın genleşme katsayısından yaklaşık olarak 150 kat daha büyüktür. Seramik bünyelerde pişirme sıcaklığını artırır, deformasyonu önler. Seramik bünyeye saydamlık, aşınma direnci ve ısıl sok direnci gibi özellikler sağlar [86]. Kuvars minerallerinden ametist, pembe kuvars, dumanlı kuvars, kaplan gözü, aventüm, korneal, sitrin ve oniks türleri yarı değerli mücevher veya süs taşı olarak kullanılır. Kum halinde harç ve betonda, erikten abrazif, cam yapımı ve refrakter silis tuğlası yapımında; ayrıca öğütülmüş porselen, boya, sabun ve ahşapta dolgu olarak kullanılır. Flint genellikle seramik öğütme değirmenlerinde öğütücü taş ve değirmen kaplama taşı olarak kullanılmaktadır. Kalsit ve kum taşı yapılarında boyutlu taş veya kaplama taşı olarak kullanılır. Spektrumun, hem infrared hem de ultraviyole ışınları geçirmesi nedeniyle optik cihazlarda mercek ve prizma olarak, polarize ışık düzlemini çevirebilmesi nedeniyle değişik dalga boylarında monokromatik ışık üreten monokromatör yapımında, polarizasyon mikroskopunda kuvars kaması ve piezoelektriklik özelliği nedeniyle kristalografik olarak yönlendirilmiş küçük levhalar halinde kesilerek dijital kuvars saatlerinde kullanılır [79-87].

#### **4.4.3 Kalsit**

Triklinik yapıda olan kalsitin, sertliği 3, yoğunluğu 2,7 gr/cm<sup>3</sup>'tür. Rengi çoğunlukla beyazdır. Fakat safsızlıklar nedeniyle oldukça çeşitli renkler



alabilmektedir [87].Kalsiyum karbonat-kalsit mineralinde ve kalker kayaçlarında bulunur ki, bu kayaçlaraynı zamanda mermer, kireç, tebeşir ve kalker kireci de bulunur. Kalkerli kireçten kalsiyumoksit zengin killere kadar devamlı bir seri mineralde bulunurlar [88].Kalsitin en önemli kullanım alanı, çimento ve kireç yapımıdır. 900°C dolayındaisıtılırsa  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$  reaksiyonuna göre (sönmemiş kireç) CaO meydana gelir. CaOsu ile karıştırılırsa şişer, ısı verir ve sertleşerek sönmüş kireç meydana gelir. Saf kalsitmikronize edilerek boya, plastik ve kağıt endüstrisi dallarında dolgu olarak kullanılır. Kalsit,boyutlandırılmış kireçtaşı ve mermer olarak hem yapı taşı hem de dekoratif amaçlı dışkaplamalarda, ayrıca cilalanmış traverten veya eniks levhaları halinde ve genellikle içhacimlerde süs ve dekorasyon amaçları için yararlanır [78].

#### 4.4.4 Dolomit

Bileşimi  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 'dir (%56  $\text{CaCO}_3$  ve %44  $\text{MgCO}_3$ ). Doğada büyük kayaçlarhalinde bulunan bir mineraldir. Magnezyumlu kireçtaşı olarak da bilinir. Renksiz, beyaz, bej,sarımsı ve kahverengi tonlarda oluşabilen dolomitler, bazen içerdikleri bazı safsızlıklarnedeniyle başka renklerde olup, özgül ağırlığı  $2,85 \text{ gr/cm}^3$ , sertliği Mohs skalsına göre 3,5-4'tür.Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası 1925-2485°C arasında değişir [74].Sedimenter katmanlar dolomitik mermerler halinde yaygın olarak dünyanın çeşitliyerlerinde bulunur. Genellikle kireçtaşlarındaki kalsiyumun yerini kısmen magnezyumunalmasıyla dolomitlerin ikincil olarak oluştuğu kabul edilmektedir. Yer alma olayı kısmengelişebilir ve dolomitler kalsit ile birlikte karışım halinde bulunabilirler. Türkiye'de dolomitbaşlıca İzmir Torbalı, Çesme Karburun, Zonguldak Alaplı ve Kuruca Sile, Mugla Fethiye,Malatya Hekimhan, İçel Gülnar ve Aydıncık, Marmara Adası, Kırklareli Dereköy ve İç BatıAnadolu'da Tersiyer yaşlı sedimentlerde birlikte yaygın olarak bulunur [74].Dolomitten istenen spesifikasyonlar kullanıldıkları sektöre göre değişmektedir.Örneğin, demir çelik endüstrisinde MgO'in %18,5-20,5, CaO'in %29,5-33,  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün%2,5-3,0 maksimum S'in %0,50-0,92 tane boyutunun 10-100 mm olması istenir [89].Cam endüstrisinde ise MgO'in 519, CaO'in %34,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve kükürdün olmamasıistenirken tane boyutunun 2 mm altında ve 75Um boyutunun %30 civarında olması gerekir [90]. İnsaatlarda dekoratif kaplamalar için çimento, sönmemis kireç, cam ve soda üretiminde,refrakter tuğla yapımında ayrıca

curuf yapıcı olarak demir ve diğer metallerin ergitilmesinde kullanılır. Dolomit aynı zamanda potansiyel bir magnezyum kaynağıdır.

#### **4.4.5 Pegmatit**

Kuars, feldspat, plajioklas, mika grubu minerallerden, muskovit, az miktarda biyotit veserisiti granat grubu minerallerden bazılarını ve turmalin içeren magma kökenli arı derinlik kayacıdır. Pegmatitin içinde bu minerallerden feldspatların azlığı veya çokluğu bu maddeye önemli derecede değeri kazandırmaktadır. Bazı durumlarda albitçe zengin olan pegmatitler dealbit yatağı olarak işletilebilir. Pegmatitler, alkali feldspat ve plajioklas açısından önemli olduğu gibi, bu minerallerin ayrışması sonucu oluşan kaolen ve kil yatakları yönünden de önemlidirler [91]. Karo üretiminde kullanılan pegmatit genelde %30 serbest kuars, %60-70 feldspat, %5-10 mika grubu mineralleri içerir. Pegmatit içinde renklendirici demir ve titan olmamalıdır. Demir ve titan %1 civarında olursa hamur sararır. Bu fayans üretiminde çok büyük önem taşımaz fakat yer karosu üretimi için önemlidir [92].

## **5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Ticari değere sahip Tokat-Reşadiye bölgesi sınırları içinde oluşmuş olan bentonitlerin seramik endüstrisi açısından teknolojik değerlerinin belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçların kıyaslamasının yapılması için Eczacıbaşı Esan San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen ve seramik bünyelerde kullanılan E-Benta bentoniti de kullanılmıştır. Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonitinin kimyasal ve fiziksel karakterizasyonu yapılarak, TSE 11136 [7] Standardına (Bentonit-Seramik Sanayiinde Kullanılan) uygunluğu incelenmiştir. Seramik duvar karosu uygulamalarında kullanılabilirliğinin tespiti amacıyla hazırlanan Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti ve Esan bentoniti katkı seramik bünyelerin, karakteristik özellikleri (renk değişimi, plastisite suyu, kuru küçülme, pişme küçülmesi, su emme ve sertlik davranışı vb.) incelenmiştir.

### **5.1 Deneylede Kullanılan Hammaddeler**

Tokat-Reşadiye bölgesine ait bentonit numunesi, 20 kg'lık plastik torbalar içerisinde ince öğütme işlemi gerçekleştirilmiş halde KARAKAYA BENTONİT A.Ş. tarafından temin edilmiş olup, araştırma çalışmalarına bu durumdaki malzeme üzerinden başlanmıştır. Eczacıbaşı Esan A.Ş.'den seramik bünyelerde kullanılan E-Benta numunesi ise 20 kg'lık plastik torba içerisinde 5-15 mm boyutlu olarak temin edilmiştir. E-Benta bentonit numunesi 24 saat 110°C 'de ağırlığı sabitlenene dek tutulmuş ve 64 mikron altına elenmiştir. İncelemelerde 64 mikron altı numuneler kullanılmıştır.

Bentonit katkı seramik bünye karışımlarının oluşturulmasında, Eczacıbaşı Esan A.Ş.'den temin edilen mikronize kuvars ve kaolen, Anadolu Mikronize Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen mikronize kalsit kullanılmıştır.

E-Benta bentoniti, mikronize kuvars, kaolen ve mikronize kalsite ait kimyasal analiz değerleri ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** E-benta bentonitine ait kimyasal analizi.

Kimyasal analiz (%)								
Ateşte Kayıp	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
6	73	13	0.7	0.05	1	3	2.1	1.1
Tane Boyutu	d <sub>90</sub> = 30 - 40 µm							
Nem	Mak. % 0.5							

**Çizelge 5.2 :** Mikronize kuvarsın kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği.

Kimyasal analiz (%)								
Ateşte Kayıp	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
0.20	99.20	0.50	0.03	0.02	0.02	0.02	0.10	0.02
Tane Boyutu	d <sub>90</sub> = 41 µm ± 2							
Nem	Mak. % 0.2							

**Çizelge 5.3 :** Mikronize kaolenin kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği.

Kimyasal analiz (%)								
Ateşte Kayıp	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
13.30	48.50	36.50	0.50	0.60	0.15	0.15	0.05	0.40
Tane Boyutu	d <sub>90</sub> = 30 µm ± 2							
Nem	Mak. % 1.0							

**Çizelge 5. 4 :** Mikronize kalsitin kimyasal analizi, tane boyutu ve nem içeriği.

Kimyasal analiz (%)				
CaCO <sub>3</sub>	MgO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>3</sub>
>99.55	<0.25	<0.03	<0.05	<0.01
Tane Boyutu	d <sub>97</sub> = 2.2 µm			
Nem	Mak. % 0.30			

## 5.2 Deneyleerde Kullanılan Alet Ve Cihazlar

Bentonit katkılı seramik bünye karışımlarının hazırlanması esnasında öğütme ve karıştırma işlemleri, 5 kg. kuru madde kapasiteli alümina bilyalı öğütücü ve laboratuvar tipi el-mikseri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Boyutça küçülme, su emme ve plastisite tayinleri için, tablet numuneler (10x2x2cm.'lik) pirinç kalıplarda hazırlanmıştır. Bentonit katkılı seramik bünyelerin pişirme sıcaklığına bağlı olarak su emme ve sertlik özelliklerindeki değişimlerin tespiti için silindirik numunelerin (1,28 mm çap ve 7 mm yüksekliğinde) hazırlanmasında masaüstü tek eksenli hidrolik laboratuvar press (maksimum 3000kg uygulamalı) kullanılmıştır.

