

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**83093**

**TUĞLA YAPIMINDA KULLANILAN KİL HAMMADDELERİNİN  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Maden Müh. Murat MÜDÜROĞLU**  
**505970094011**

**83093**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 3 Mart 1999**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Mart 1999**

**Tez Danışmanı: Prof.Dr Suna ATAK**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet Sabri ÇELİK (İ.T.Ü.)**  
**Prof.Dr. Bedri İPEKOĞLU (İ.Ü.)**

*Suna Atak*  
*M. Sabri Çelik*  
*Bedri İpekoğlu*

**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU**  
**DOKÜMANİSTLER BÜROSÜ**

**MART 1999**

## ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu proje, titiz ve özverili bir çalışmanın eseri olup, başta kendim olmak üzere, konuyla ilgilenenleri tümüyle bilgilendirecek bir şekilde hazırlanmıştır.

Yorucu laboratuvar günlerime rağmen çalışmalarımı tümüyle zevkli ve verimli kılan, öğrenmek istediğim bir konuyu araştırmış olmamdır. Bu noktada tezimin danışmanlığını yapan, çalışmalarımı bilgi ve tecrübeleriyle destekleyen hocam Cevher ve Kömür Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Suna Atak'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca proje konumu belirlememde yardımcı olan ve hiçbir konuda yardım ve desteğini esirgemeyen hocam Prof. Dr. M. Sabri Çelik'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaya mekaniği laboratuvarı imkanlarından yararlanmamı sağlayan Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Nuh Bilgin'e, çalışmalarım sırasında sürekli yardımına başvurduğum Dr. Sebahattin Gürmen'e ve Metalurji Yük. Müh. Turan Tanbaş'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımda her türlü imkanı sağlayan ve termik analiz çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş. yetkilisi Maden Müh. Adnan Altaş'a ve Laboratuvar teknik elemanlarına şükranlarımı sunarım.

Bütün öğrenim hayatım boyunca bana karşı hiçbir özveriden kaçınmayan aileme de ayrıca teşekkür ederim.