Numunelerdeki boyutsal değişimlerin tespiti esnasında üç desimal hassasiyetli dijital kumpas ve plastisite suyu değişiminin tespiti ile diğer gerekli olan ağırlık ölçümlerinde iki desimal hassasiyetli dijital terazi (maksimum 450 gr. kapasiteli) kullanılmıştır.

Numunelerin 110°C'deki kurutulmaları, (maksimum 250°C 'ye çıkabilen) laboratuvar tipi etüv'de gerçekleştirilmiştir. Accupyc II 1340 model piknometre, bentonit numunesinin yoğunluğunun tespitinde kullanılmıştır.

Bentonit numunesi tabletlerinin ve bentonit katkılı silindirik seramik bünye numunelerinin yüksek sıcaklıklarda pişirilmeleri, Heraus marka (maksimum 1300°C'ye çıkabilen) açık atmosferli fırında gerçekleştirilmiştir.

Bentonit katkılı silindirik seramik bünye numunelerinde pişirme sıcaklığına bağlı olarak mikroyapısal değişimleri, JEOL JSM 7000S taramalı elektron mikroskobu (SEM)-enerji dağılım spektrometresi (EDS) kullanılarak belirlenmiştir. Pişirilme

sıcaklığına bağlı olarak seramik bünyedeki sertlik değişimleri, üniversal mikrosertlik test cihazında tespit edilmiştir.

### 5.3 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonit Tabletlerinin Hazırlanması

Bentonit tablet deneylerinde, Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin ham, plastik, kuru ve pişmiş durumlarındaki plastisite suyu, kuru küçülme, pişme küçülmesi, su emme ve renk değişim özellikleri saptanmıştır. Bentonit tabletleri 64µm elekten elenmiş olan bentonit numuneleri ile hazırlanmıştır. Her cins bentonit, bir mezürden ilave edilen su ile plastik çamur haline getirilmiştir. Şekillendirme, 10x2x2cm. boyutlarında dikdörtgen prizması şeklindeki pirinç tablet kalıpları ile yapılmıştır.

### 5.4 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentoniti Katkılı Seramik Bünye Tabletlerinin Hazırlanması

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonitlerinin, seramik bünyelerdeki fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik değişimlerine etkisini ve uygunluğunu incelemek için standart bir seramik duvar karosu reçetesi [93] baz alınmıştır. Baz alınan standart reçetenin (%) ağırlık oranları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti ve Esan bentoniti, reçete içindeki kil yerine kullanılmıştır.

**Çizelge 5. 5 :Baz reçete kompozisyonu.**

Hammade	Ağırlıkça %
Kil	61
Kaolen	24
Kuvars	6
Kalsit	9

Reçete içinde bulunan her hammadde 110°C’de kurutma işlemi sonrası hassas olarak tartılmıştır. Öğütme ve karıştırma işlemi 5 kg. kuru madde kapasiteli alümina bilyalı öğütücü değirmende 1 kg. kuru madde üzerinden yapılmıştır. 6 saat bilyalı değirmende karıştırma sonrası, seramik bünyeye %40 oranında su ilavesi yapılmış, elektrolit olarak da %0,35 Na-silikat (cam suyu) kullanılmıştır. Elde edilen seramik bünye, laboratuvar tipi mikserde 1,5 saat karıştırılmış, elde edilen çamur,

(10x2x2cm.'lik) piriç kalıplar kullanılarak tabletler formunda hazırlanmıştır. Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentoniti katkılı seramik bünye tabletleri kullanılarak, hazırlanmış olan reçetenin plastisite suyu, kuru, pişme ve su emme özellikleri karakterize edilmiştir. Endüstriyel üretim ve pişirim koşullarına benzer şekilde Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentoniti katkılı seramik bünye karışımlarından hazırlanan çamur, etüvde 110°C'de kurutulmuş, kekleşen kuru bileşim 1mm tane boyutu altına kırılıp %5-6 oranında nem içerecek şekilde nemlendirilmiştir. Nemli granüller, 1,28 mm çap ve 7 mm yüksekliğinde silindirik numuneler şeklinde masaüstü tek eksenli hidrolik laboratuvar presinde 2300 kg/cm<sup>2</sup> basınçla şekillendirilmişlerdir.

## **5.5 Deneilerin Yapılışı**

Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti ve Esan Bentoniti katkılı seramik bünye karışımları için kimyasal, fiziksel seramik testleri ile mikroyapı ve sertlik değişimi karakterizasyon testleri yapılmıştır.

### **5.5.1 XRF analizi**

XRF analiz sonuçları, bentonit numunelerin kimyasal bileşimi ve bünyelerinde mevcut olan minerallerin miktarı hakkında bilgi verdiğiinden önemlidir [35].

### **5.5.2 Şişme deneyi**

Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti ve Esan bentonit numyelerinin şişme özellikleri, 63 mikron elekaltı incelikteki 2 gram kuru bentonitin 100 cc'lik mezürdeki saf suya ilavesiyle belirlenmiştir. Bentonitin suda tamamen dağılmasını ve şişmeyi tam sağlamak için, bentonit su dolu mezüre çok yavaş olarak ilave edilmiştir. Her seferinde spatülün ucunu dolduracak kadar bentonit, suyun yüzeyine serpiştirilmiş ve ikinci bir ilave yapılmadan önce ilk ilavenin tamamen çökmüş olması beklenmiştir. Son kısım bentonitin ilave edilmesini takiben 1 gün, 7 gün, 15 gün ve 30 gün sonra bentonitlerin mezürdeki işgal ettiği hacimler okunmuştur [38].

### **5.5.3 Saat camı testi**

Her biri 63 mikron elek açıklığı olan elekten geçirilmiş elekaltı bentonit numyelerinden, 1 gram kadarı bir saat camının ortasına konulmuştur. Spatül ucuyla hafifçe bastırılarak numunenin konik bir tepe şeklini alması sağlanmış ve şişme esnasında oluşacak olan halkadaki değişimler tespit edilmiştir. Saat camının

kenarından itibaren 3-4 damla su damlalıkla ilave edilmiş, saat camı yavaşça aşağı ve yukarı hareket ettirilerek suyun bentonit yığının etrafını sarması sağlanmıştır [38].

#### **5.5.4 HCL ile tepkime**

Bünyesinde kalker (CaCO<sub>3</sub>) karışmış olan bentonit ve kaolenler HCl ile tepkimeye girdiklerinde köpürme meydana gelmektedir [64]. Saat camlarına konulan 10 gramlık bentonit numuneleri 5 cc. 0,5 N HCl çözeltisiyle tepkimeye sokulmuştur. Tepkime sonucunda köpürmenin meydana gelip gelmediği belirlenmiştir.

#### **5.5.5 Yoğunluk tayini**

Accupyc II 1340model piknometre kullanılarak Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin yoğunluğu belirlenmiştir. 1 cm<sup>3</sup>'lük hücre kullanılmıştır. Ölçüm için kullanılan bentonit numuneleri, 110°C'de nemi tamamen gidene dek (1 gün) etüvde kurutulmuştur.

#### **5.5.6 pH ölçümü**

Bentonit numunelerin pH dereceleri pH 7,5-9,5 aralıklı (0,4 artışla) şerit bantlar kullanılarak tespit edilmiştir.

#### **5.5.7 Plastisite deneyi**

Plastisite veya yoğrulma suyu, kil ve kaolenlere plastik olarak şekillendirilebilecek hale gelinceye kadar ilave edilen su oranıdır. Bu deneyde bentonit, ele yapışmayacak duruma gelinceye kadar su ilave edilmiş ve tabletler formunda şekillendirilmesi sonrası yaş halde tartımları yapılmıştır. 110°C 'de sabit ağırlığa gelinceye dek kurularak, kuru durumda ikinci tartımları alınıp plastisite suyu yüzdeleri bulunmuştur [68].

$$\% \text{ Plastisite suyu} = \frac{\text{Yaş ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}}{\text{Kuru ağırlık}} \times 100 \quad (5.1)$$

#### **5.5.8 Boyutça küçülme deneyi**

Kil ve kaolenlerde şekillendirme suyunun bünyeden atılması, yapı içinde taneciklerin birbirlerine yaklaşmasına ve küçülme olayının başlamasına neden olur. Şekillendirme suyunun oranı arttıkça, kuru küçülme artar. Pişme küçülmesinin nedeni ise, bünyedeki organik maddelerin yanması, kristal suyunun ayrılması, gazların uzaklaşmasıdır. Hazırlanan tabletler üzerinde yaş haldeyken kumpas ile yaş



uzunluk belirlenmiş ve etüvde 110°C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Numunelerin kuru uzunluk ölçümleri alındıktan sonra, 1100°C’de pişirilerek son uzunluk değerleri ölçülmüş ve aşağıda verilen bağıntılarla kuru ve pişme küçülmeleri bulunmuştur [65].

$$\% \text{ Kuruküçülme} = \frac{\text{Yaşuzunluk} - \text{Kuruuzunluk}}{\text{Yaşuzunluk}} \times 100 \quad (5.2)$$

$$\% \text{ Pişmeküçülmesi} = \frac{\text{Kuruuzunluk} - \text{Pişmişuzunluk}}{\text{Kuruuzunluk}} \times 100 \quad (5.3)$$

### 5.5.9 Su emme deneyi

Su emme, pişmiş bünyenin gözeneklerine alabildiği su miktarıdır. Plastik halde şekillendirilen tablet numuneler, etüvde kurutulduktan sonra 1100°C’de pişirilmişler, ortamdaki nem almayacak şekilde soğutulup tartılmışlardır. Tablet numuneler ikinci aşamada, oda sıcaklığındaki suda 24 saat bekletilip, yeniden tartımları alınmış ve (%) olarak su emmeleri hesaplanmıştır [65].

$$\% \text{ Su emme} = \frac{\text{Yaş pişmiş ağırlık} - \text{Kuru pişmiş ağırlık}}{\text{Kuru pişmiş ağırlık}} \times 100 \quad (5.4)$$

### 5.5.10 Sıcaklıkla renk değişimi

Hazırlanan bentonit tabletlerinde pişirilme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimlerinin tesbiti amacıyla endüstriyel pişirme hızlarına benzer hızda (200°C/saat) 110-1100°C aralığında ısıtılmışlardır. Isıtma sonrası fırından alınan numunelerdeki renk değişimleri tespit edilmiştir.