Ocak, 1999

Murat MÜDÜROĞLU

## İÇİNDEKİLER

|                                                           |             |
|-----------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                      | <b>VI</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                      | <b>viii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                               | <b>xi</b>   |
| <b>SUMMARY</b>                                            | <b>xiii</b> |
| <br>                                                      |             |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                           | <b>1</b>    |
| <br>                                                      |             |
| <b>2. KİL HAMMADDESİNİN TANIMLANMASI</b>                  | <b>2</b>    |
| 2.1. Kil Mineralleri                                      | 2           |
| 2.1.1. Allofan Grubu Kil Mineralleri                      | 6           |
| 2.1.2. Kaolinit Grubu Kil Mineralleri                     | 6           |
| 2.1.3. Halloysit Mineralleri                              | 6           |
| 2.1.4. Smektit Grubu Mineralleri                          | 7           |
| 2.1.5. İllit Mineralleri                                  | 7           |
| 2.1.6. Vermikülit Mineralleri                             | 8           |
| 2.1.7. Klorit Mineraller                                  | 8           |
| 2.1.8. Sepiyolit-Paligorskit-Attapulgit Mineralleri       | 8           |
| 2.2. Killerin Sınıflandırılması                           | 9           |
| 2.2.1. Bulundukları Yere ve Yataklarına Göre              | 9           |
| 2.2.2. Ateşe Dayanıklılıklarına Göre                      | 9           |
| 2.2.3. Adi Kil Cinsleri                                   | 10          |
| 2.2.4. Özel Kil Cinsleri                                  | 10          |
| 2.3. Killerin Mineralojik İncelenmesi                     | 14          |
| 2.3.1. X-Işınları Kırınım Tekniği (XRD:X-Ray Diffraction) | 15          |
| 2.3.2. Termik Analiz Tekniği                              | 15          |
| 2.4. Killerin Fiziksel Özellikleri                        | 18          |
| 2.4.1. Plastiklik                                         | 18          |
| 2.4.2. Yağlılık ve Yağsızlık                              | 18          |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3. Kuruma ve Küçülme                                             | 19        |
| 2.4.4. Kuru Mukavemet                                                | 20        |
| 2.4.5. Pişme Rengi ve Ateş Kaybı                                     | 20        |
| 2.4.6. Tuğla Üretimindeki Uygulamalar ve Standartları                | 20        |
| <b>3. KİL HAMMADDELERİNİN ISIL DAVRANIŞLARI</b>                      | <b>22</b> |
| 3.1. Kurutma Mekanizması                                             | 22        |
| 3.2. Pişirme Sırasında Meydana Gelen Olaylar                         | 24        |
| 3.2.1. Suyun uzaklaştırılması                                        | 24        |
| 3.2.2. Oksitlenme ve Bozunma Reaksiyonları                           | 25        |
| 3.2.3. Kilin Isıl Davranışı                                          | 28        |
| 3.2.4. Feldspatların Isıl Davranışları                               | 29        |
| 3.2.5. Kuvarsın Isıl Davranışı                                       | 29        |
| <b>4. KİL HAMMADDELERİNİN YAPISINA GENEL BAKIŞ</b>                   | <b>31</b> |
| 4.1. Özgül Ağırlık ve Hacim Ağırlığı Kavramı                         | 32        |
| 4.2. Kil Hammaddelerinde Tane Boyutu Dağılımı ve Paketleme Yoğunluğu | 34        |
| 4.2.1. Küresel Tanelerin Paketlenmeleri                              | 34        |
| 4.2.2. Pratikte Elde Edilen Sonuçlar                                 | 41        |
| 4.2.3. İşletmede Alınacak Önlemlerin Poroziteye Etkisi               | 43        |
| <b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                                        | <b>47</b> |
| 5.1. Deneylere Esas Olan Numunelerin Özellikleri                     | 47        |
| 5.2. Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi                            | 47        |
| 5.3. Mineralojik Özelliklerinin İncelenmesi                          | 50        |
| 5.3.1. X-Işınları İncelemesi                                         | 50        |
| 5.3.2. Diferansiyel Termik Analiz ve Dilatometre İncelemeleri        | 51        |
| 5.3.3. Mikroskobik İncelemeler                                       | 62        |
| 5.4. Fiziksel Özelliklerin İncelenmesi                               | 62        |
| 5.4.1. Elek Analizi                                                  | 62        |
| 5.4.2. Plastisite Deneyi                                             | 65        |
| 5.4.3. Küçülme Değerlerinin Bulunması                                | 67        |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 5.4.4. Mukavemetlerin Bulunması         | 68  |
| 5.4.5. Su Emme Miktarlarının Bulunması  | 71  |
| 5.5. Uygun Kil Karışımının Bulunması    | 72  |
| 5.6. Hacim Ağırlığı ve Mukavemet Tayini | 79  |
| 5.6.1. Hacim Ağırlığı Tayini            | 81  |
| 5.6.2. Soğukta Basma Mukavemeti Tayini  | 84  |
| <br>                                    |     |
| 6. SONUÇLAR                             | 87  |
| KAYNAKLAR                               | 90  |
| EKLER                                   | 93  |
| ÖZGEÇMİŞ                                | 101 |



## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1.</b> GRIM R.E.'ye Göre Killerin Sınıflandırılması .....                                                                                                           | 4               |
| <b>Tablo 2.2.</b> Degans'a Göre Kil Minerallerinin Sınıflandırılması .....                                                                                                     | 5               |
| <b>Tablo 2.3.</b> Killerin Sınıflandırılması ve Adlandırılması .....                                                                                                           | 11              |
| <b>Tablo 3.1.</b> Isıya Bağlı Olarak Kuvars Dönüşümleri .....                                                                                                                  | 30              |
| <b>Tablo 4.1.</b> Değişen Kordinasyon Sayısına Bağlı Olarak Tek Tip Tanelerin<br>Paketlenmesinde Oluşan Boşlukların Büyüklüğü.....                                             | 35              |
| <b>Tablo 4.2.</b> $R_1/R_2 \approx 50$ olan 2 farklı Tür Bilyadan Oluşan Karışımlarda En<br>Sıkı Şekilde Paketlenmiş Yapının Karışım Oranları ve En<br>Düşük Poroziteler ..... | 36              |
| <b>Tablo 5.1.</b> Deneylerde Kullanılan Kil Numunelerinin Kimyasal Analiz<br>Sonuçları .....                                                                                   | 47              |
| <b>Tablo 5.2.</b> X-Işını Difraksiyonu Sonucu Kil Numunelerinde Saptanan<br>Mineraller Diferansiyel Termik Analiz (DTA) Eğrileri .....                                         | 50              |
| <b>Tablo 5.3.</b> Kil Numunelerinin DTA Eğrilerinde Görülen Pikler ve Pik<br>Aralıkları .....                                                                                  | 52              |
| <b>Tablo 5.4.</b> Deneylere Esas Olan Numunelerin Boyut Dağılım Sonuçları .....                                                                                                | 63              |
| <b>Tablo 5.5.</b> Kil Numunelerinin Kuruma ve Pişme Küçülmeleri .....                                                                                                          | 68              |
| <b>Tablo 5.6.</b> Kil Numunelerinin Kuru ve Pişmiş Mukavemetleri .....                                                                                                         | 71              |
| <b>Tablo 5.7.</b> Kil Numunelerinin Su Emme ve Pişme Küçülmesi Değerleri .....                                                                                                 | 72              |
| <b>Tablo 5.8.</b> Deneylerde Kullanılan Hammadde Kombinasyonları .....                                                                                                         | 75              |
| <b>Tablo 5.9.</b> İncelenen Hammadde Kombinasyonlarının Sonuçları .....                                                                                                        | 76              |
| <b>Tablo 5.10.</b> Andreasen Denklemine Göre Hazırlanan Karışımlar .....                                                                                                       | 80              |
| <b>Tablo 5.11.</b> A ve B Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri .....                                                                                                          | 80              |
| <b>Tablo 5.12.</b> C ve D Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri .....                                                                                                          | 81              |
| <b>Tablo 5.13.</b> Deneme Tuğlalarının Preslenmiş, Sinterlenmiş Hacim Ağırlıkları .....                                                                                        | 83              |
| <b>Tablo 5.14.</b> Sinterlenmiş Numunelerin n Değerine Bağlı Olarak Soğukta<br>Basma Mukavemeti Değerleri .....                                                                | 86              |