### 5.5.11 XRD analizi

Endüstriyel seramik bünye hazırlama koşullarına benzer olarak hazırlanan preslenmiş silindirik numunelerde pişirme süresine bağlı olarak oluşan fazların tespiti amacıyla 1100, 1140, 1180 ve 1220°C’lerde 40 dakika pişirilen numuneler, Rigaku MiniFlex marka X-ışınları difraktometresi kullanılmıştır.

Numuneler,  $2\theta = 10 - 70^\circ$  aralığında  $5^\circ / \text{dk}$  tarama hızında Cu K $\alpha$  radyasyonu (30kV / 15mA) kullanılarak karakterize edilmişlerdir.

### **5.5.12 SEM analizi**

1100, 1140, 1180 ve 1220°C'lerde 40 dakika pişirilen numunelerdeki mikroyapı incelemeleri, taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde kullanılan numunelerin pişirilmiş yüzeylerinden SEM görüntüleri alınarak, pişirme sıcaklığına bağlı mikroyapı değişimi belirlenmiştir.

### **5.5.13 Mikrosertlik analizi**

Preslenmiş silindirik numunelerde pişirme süresine bağlı olarak sertlik değişimlerinin tespiti amacıyla 1100, 1140, 1180 ve 1220°C'lerde 40 dakika pişirilmişlerdir. Pişirilen numunelerdeki sertlik değişimleri de universal mikrosertlik cihazında 500gr yük altında tespit edilmiştir. Mikroyapı sertlik analizi için pişirilmiş olan numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır. Ulaşılan sertlik değerleri, Mohs sertlik birimine dönüştürülerek [94] duvar kerosu sertlik standardına (TSE EN 14411) [8] uygunlukları incelenmiştir.

## 6. DENEY SONUÇLARI

### 6.1 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonitinin Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonitinin XRF analiz, şişme deneyi, saat camı testi, yoğunluk, pH değeri ve HCl ile tepkime karakterizasyonları yapılmıştır.

#### 6.1.1 XRF analiz sonuçları

Bentonit numunelerinin XRF analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : İncelenen bentonit numunelerinin XRF analiz sonuçları.

Bentonit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O
Tokat-Reşadiye	52,7	20,40	5,17	4,86	1,83	1,1	-	2,75
Esan	73	13	0,7	1	3	1,1	0,05	2,1

#### 6.1.2 Şişme deneyi sonuçları

Bentoniti diğer killerden ayıran en önemli özellik bünyesinde su tutmasıdır. Bentonit bünyesinde tuttuğu fiziksel suyu 100-150°C gibi düşük sıcaklıkta kaybedebilir. Kristal suyu ise 300°C 'ın üzerinde vermeye başlar.

Şişme deneyleri esnasında kullanılmış olan yoğunluk değerlerinin Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentoniti için sırasıyla 2,55 gr/cm<sup>3</sup>, 2,51 gr/cm<sup>3</sup> olduğu piknometre ölçümleriyle belirlenmiştir. Yoğunluk değerlerinin, literatürde [9] tanımlı olan 2,2-2,8 gr/cm<sup>3</sup> aralığı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

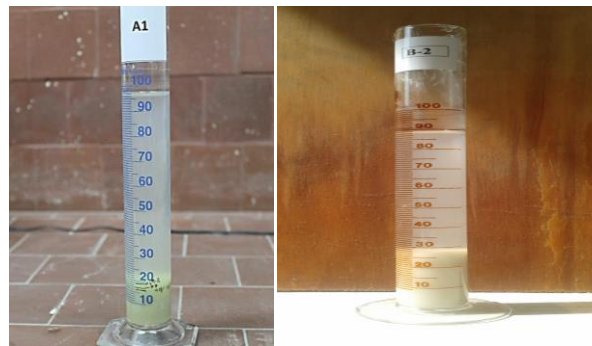
Bentonit numunelerinin şişme deney sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiş olup, Şekil 6.1'de 30. gün sonunda bentonit numunelerindeki hacimsel şişme değerleri görülmektedir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösterdiği belirlenmiştir. Esan bentonitinin orijinal hacminin yaklaşık 34 katı şişme gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3).

**Çizelge 6.2 :** Tokat-Reşadiye bentonitinin şişme deney sonuçları.

Tokat-Reşadiye	Şişmiş Hacim (cm <sup>3</sup> )	Hacimce Şişmenin Orijinal Hacmin Kaç Katı Olduğu
2 gr Kuru Numune (Şişmemiş)	1.470	-----
48 Saat Sonra	21	14,28
7 Gün Sonra	23	15,64
15 Gün Sonra	25	17,00
30 Gün Sonra	27	18,36

**Çizelge 6.3 :** Esan bentonitinin şişme deney sonuçları.

Esan Bentoniti	Şişmiş Hacim (cm <sup>3</sup> )	Hacimce Şişmenin Orijinal Hacmin Kaç Katı Olduğu
2 gr Kuru Numune (Şişmemiş)	0.796	-----
48 Saat Sonra	15	18.84
7 Gün Sonra	23	28.89
15 Gün Sonra	25	31.40
30 Gün Sonra	27	33.92

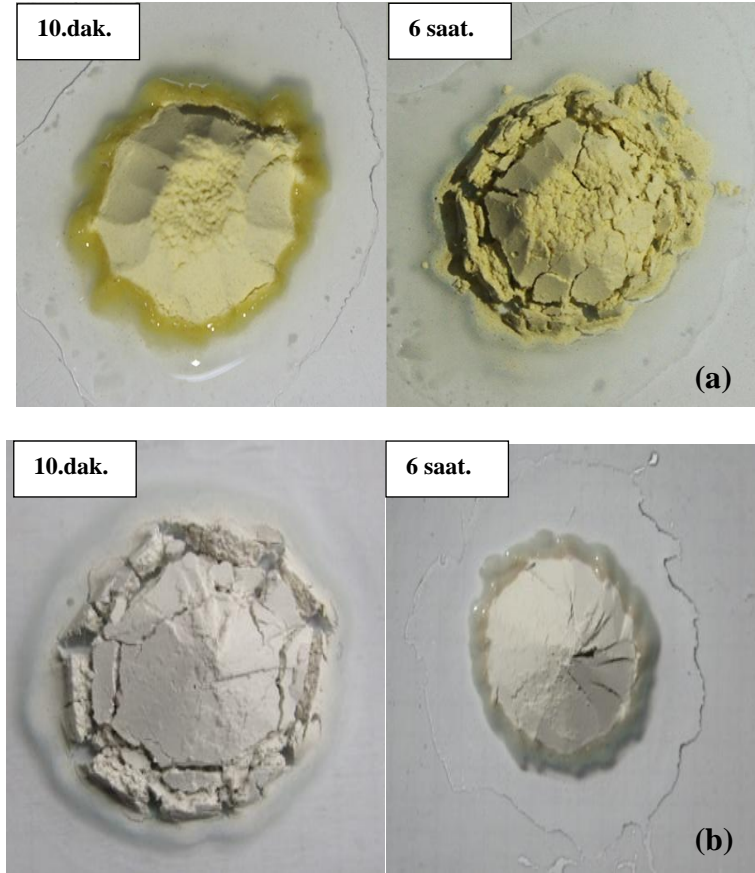


**Şekil 6.1 :** İncelenen bentonitlerin 30. gün esnasında şişme göstererek işgal etmiş oldukları hacimler (Sağda Tokat-Reşadiye bentoniti, solda Esan bentoniti).

### 6.1.3 Saat camı testi sonuçları

Şekil 6.2’de Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin saat camı testi sonuçları verilmiştir. Saat camı testinde bentonit numunelerine temas eden su, ilk aşamada birkaç mm nüfuz etmiş ve o bölgedeki bentoniti şişirmiştir. Su daha iç kısımlara nüfuz edemediği için, orta kısım kuru kalmış ve dışa doğru ıslanmış, şişmiş (kabarmış) bir bentonit halkası oluşmuştur. Zamanla halkanın kalınlığında artma olsa da, su tamamen bütün bentoniti ıslatamadığı için, orta kısım devamlı kurukalmıştır. Islak kısmın suyu uçunca, kuru kısmın etrafında yıldızvari parça parça bölünmüştür. Dolayısıyla numunenin, şişme özelliğine sahip bentonit numunesi olduğu tespit edilmiştir.

Bentonitin bünyesine su alması ve kristal yapının c eksenine yönde genişlemesi olayına şişme adı verilir. Bentonitin ticari olabilmesi için, kendi hacminin en az 5 katı şişmesi gerekir. Normal olarak iyi kaliteli bentonitler, 10-20 kat şişme gösterebilmektedirler. Genellikle 12-15 kat hacim artışı gösteren bentonitler, iyi nitelikli olarak kabul edilirler [95].



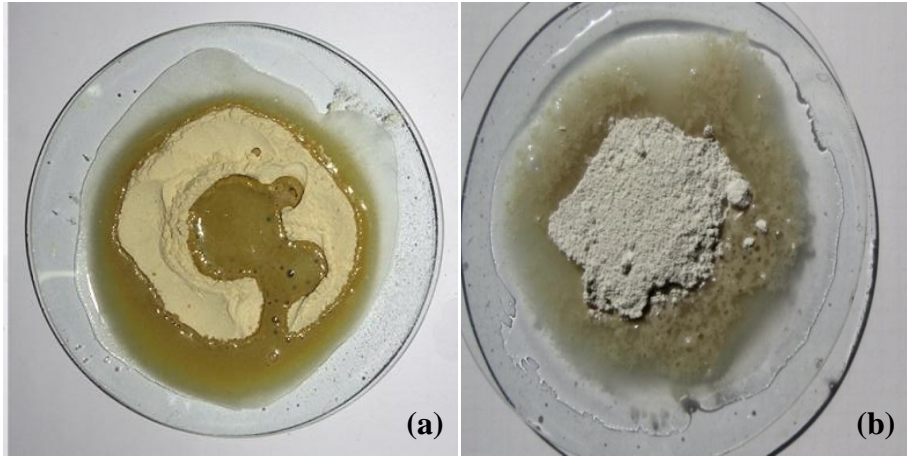
Şekil 6.2 : Saat camı testi sonuçları a) Tokat-Reşadiye bentoniti b) Esan bentoniti.

#### 6.1.4 Yoğunluk, pH değeri ve HCl ile tepkime sonuçları

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin bünyesinde kalker bulunup bulunmadığını saptamak için HCl kullanarak yapılan asit deneyi, pH değeri ve piknometre ile yapılan yoğunluk deneyi sonuçları Çizelge 6.4’de verilmiştir. HCl ile tepkime deneyinde Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit numunesi kuvvetli bir reaksiyon göstermiş olup, Esan bentonit numunesi ise zayıf bir reaksiyon göstermiştir (Şekil 6.3). Çizelge 6.1’de verilen XRF analiz sonuçları incelendiğinde, Tokat- Reşadiye bentonit numunesinin (%4,86), Esan bentonit numunesindekinden (%1) daha yüksek oranda CaO içerdiği görülmektedir.

**Çizelge 6.4 :**Numunelerinin yoğunluk, pH değeri ve HCl tepkime sonuçları.

Bentonit	HCl ile tepkime	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	pH
Tokat-Reşadiye bölgesi	Var	2,55	9
Esan Bentoniti	Zayıf	2,51	9,5



**Şekil 6.3 :** HCl ile tepkime.a)Tokat Reşadiye Bentoniti b) Esan Bentoniti.

#### 6.2 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonitlerinin Plastisite, Boyutça Küçülme, Su Emme Ve Renk Değişimi

Bentonit numunelerinin;plastisite, boyutça küçülme ve su emme özellikleri incelenmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5’de verilmiştir. Orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösteren Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit numunesinin plastisite değerinin % 143,52 ± 1.21 aralığında olduğu görülmektedir. Pişme

küçülmesinin yaklaşık %  $-2,00 \pm 0,1$  ve su emme miktarının da yaklaşık %  $4,24 \pm 0,007$  civarında olduğu tespit edilmiştir. Orijinal hacminin yaklaşık 34 katı şişme gösteren Esan bentonit numunesinin plastisite değerinin %  $228,89 \pm 1,85$  aralığında olduğu, pişme küçülmesinin ise yaklaşık %  $1,77 \pm 0,31$  ve su emme miktarının da yaklaşık %  $2,64 \pm 0,82$  olduğu belirlenmiştir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit numunesinin  $110^{\circ}\text{C}$ 'de pişirilmesi sonrası kuru küçülmesinin yaklaşık %  $19,22 \pm 1,24$  ve Esan bentonit numunesinin de kuru küçülmesinin yaklaşık %  $34,92 \pm 2,26$  olduğu tespit edilmiştir. Pişme küçülme değerinin Tokat Reşadiye bölgesi bentoniti için yaklaşık % -2 olduğu ve TSE 11136 standartında verilen max. pişme küçülmesi yüzdesi (%25) ile uyumlu olmadığı, hatta pişme küçülmesi yerine artan sıcaklık ile  $1100^{\circ}\text{C}$ 'ye pişirilen bentonit tabletlerinin büyüme gösterdiği görülmüştür.

**Çizelge 6.5 :** Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit numunelerinin plastisite, boyutça küçülme ve su emme sonuçları.

Bentonit	Plastisite suyu (%)	Kuru Küçülme (%)	Pişme Küçülmesi (%)	Su Emme ( $1100^{\circ}\text{C}$ )(%)
Tokat-Reşadiye Bölgesi	$143,52 \pm 1,21$	$19,22 \pm 1,24$	$-2,00 \pm 0,1$	$4,24 \pm 0,007$
Esan Bentoniti	$228,89 \pm 1,85$	$34,92 \pm 2,26$	$1,77 \pm 0,31$	$2,64 \pm 0,82$

Bentonit numunelerinin pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri Şekil 6.4'de görülmektedir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit numunelerinin  $110^{\circ}\text{C}$ 'deki rengi krem olup,  $800^{\circ}\text{C}$ 'den itibaren renk açık kahve rengine dönüşmekte ve  $1100^{\circ}\text{C}$ 'de renk nispeten koyulaşmaktadır. Esan bentoniti numuneleri ise başlangıçta beyaz renkte iken  $800^{\circ}\text{C}$ 'en sonra çok hafif kirli beyaz bir renge dönüşmektedir. Killerin pişme sırasında sinterleşmesi ilerledikçe, renk şiddeti artmaktadır. İnce seramikmamullerinde pişme rengi çok önemlidir [96]. Killere pişme sırasında renk veren maddelerin başında ihtiva ettikleri demir bileşikleridir. Üç değerlikli demir bileşiklerin miktarına bağlı olarak sarı-kırmızı veya koyu kırmızı renk elde edilir. İki değerlikli demir bileşikler gri, koyu gri ve siyah renk vermektedir. Mn ve Ti bileşiklerinin mevcudiyeti, demir renklendirmesini daha da artırmaktadır. Çizelge 6.1.'de verilen XRF analiz sonuçları dikkate alındığında Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin ağırlıkça %5,17  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içerirken Esan bentonitinin ise ağırlıkça %0,70

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiği ve tespit edilen belirgin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktar farkının renk değişimlerinde etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 6.4 : İncelenen Tokat Reşadiye bölgesi bentonit tabletlerinde pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.



Şekil 6.5 : İncelenen Tokat Reşadiye bölgesi bentonit tabletlerinde pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.

### 6.3 Tokat-Reşadiye Bölgesi Ve Esan Bentonit Katkılı Seramik Bünye Tabletlerinin(B1 - B2 Harmanları)Plastisite, Boyutça Küçülme, Su Emme Ve Renk Değişimi

Tokat Reşadite bölgesi ve Esan bentonit katkıli seramik bünye tabletlerinden ( B1 - B2 harmanları) elde edilen plastisite suyu, boyutça küçülme ve su emme özellikleri Çizelge 6.6'da verilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkıli seramik bünye tabletlerin pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri Şekil 6.5'de



görülmektedir. Çizelge 6.6'da görüldüğü gibi, Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyenin plastisite suyu değerinin( $218,69 \pm 3,26$ ), Esan bentonit katkılı seramik bünyenin plastisite suyu değerinden ( $122,12 \pm 1,01$ ) yaklaşık yarı oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir. TSE EN 14411 Grup BIII standardında [8] duvar karolarında su emme (%) sinin ortalama %10 olması gerektiği ifade edilmektedir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye ile hazırlanan tabletlerde su emme değerininin  $10,58 \pm 0,14$ , Esan bentonit katkılı bünyelerde ise  $10,56 \pm 0,39$  olduğu ve TS EN14411 Grup BIII standardında [8] istenen değere uyumlu olduğu görülmüştür.

Pişme küçülmelerinin, Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye için  $-1,15 \pm 0,2$  ve Esan bentonit katkılı seramik bünye için de  $3,53 \pm 0,77$  olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 6.6 :** Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünye tabletlerinin (B1 - B2 harmanları) plastisite, boyutça küçülme ve su emme sonuçları.

Bileşim	Plastisite suyu (%)	Kuru Küçülme (%)	Pişme Küçülmesi (%)	Su Emme (%)
Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye (B1)	$218,69 \pm 3,26$	$30,78 \pm 1,7$	$-1,15 \pm 0,2$	$9,13 \pm 0,43$
Esan bentonit katkılı seramik bünye (B2)	$122,12 \pm 1,01$	$26,04 \pm 1,25$	$3,53 \pm 0,77$	$10,56 \pm 0,39$



**Şekil 6.5:** İncelenen Tokat Reşadiye bentonit katkılı seramik bünye tabletlerinin (B1) pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.



**Şekil 6.6 :** İncelenen Esan bentoniti katkılı seramik bünye tabletlerin (B2) pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.