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tablo 5.15. TS'ye Göre Fabrika Tuğlalarının Hacim Ağırlığı ve Basınç</b>    |            |
| Dayanımı Değerleri .....                                                       | 98         |
| <b>Tablo 5.16. TS'de Boyutlarına Göre Fabrika Tuğlası Sınıfları .....</b>      | <b>99</b>  |
| <b>Tablo 5.17. TS'ye Göre Tuğla Gerçek Boyutlarında Kabul Edilebilecek</b>     |            |
| Sınır Değerler .....                                                           | 99         |
| <b>Tablo 5.18. ASTM Standartlarına Göre Fiziksel Özellikler .....</b>          | <b>100</b> |
| <b>Tablo 5.19. ASTM Standartlarında Kabul Edilebilir Tuğla Boyutları .....</b> | <b>100</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                   | <u>Sayfa No</u>                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 2.1         | :Kil Minerallerinin Farklı İki Temel Yapıtaşı .....3                                                                                                                                                                |
| Şekil 2.2         | :Kaolinitin Kafes Yapısının Şematik Şekli .....3                                                                                                                                                                    |
| Şekil 3.1         | :Kilin Kuruma Mekanizması .....22                                                                                                                                                                                   |
| Şekil 3.2         | :Kuarsın Isıl Genleşme Reaksiyonları .....30                                                                                                                                                                        |
| Şekil 4.1         | :Kil Hammaddelerinde Görülen Por Şekilleri .....31                                                                                                                                                                  |
| Şekil 4.2. a-b-c: | Küresel Tanelerin Paketlenmesinde Oluşan Boş Hacimler .....35                                                                                                                                                       |
| Şekil 4.3         | : $R_1/R_2 \approx 50$ Olan 2 Bileşenli Karışımlarda Karışım Oranının<br>Fonksiyonu Olarak Porozite Değişimi .....37                                                                                                |
| Şekil 4.4         | : $R_1 \geq R_2 \geq R_3$ Boyut İlişkisine Sahip 3'lü Karışım<br>Oranlarının Fonksiyonu Olarak Porozite Değerleri.....38                                                                                            |
| Şekil 4.5         | :Sıkı Paketlenme İçin Toplam Tane Boyut Dağılımı Eğrisi .....39                                                                                                                                                     |
| Şekil 4.6         | :Fuller Eğrisi .....40                                                                                                                                                                                              |
| Şekil 4.7         | :Sıkı Bir Bilya Paketlenmesinin Oluşumu .....40                                                                                                                                                                     |
| Şekil 4.8         | :Farklı $q$ Değerlerine Sahip Flint Karışımlarının Porozite<br>Değişimi .....41                                                                                                                                     |
| Şekil 4.9         | : ——— Şamotun Litre Ağırlığı ——— Malzemenin<br>Görünür Porozitesi. Değişik Tane Karışımlarının Dolum<br>Ağırlıkları ve Bunlardan % 20 Bağlayıcı Kil İlavesiyle<br>Üretilmiş Tuğlaların Görünür Poroziteleri .....42 |
| Şekil 4.10        | :Sıkı Paketlenmiş Yapının,<br>1. Şamot karışımı için,<br>2. Beton katkıları için, tane boyut dağılımı .....42                                                                                                       |
| Şekil 4.11        | :Alümina-Silisli Refrakter Bir Malzemenin $\chi = 4750 \mu m$ İçin<br>Hesaplanan Andreasen Limitleri ..... 45                                                                                                       |
| Şekil 4.12        | :Farklı S/L Oranlarının Yapıdaki Poroziteye Etkisi .....46                                                                                                                                                          |
| Şekil 4.13        | :Tane Boyutu (Eşdeğer Küresel Çap) .....46                                                                                                                                                                          |
| Şekil 5.1         | :Kil Numunelerinin $SiO_2/Al_2O_3$ Oranları .....48                                                                                                                                                                 |

|                   |                                                                                                                             |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 5.2</b>  | :“NETZSCH Geratebau GmbH Model 404” Markalı DTA Cihazı .....                                                                | 53 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | :“NETZSCH Dilatomer Model 402 E” Markalı Dilatomer Cihazı .....                                                             | 53 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | :1 Nolu Kilin DTA Eğrisi .....                                                                                              | 54 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | :1 Nolu Kilin Dilatometre Eğrisi .....                                                                                      | 55 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | :2 Nolu Kilin DTA Eğrisi .....                                                                                              | 57 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | :2 Nolu Kilin Dilatometre Eğrisi .....                                                                                      | 58 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | :3 Nolu Kilin DTA Eğrisi .....                                                                                              | 60 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | :3 Nolu Kilin Dilatometre Eğrisi .....                                                                                      | 61 |
| <b>Şekil 5.10</b> | :1 Nolu Kilin Elek Altı Eğrisi .....                                                                                        | 63 |
| <b>Şekil 5.11</b> | :2 Nolu Kilin Elek Altı Eğrisi .....                                                                                        | 64 |
| <b>Şekil 5.12</b> | :3 Nolu Kilin Elek Altı Eğrisi .....                                                                                        | 64 |
| <b>Şekil 5.13</b> | :1 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği .....                                                            | 65 |
| <b>Şekil 5.14</b> | :2 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği .....                                                            | 66 |
| <b>Şekil 5.15</b> | :3 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği .....                                                            | 66 |
| <b>Şekil 5.16</b> | :“Netsch 401 Bending Strength Tester” Model Mukavemet Ölçme Cihazı .....                                                    | 70 |
| <b>Şekil 5.17</b> | :Kuruma Hızı-% Rutubet Değişimi Grafiği .....                                                                               | 73 |
| <b>Şekil 5.18</b> | :Tipik Bir BİGOT Eğrisi .....                                                                                               | 74 |
| <b>Şekil 5.19</b> | :I Nolu Karışımının BİGOT Eğrisi .....                                                                                      | 77 |
| <b>Şekil 5.20</b> | :X Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi .....                                                                                        | 78 |
| <b>Şekil 5.21</b> | :XIII Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi .....                                                                                     | 78 |
| <b>Şekil 5.22</b> | :XIV Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi .....                                                                                      | 79 |
| <b>Şekil 5.23</b> | :n İle Karakterize Edilen Tane Boyut Dağılımıyla Preslenmiş Numunelerin Hacim Ağırlığı (Paketleme Yoğunluğu) Değişimi ..... | 83 |
| <b>Şekil 5.24</b> | :n İle Karakterize Edilen Tane Boyut Dağılımıyla Sinterlenmiş Numunelerin Hacim Ağırlığı Değişimi .....                     | 84 |
| <b>Şekil 5.25</b> | :Soğukta Basma Mukavemeti Deneyinden Sonra Başlangıçta Silindirik Olan Numunenin Tipik Konik Kırılma Şekli.....             | 85 |