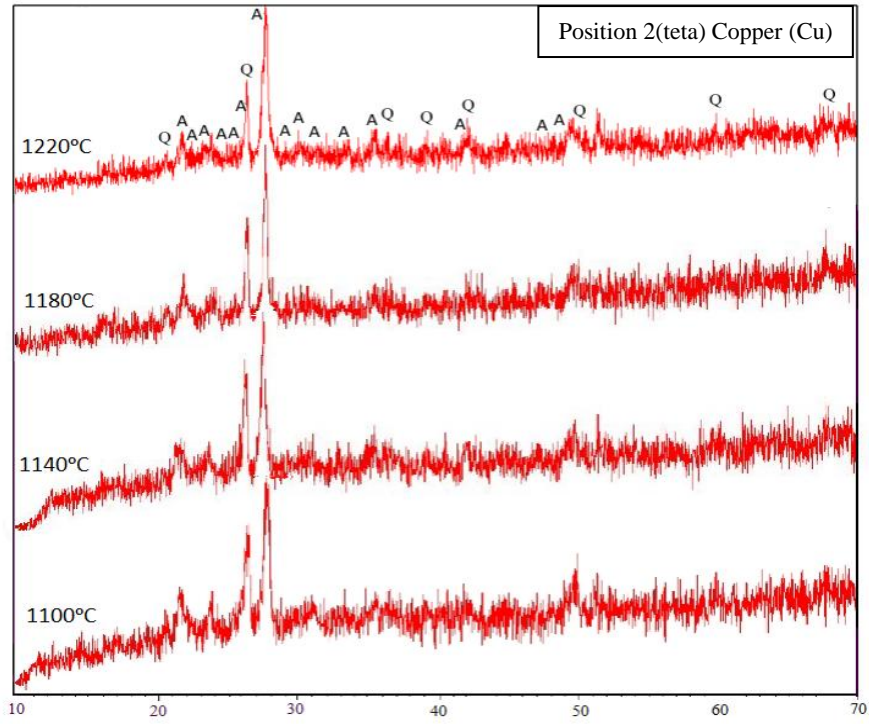
#### **6.4 Tokat Reşadiye Bölgesi ve Esan Bentonit Katkılı Seramik Bünyede (B1 - B2 Harmanları) Pişirme Sıcaklığının Etkisi**

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünyelerde (B1 - B2 harmanları) pişirme sıcaklığının etkisinin belirlenmesi amacıyla endüstriyel seramik bünye hazırlama koşullarına benzer olarak hazırlanan preslenmiş silindirik numuneler 1100, 1140, 1180 ve 1220°C'de 40 dakika pişirilmiştir. Pişirme sonrası numunelerin faz, mikroyapı, su emme, mikrosertlik ve sıcaklıkla renk değişimleri karakterize edilmiştir.

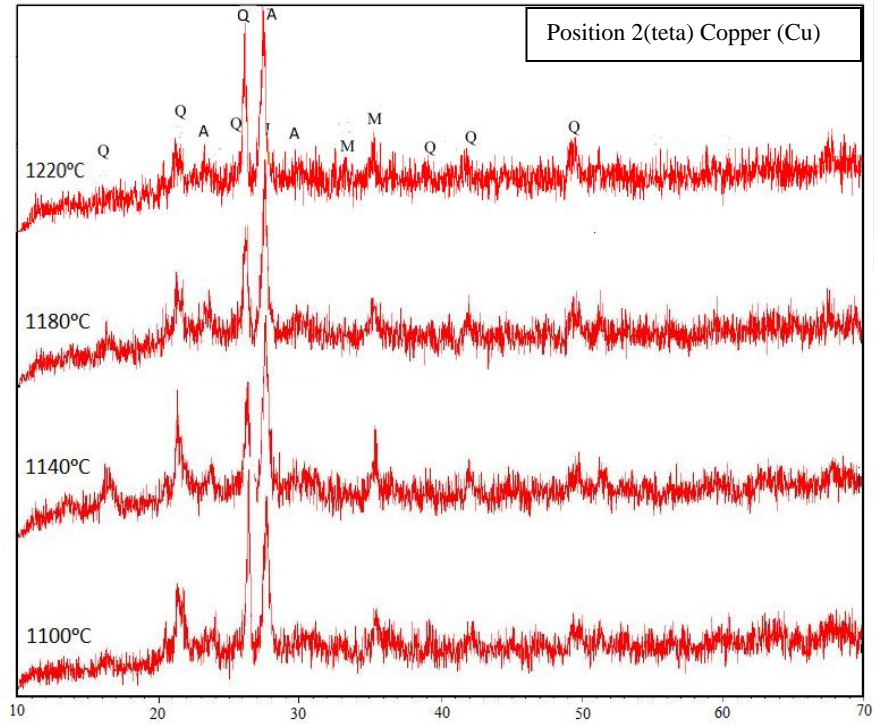
##### **6.4.1 XRD analizi değerlendirilmesi**

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünyelerde (B1 - B2 harmanları) pişirme sıcaklığına bağlı olarak oluşan fazların tespiti için XRD cihazı ile elde edilen analizler Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 'de verilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünyelerin 1110°C'den 1220°C'ye ısıtılması sonucunda yapıda kuvars, albit ve müllit fazı oluşumları tespit edilmiştir. Benzer faz oluşumları literatürde ağırlıkça % 60 kil içeren ve 1145°C'de 35 dk pişirilmiş olan çeşitli duvar karosu bünyelerinde de rastlanmıştır.

Pişmiş duvar karosu seramik bünyelerindeki (B1 ve B2) kristalin fazlarının tespiti için XRD cihazı ile elde edilen analizler Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'da verilmiştir. Her iki seramik harmanın pişirme sıcaklığının artışı ile anortit pikinin şiddetlerinin artarken, kuvars pikinin şiddetlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Anortit ve kuvars pik şiddetlerindeki benzer davranış Sousa tarafından poroz duvar karolarının (Ağ %70 kaolen %15 kireç taşı ve %15 kuvars karışımı seramik harman) 1080°C - 1160°C aralığındaki sinterlemesi çalışmasında rapor edilmiştir.



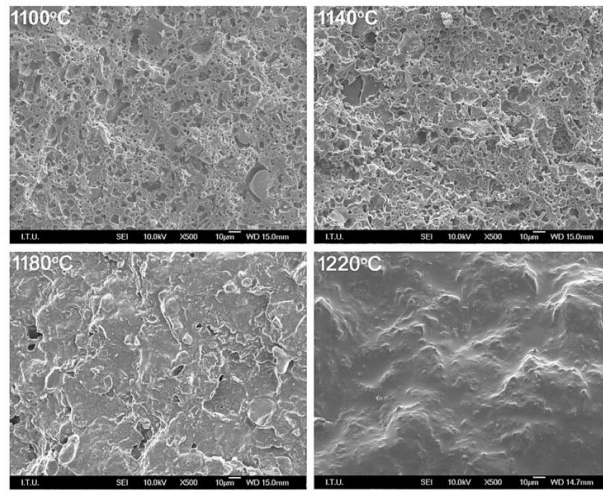
**Şekil 6.7:** Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkıli seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak XRD analizleri.



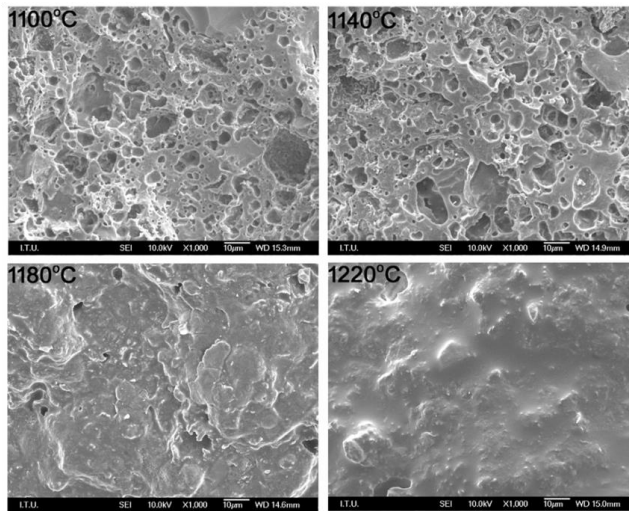
**Şekil 6.8:** Esan bentonit katkıli seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak XRD analizleri.

#### 6.4.2 SEM analizi değerlendirmesi

Şekil 6.10 ve 6.11’da 1100, 1140, 1180 ve 1220°C’lerde 40 dakika pişirilen Tokat Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünye numunelerdeki mikroyapısal değişimlere ait taramalı elektron mikroskobu sonuçları verilmiştir. Her iki seramik bünyeye ait numunelerde pişme sıcaklığının 1100°C’den 1220°C’ye çıkması durumunda porların belirgin şekilde ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Benzer bulgu, literatürde ağırlıkça % 70 Brezilya bentoniti içerikli duvar karosu çalışmasında 1080-1200 °C aralığında pişirilen numunelerde artan pişirme sıcaklıklarıyla porların kapanması ve azalmasıyla paralellik göstermektedir.



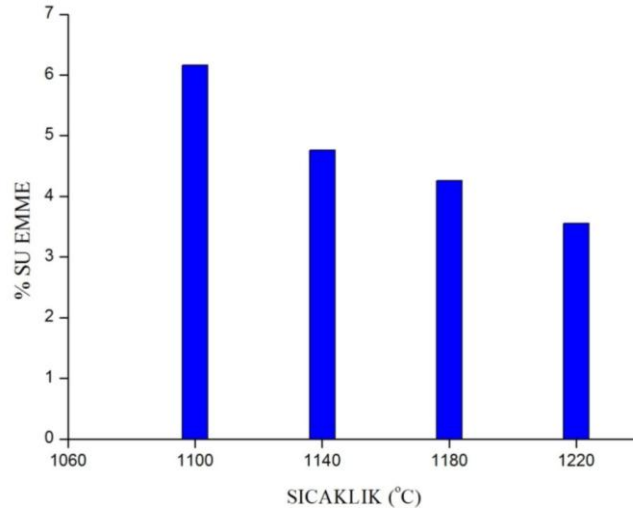
**Şekil 6.9 :** Tokat Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.



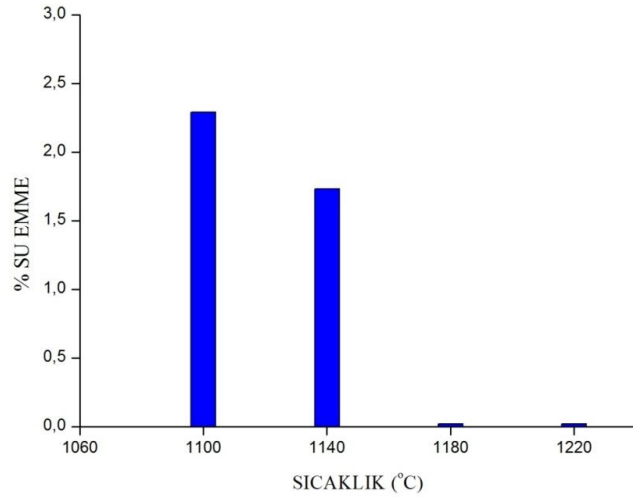
**Şekil 6.10 :** Esan bentonit katkılı seramik bünye numunelerin artan pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.

### 6.4.3 Su emme

1100, 1140, 1180 ve 1220°C'lerde 40 dakika pişirilen Tokat Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünye numunelerdeki su emme (%) değerleri Şekil 6.12'da ve Şekil 6.13' de verilmiştir. Şekil 6.12'dan görüldüğü gibi, pişirme sıcaklığının 1100°C den 1220°C'ye çıkması ile Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyede su emme % 6,16'dan % 3,55'e doğrusal bir azalma meydana gelmiştir. Esan bentonit katkılı seramik bünyede ise su emme % 2,29'dan % 0'a doğrusal bir azalma şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 6.13).



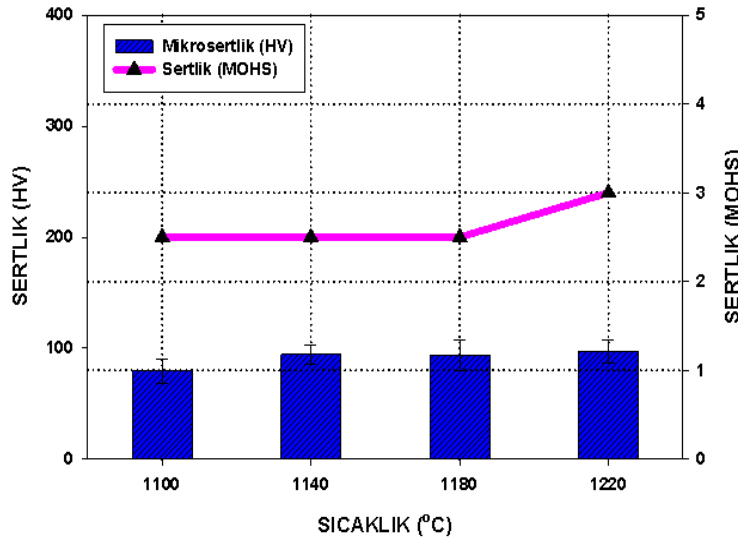
**Şekil 6.11 :** Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Tokat Reşadiye bentonit katkılı seramik bünyelerdeki % su emme özelliğindeki değişim.



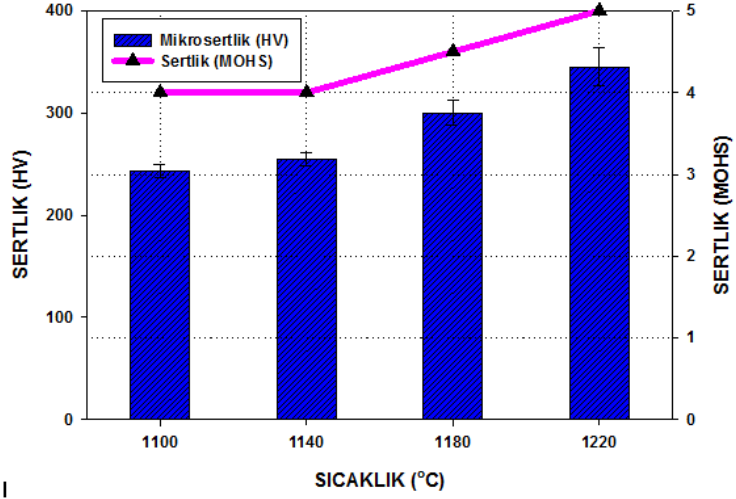
**Şekil 6.12:** Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Esan bentonit katkılı seramik bünyelerdeki % su emme özelliğindeki değişim.

#### 6.4.4 Sertlik

Tokat-Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkıli seramik bünyede (B1 - B2 harmanları) pişirme sıcaklığının sertlik ile değişiminin belirlenmesi amacıyla pişirilen silindirik numunelerde sıcaklığa bağlı olarak gözlenen sertlik değişimleri Vickers ve Mohs olarak Şekil 6.8’de verilmektedir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkıli seramik bünye silindirik numunelerinin pişirme sıcaklığının 1100°C’den 1220°C’ye çıkması durumunda sertlik değeri 79,36±10,68 HV ‘den 97,47± 10,29 HV’e artış göstermiştir. Esan bentonit katkıli seramik bünye silindirik numunelerinin sertlik değerlerinin 1100°C’de 243,03±6,70 HV olup sıcaklığın 1220°C ye çıkması durumunda 345,20±18,79 HV’ye artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ölçülen vickers sertlik değerleri, seramik bünyelerin sertlik karakterizasyonunda yaygın olarak kullanılan Mohs sertlik skalasına [90] dönüştürülerek Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’da verilmiştir. Literatürde döşemede kullanılan seramik karonun yüzey sertliğini göstermek amacıyla Mohs sertlik skalasının kullanıldığı ve karo gövdesinin sertliğinin 4 (Mohs) dan az olamayacağı ve normal çizilmelere karşı da yüzey sertliğinin 6 (Mohs) dan yüksek olması istenmektedir. İncelenen Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkıli seramik bünyelerde sertliğin en fazla 3 (Mohs), Esan bentonit katkıli bünyelerde ise en fazla 5 (Mohs)’a ulaşabildiği görülmüştür.



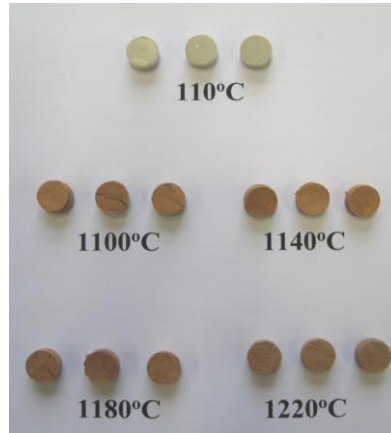
Şekil 6.13 :Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkıli seramik bünyedeki sertlik özelliğindeki değişim.



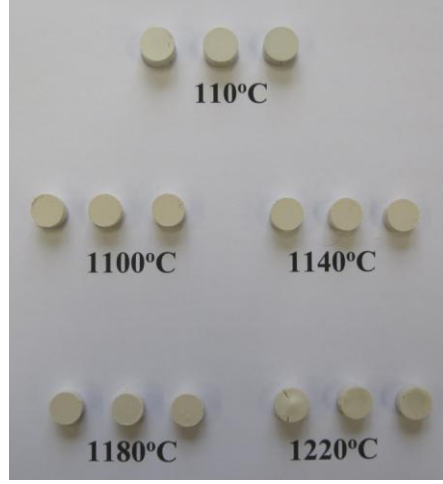
**Şekil 6.14 :** Pişirme sıcaklığına bağlı olarak Esan bentonit katkılı seramik bünyedeki sertlik özelliğindeki değişim.

#### 6.4.5 Sıcaklıkla renk değişimi

Tokat Reşadiye bölgesi ve Esan bentonit katkılı seramik bünyelerdeki renk değişimleri pişirme sıcaklıklarına bağlı olarak Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de verilmiştir. TSE 11136 [7] standardına göre seramik endüstrisinde kullanılacak bentonitte pişme rengi beyaz olarak istenmektedir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyeye ait silindirik numunelerin 1100°C den 1220°C ye pişirilmeleri sonucunda renk değişiminin açık kahve renginden koyu kahve rengine doğru olduğu tespit edilmiştir. Aynı koşullarda pişirilen Esan bentonit katkılı seramik bünyeye ait silindirik numunelerin renk değişiminin ihmal edilebilecek kadar az olduğu ve renk aralığının beyaz renkten kirli beyaz tonlarına hafif bir geçiş yaptığı görülmüştür.



**Şekil 6.15 :** Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünye silindirik tabletlerin pişirme sıcaklığına bağlı olarak renk değişimleri.



**Şekil 6.16 :** Esan bentonit katkılı seramik bünye silindirik tabletlerin pişirmesıcaklığına bağı olarak renk değışimleri.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tokat-Reşadiye bölgesine ait bentonit ve Esan bentonitinin seramik endüstrisindeki kullanılabilirliğinin ve optimum kullanım şartlarının belirlenmesi amacıyla standart bir seramik duvar karosu reçetesi (%61 kil-%24 kaolen-%6 kuvars-%9 kalsit) baz alınarak hazırlanan seramik bünyelerin karakterizasyonu ile elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

i. Tokat-Reşadiye bölgesi bentoniti orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösterirken, Esan bentoniti ise orijinal hacminin yaklaşık 34 katı şişme göstermiştir. Her iki bentonit numunesinin saat camı testi sonucunda şişerek, yıldızvari bölünme gösterdikleri tespit edilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi bentonitinin yoğunluğunun yaklaşık 2,55 (gr/cm<sup>3</sup>), Esan bentonitinin ise yaklaşık 2,51 (gr/cm<sup>3</sup>) olduğu ve pH değerlerinin Tokat Reşadiye bentoniti için 9, Esan bentonitinin 9,5 olduğu belirlenmiştir. TSE 11136 standardında seramik endüstrisinde kullanılan bentonitler için istenen pH değeri (en az 8) ile uyumlu olduğu görülmüştür.

ii. Orijinal hacminin yaklaşık 18 katı şişme gösteren Tokat Reşadiye bölgesi bentonit numunesinin plastisite değerinin de %143,52 ± 1,21 aralığında olduğu, Esan bentonit numunesinin plastisite değerinin ise %229,89±1,85 aralığında olduğu belirlenmiştir. Pişme küçülme değerinin Tokat Reşadiye bölgesi bentoniti için yaklaşık %-2 olduğu ve TSE 11136 standartında verilen max. pişme küçülmesi yüzdesi (%25) ile uyumlu olmadığı, hatta pişme küçülmesi yerine artan sıcaklık ile 1100°C'ye pişirilen bentonit tabletlerinin büyüme gösterdiği görülmüştür. Esan bentonit tabletleri için pişme küçülmesinin yaklaşık %1,77 olduğu ve seramik endüstrisinde kullanılan bentonitler için istenen TSE 11136 standartında verilen max. pişme küçülmesi yüzdesi (%25) içerisinde kalmış olup seramik endüstrisinde kullanımı uygun olduğu belirlenmiştir.

iii. TSE 11136 standardına göre seramik endüstrisinde kullanıma uygun olarak tanımlanan bentonitler için renk beyaz olarak tanımlanmıştır. İncelenen Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin 1100°C'de pişirilmesi sonrası ulaşılan renk kahve ve tonları şeklinde olduğundan seramik endüstrisinde kullanımı açısından uygun

olmadığı görülmüştür. Pişme rengi incelemesi yapılan Esan bentonitinin ise 1100°C 'de pişirilmesi sonrası beyaz ve beyaz tonlarında renk oluşumları gösterdiği, TSE 11136 standardına uygun olduğu görülmüştür.

iv. Kimyasal özellikleri açısından incelendiğinde Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin ağırlıkça %5,17 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ağırlıkça %20,40 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içermesinin, TSE11136 standardında belirtilen (en fazla %1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %14 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,30 TiO<sub>2</sub>), aralıklara uyumlu olmadığı tespit edilmiştir. İncelenen Esan bentonitinin TSE 11136 standardında belirtilen aralıklara uygun olduğu ( ağırlıkça %0,70 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %13 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,05 TiO<sub>2</sub>) görülmüştür.

v. TSE EN 14411 duvar karoları teknik özellikleri standardında su emme (%) yüzdesi ortalama %10 olarak belirtilmiştir. Tokat Reşadiye bölgesi bentoniti ile hazırlanan seramik bünyede 1140°C'de ortalama %4,26, Esan bentoniti katkılı seramik bünyede ise 1140°C'de ortalama % 1,73 olduğu ve değerlerin TSE EN 14411 standardının altında olduğu belirlenmiştir.

vi. İncelenen Tokat-Reşadiye bölgesi bentonit katkılı seramik bünyelerde sertliğin en fazla 3 (Mohs), Esan bentonit katkılı bünyelerde ise en fazla 5 (Mohs)'a ulaşabildiği ve literatürde istenilen sertlik değerinin altında olduğu görülmüştür.

vii. İncelenen her iki tip bentonit katkılı seramik bünyelerde artan pişirme sıcaklığı ile sertlik artışının, XRD analizi ile tespit edilen fazı oluşumları ve SEM analizi ile gözlemlenen porların küçülmesi ve kapanması sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

viii. TSE 11136 , TSE EN 14411 standartlarına göre Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin seramik endüstrisinde kullanımının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Tokat-Reşadiye bölgesi bentonitinin seramik endüstrisinde kullanılarak değerlendirilebilmesi amacıyla bentonit bünyesinde bulunan bileşenlerin ekonomiklik faktörü de dikkate alınarak, çeşitli proses süreçleri kapsamında geliştirilmesi ileride yapılabilecek olan çalışmalar için önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1]Grim,R.,E.(1968). Clay Mineralogy 2nd ed. McGraw-Hill,New York
- [2]İpekoğlu, İ. Kurşun (1997).Türkiye Bentonit Potansiyeline Genel Bir Bakış
- [3]TürkiyeSeramikFedarasyonu  
[http://www.serfed.com/content\\_files/dergi/seramikinalfabesi/04\\_Seramik\\_Nedir\\_Kac\\_Turlu\\_Seramik\\_Vardir.pdf7](http://www.serfed.com/content_files/dergi/seramikinalfabesi/04_Seramik_Nedir_Kac_Turlu_Seramik_Vardir.pdf7)
- [4]Gyözö, G. (1986). Anatolian Potery from İznik and Kütahya in Hungary in the 16th and 17th Centuries, 1. Uluslararası Türk Çini ve Seramik Kongresi, Kütahya, s. 143-148.
- [5]Atasoy, N., Raby, J.(1989). Türkiye’de Günümüze Gelen İznik Çinileri, İstanbul Üni. Sosyal Bilimler Ens. Yayını, s. 384.
- [6]Tatar, I., Ediz, N., Bentli.(2004). Diatomit Katkılı Çini Karo Bünye Üretimi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir Türkiye Sempozyum Kitabı, s. 313-317.
- [7]TSE (Türk Standardı),(1993). “Seramik Sanayinde Kullanılan”, TS 11136.
- [8]TSE (Türk Standardı),(1994). “Bentonit-Kağıt Sanayinde Kullanılan”, TSE EN 14411.
- [9]Yıldız, N.(2004). Süperkritik akışkan ortamında adsorbantların rejenerasyonu, BilimselArastırması Projesi Kesin Raporu, Ankara Üniversitesi, 13 Temmuz, Ankara.
- [10]Lagaly, G.(1986). Colloids, In Ullmann’s encyclopedia of industrial chemistry, VCHVerlagsgesellschaft, Weinheim, A7, 341–367, Almanya.
- [11]Grim, R.E.(1968). Clay Minerology, 2nd ed. McGraw-Hill, 596p., New York
- [12]Url-1 <<http://soils.agri.umn.edu.com>, >, 18 Haziran 2004
- [13]Url-2<<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/Montmorilloniteen.svg/800px-Montmorillonite-en.svg.png>, (ingilizce),>, 18 Haziran 2004
- [14]Çinkü, K.(1999).Yazır (Trakya) bentonitinin boya sanayinde kıvamlaştırıcı olarakkullanılmak üzere hazırlanması olanaklarının araştırılması,Y.Lisans Tezi, İ.Ü.,
- [15]Url-3 <[http://exclaim.org.uk/CP\\_Group.htm](http://exclaim.org.uk/CP_Group.htm), >, 12 Temmuz 2007.
- [16]Van Oss, C. J. ve Giese, R. F.(1995). The Hydrophilicity and Hydrophobicity of ClayMinerals, Clays and Clay Minerals, 43, 474 - 481,
- [17]Quirk, I.P. ve Marcelja, S.(1997). Application of Double-Layer Theories to the ExtensiveCrystalline Swelling of Li-Montmorillonite, Langmuir, 13, 6241 - 6248.

- [18]Hendricks, S. B. ve Jefferson, M.,E.(1938). Structures of kaolin and talc-pyrophyllitehydrates and their bearing on water sorption of the clays, AmericanMineralogist, 23, 863.
- [19]Fukushima, Y.(1984). X-Ray Diffraction Study Of Aqueous Montmorillonite EmulsionsClays and Clay Minerals, 32, 320 - 326.
- [20]Alemdar, A.(2001). Bentonit ve Montmorillonit Dispersiyonlarının Reolojik, Viskoelastik,Kolloidal Özellikleri Üzerine Organik ve İnorganik Tuzların Etkisi, DoktoraTezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21]Meier, L.,P.(1998). Organic Cations - Related Adsorption Behaviour of Surface ModifiedSmectites, Doktora Tezi, İsveç Teknoloji Enstitüsü, Zürich.
- [22]Parfitt, R.L. ve Greenland, D.J.(1970). The Adsorption Of Poly(Ethylene Glycols) On Clay Minerals, Clay Minerals, 8, 305 - 315,
- [23]Deraj, R.N., ve Guy, R.D.(1981). Interactions of Some Large Organic Cations withBentonite in Dilute Aqueous Systems, Clays and Clay Minerals, 29, 205 - 212.
- [24]Kozak, M., Domka, L. ve Skrzypczak, A.(2002). Adsorption of the quaternary ammoniumsalts on bentonite, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 36, 299-306.
- [25]Akin, Y. ve Çelik, M.S.(1995). Montmorillonit Tipi Killerin Elektromekanik Davranışı,Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu 95, 135-142, İzmir.
- [26]Yıldız, N.(1997). Kütahya Bentonitinin Soda Aktivasyonu, Doktora Tezi,Ankara üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [27]Yong, B.N. and Warketin, B.P.(1975). Soil properties and behaviours.Elsevier,NewYork.
- [28]Chiu,Y.C.,Huang,L.N.,Uang,C.M. and Huang J.F.(1990).Determination of cation Exchance capacity of clay minerals by potentiometric titration using divalent cation electrodes.colloid and surfaces,46:327-337
- [29]Toydemir, N.(1991). Seramik Yapı Malzemeleri.İTÜ,İstanbul.
- [30]Gregg,S.,J. and Sing, K.S.W.(1982). Adsorption Surface area and Porosity. 2nd ed. Academic Press. London.
- [31]Avcı, S. B.(2005). Çankırı Kalecik bölgesi bentonitlerinden endüstriyel ürün üretimi,Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Bölümü, İTÜ, İstanbul.
- [32]Çetinel, T.(2008). Ara ve Ca Bentonitlerinin soda ve MgO ile aktivasyonu,Doktora Tezi,Dumlupınar Üniversitesi,Kütahya
- [33]Orhun, F.(2006), Lalapaşa (Edirne) Bentonitlerinin Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi ve Rutubet Kontrolünde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34]Bloodworth A.J., Highley D.E., Inglethorpe, S.D., Morgen D. J. (1993), Industrial Minerals Laboratory Manual Bentonite, British Geological Survey

- [35]Olphen, H. V., Fripiat, J. J.(1979). Data Handbook For Clay Matereials, Other Non-Metallic Minerals, *Pergamon Press*, s. 127-152.
- [36]O'Driscoll, M.(1988). Bentonite, Overcapacity In Need Of Markets, *Industrial Minerals*, s. 43-67.
- [37]Akbulut, A.(1996). Bentonit, MTA eğitim serisi no:32, Ankara,.
- [38]Erdoğan, Ş. Ş.(1976).Bentonitlerin Metalurjideki Uygulanmaları Yönünden Araştırılmasıve Reşadiye Bentonitlerinin Bu Açıdan İncelenmesi”, Doktora tezi, İTÜ Maden FakültesiOfset Baskı atölyesi, İstanbul.
- [39]Gücer, D.(1992).Türkiye ticari bentonit killerin özelliikleri ve kullanım alanlarınınıntespiti, TÜBİTAK-MAM,.
- [40]Jones, K.,G.(1979). “Iron ore pelletisation”, *Industrial minerals*, no:138, 61-74p,.
- [41]TSE (Türk Standardı), (1996). Döküm Bentoniti , TS 5360.
- [42]Güngör, N.(1981) . Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişibilenkatyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi, Doktora tezi, İ.Ü.
- [43]Malayoğlu U., Akar, A. (1995). Killerin sınıflandırılmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi , Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,Köse ve Kızıl, İzmir-Türkiye, pp. 125-132.
- [44]TSE (Türk Standardı), “Bentonit-Sondaj İşleminde Kullanılan”, TS 977.
- [45]Uz, B.(1990). Bentonit, Mineraller, *Kristalografi-Mineraloji*, 413-415
- [46]Bailey A.,E.(1963). Refining and bleaching , Bailey’s industrial oil and fat products,.
- [47]Bensan A.Ş.,(1996) .Ağartma toprağı , Ürün kataloğu, İstanbul,.
- [48]Christidis G.E., Kosiari, S.(2003).Decolorization of vegetable oils: A study of themechanism of adsorption of  $\beta$ -carotene by an acid-activated bentonite from Cyprus,*Clays and Clay Minerals* 51, 327–333.
- [49]Çelik, K., Denli, M., Ersoy, İ.E.(2003).Yem mikotoksinleriyle savaşımında killerin vedeğişik adsorbanların kullanımı, XI. Ulusal Kil Sempozyumu .
- [50]Pasin, G., Acar, J.(1985) .Kilin gıda endüstrisinde kullanım alanları , II. Ulusal KilSempozyumu,.
- [51]Robertson, R.H.S.(1986).Fuller’s Earth — a History of Calcium Montmorillonite ,*Mineralogical Sociery*, Occasional publication, Volturna Press, 412 pages
- [52]Sarıkaya, Y., Önal, M., Alemdaroğlu, T., Noyan, H.(2001).Bir Bentonitin KatyonDeğiştirme Kapasitesi ile Şişmesi Arasındaki İlişki”, 10. Ulusal Kil Sempozyumu, Konyapp. 27-38.
- [53]TSE (Türk Standardı), (1992).Bentonit-İlaç ve Kozmetik Üretiminde Kullanılan,TS10252.

- [54]Grim R.,E., Gwen, N.(1978). Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses”,Developments in Sedimentology 24, Elsevier Publishing Company, New York, 256pages.
- [55]Rheox, (1997). Rheology handbook, Catalogue,
- [56]Süd, C.(1996).What is bentonite, Catalogue, München, Germany,.
- [57]Ali, Z.(1996).Detoxification of aflatoxin B1 in brolier diet by using adsorptive propertyof HI-MAX BS7 and its effect on growthtrait, Ravi feed industries catalogue, Pakistan,
- [58]Jalil, H., Rehman, A., Jehangir, M.(1996). Study on the effect of sodium bentonitesupplementation on the performance of the brolier chicks, Poultry research enstitute,Shamasabad-Pakistan,.
- [59]Saeed, A. (1996).Bentonite in Animal Feed, A Living Mineral, Industrial Minerals,No:346, p.47-51,.
- [60]Demirel H. Ve diğ.(1995). Bentonit ve diğer killerin absorbant olarak kullanımı,Endüstriyel hammaddeler sezpozuyumu, İzmir,.
- [61]O’ Driscoll, M. (1992). European Cat Litter; Absorbing Market Growth, IndustrialMinerals, No:298, p.46-65,.
- [62]Santaren, J.(1993).European market developments for for absorbent clays, IndustrialMinerals, No:393, p.35-50,.
- [63]Kendall, J. (1996). Desiccant clay, Industrial Minerals, May,.
- [64]Güner, Y.(1987). ‘Seramik’, İstanbul, s. 82-97, 144-161.
- [65]Arcasoy, A.(1988). ‘Seramik Teknolojisi’, Marmara Üniv. Güzel Sanatlar Fak., İstanbul, Yayın No. 457-2, s. 110-140.
- [66]T.B.T.A.K.(1977). Marmara Bilimsel Ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, ‘Türkiye’deki Ticari Bentonit Killerinin Özellikleri, Kullanış Alanlarının Tesbiti’, Araştırma Projesi.
- [67]Engelthaler, Z., Lostak, A., Duchek, P., Kacin, J., Petr, J., Müller, J., Chodda, Z.(1987). ‘Integrated Utilization Of Bentonites’, Vienna, s. 62-65.
- [68]Anonymous.(1991). ‘Ceramics And Glasses’, Engineered Materials Handbook, ASM International, USA, Vol.4, s. 260-268.
- [69]Kingeru, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R.(1976). ‘Introduction To Ceramics’, U.S.A., s. 78-79, 474-497.
- [70]Reed, J.S.(1989).‘Introduction To The Princible Of Ceramic Processing’, John Wiley And Sons., Singapore.
- [71]Budnikov, P.P.(1964). ‘The Technology Of Ceramics And Reractories’, The M.I.T. Press, U.S.A., s.502-507.
- [72]Kökden, M., Özgen, S.(1994).‘Porselen Reçetesi Geliştirme Çalışmaları’, II. Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt-1. Geleneksel Seramikler, İstanbul, s.327.
- [73]Robinson, P.(1994). A Look At Vitrification, II. Uluslararası Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt-1. Geleneksel Seramikler, İstanbul, s. 32.

- [74]Sümer, G.(1993). ‘Seramik Fırınları’, Seramik Sırları Semineri, Bildiriler Kitapçığı, Türk Seramik Derneği Yayınları, No.7, Eskişehir, s. 178-183,s.429
- [75]Rösler, H.J.(1991). Lehrbuch Der Mineralogie, 428-430 p.
- [76]Bozdoğan, I.(1985). Seramik Sanayi Hammadde Sorunları, Çözüm Önerileri, SeramikTeknik Kongresi Bildiriler Kitabı, TMMOB, Kimya ve Metalurji Mühendisliği Odaları,Ankara, 82-88 s.
- [77]Rado, D.,(1988). An Intorduction to the Technology of Pottery, Formerly ResearchManager Worcester Royal Porcelain Company Ltd. Worcester Uk., 7-11p.
- [78]Tanısan, H.H. & Mete, Z.(1988). Seramik Teknolojisi ve Uygulaması , Söğüt, 7-22 s.
- [79]Yeniyol, M.(2004). Mineraloji, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü,İstanbul, 324 s.
- [80]Akkoyuncu, H.(1994). Porselen Hammaddelerinin Zenginleştirilmesi, AnadoluÜniversitesi Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı Cevher Hazırlama Bilim Dalı YüksekLisans Tezi, Eskisehir, 3-31 s.
- [81]Dogan, S.(1985), Seramik Teknolojisi, İstanbul, 24-25 s.
- [82]Knopf, A.A.(1985). The Auduban Society Field Guide to North American Rocks andMinerals, Chanticleer Pres, New-York, 501-506 p.
- [83]Aktürk, A. & Ergül, H.(1978). Endüstriyel Hammaddeler Jeolojisi, jeoloji Etütleri DairesiKitaplığı No:91, Diyarbakır, 25-50 s.
- [84]Gök, S.(1983). Kil Mineralleri ve Killerin Jeolojisi ve Uygulamaları, 1-48 s.
- [85]Zim, H.S. & Shaffer, P.(1971). Roches et Minerauxs, Edite Par Hachette-Paru, 76-80p.
- [86]Materials Handbook for Refractories Traditional and AdvancedCeramics(1990). Ceramic Industry, 48-103 p.
- [87]Akbas, M.(2002). Eczacıbaşı Duvar Karo Bünyesinin İyileştirilmesi ve Uygun SırÇalışmaları, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği AnaBilim Dalı, Kütahya, 128 s.
- [88]Çelik, M.& Karakaya, N.(1998). Sistematik Mineraloji, Konya, 380 s.
- [89]Töre, İ. & Ay, N.(2002). Seramikte Bor, Balıkesir Üniversitesi BorSempozyumu, Balıkesir-Türkiye, 53 s.
- [90]Polat, M.(1987). Türkiye’de ve Dünyada Bor ve Bor Teknolojisi UygulamalarınınArastırılması, Arastırma Raporları, İzmir, 1-4 s
- [91]Uz, V.(1999). Sivrihisar Yenidogan (Eskisehir) Sepiyolitleri Kullanarak İnce Karo İmalat Olanaklarının Arastırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya, 109 s.
- [92]Kibici, Y.(2002). Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri, Afyon KocatepeÜniversitesi, Afyon, 33-80 s.

- [93] Cengiz, Ö., Kara, A.(2009). ‘Tek Pişirim Duvar Karosu Bünyelerinde Borik Asit İlavesinin Sinterleme Davranışına Etkileri’, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Aralık özel sayısı, s.29-35.
- [94] Goble, R.J., Scott, S.D.(1985). ‘The Relationship Between Mineral Hardness and Compressibility (or Bulk Modulus)’, Canadian Mineralogist, Vol. 23, s. 273-285.
- [95] Karademir, S., Gülen, J.(2011). ‘Kil Minerallerine Genel Bir Bakış’, Kimyasal Forum, s. 21-31.
- [96] Anonymous,(2014). [http:// duratiles.com.tr/pdf/Yüzey-Sertligi-MOHS.pdf](http://duratiles.com.tr/pdf/Yüzey-Sertligi-MOHS.pdf)



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı**

:Büşra ÇETİN

**Doğum Yeri ve Tarihi**

: İstanbul / 18.11.1988

**E-posta**

: bsrgrss@gmail.com

**Lisans**

:Trakya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü,  
2011

**Yüksek Lisans**

:İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.,  
Malzeme Mühendisliği Bölümü, 2015