**Şekil 5.26** :Sinterlenmiş Numunelerin Hacim Ağırlıklarına Göre Soğukta  
Basma Mukavemeti Değerleri .....86



## ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Tekirdağ-Hayrabolu bölgesinden elde edilen kil numunelerinin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyerek optimum özellikleri sağlayan tuğlayı üretmek olmuştur. Bu amaçla deneysel çalışmalar üç bölümde gerçekleştirilmiştir. Birinci bölüm, deneylerde kullanılan kil numunelerini tanımlamak amacıyla yapılan mineralojik, fiziksel ve kimyasal araştırmalar ile sonuçlarını içermektedir. İkinci bölümde, tanımlanan kil numuneleriyle değişik oranlarda karışımlar yapılarak, uygun kil bileşiminde optimum özellikleri sağlayan tuğla yapımı hedeflenmiştir. Son bölümde ise belirlenen optimum kil karışımına bağlı kalınarak boyut dağılımı çalışmaları yapılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde numuneler ile yapılan kimyasal analiz sonucunda, numunelerin saf kaolinit olmayıp, kil ve kuvars karışımı oldukları belirlenmiştir. Yine kil numuneleri üzerinde yapılan X-ışınları, DTA, dilatometre ve mikroskobik incelemeler sonucunda, killerin mineralojik açıdan birbirine çok benzer olduğu ortaya çıkmıştır. İncelemede, numunelerde yüksek miktarlarda karbon ve silis, bununla birlikte montmorillonit, kalsit, illit mineralleri ve mika tespit edilmiştir.

Killerin fiziksel özellikleri incelendiğinde, 1 nolu kilin plastikliğinin yüksek, 2 ve 3 nolu kilin ise daha düşük olduğu saptanmıştır. Buna bağlı olarak en fazla büzülen 1 nolu kil olmuştur. Pişme küçülmeleri ise önemsizdir. Eğme mukavemetleri incelendiğinde, her üç kilin mukavemet değerleri de standartların üzerindedir (124,0 kg/cm<sup>2</sup>, 69,12 kg/cm<sup>2</sup>, 101,95 kg/cm<sup>2</sup>). Kil numunelerinin su emme değerleri ise sırasıyla %14,22, %19,80 ve %21,10 olarak bulunmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, birinci bölümde tanımlanmaya çalışılan üç kil numunesinden değişik oranlarda karışımlar yapılarak, uygun kil bileşiminde optimum özellikleri sağlayan tuğla tespit edilmiştir. Yapılan her bir karışımın tüm fiziksel özellikleri (plastisite, kuruma ve pişme küçülmesi, kuru ve pişmiş mukavemet, su emme) tespit edilerek bir optimum tuğla karışımı bulunmuştur.

Buna göre optimum tuğla bileşiminde %50 1 nolu, %10 2 nolu, %40 3 nolu kil bulunmaktadır.

Fiziksel özellikleri ise şöyledir; plastisite %31,0 , kuruma küçülmesi %5,04 , pişme küçülmesi %0,1 , kuru mukavemet 98,2 kg/cm<sup>2</sup>, pişmiş mukavemet 193,8 kg/cm<sup>2</sup>, su emme oranı %22,91'dir.

Çalışmanın son bölümünde optimum kil karışımına (%50 1 nolu, %10 2 nolu, %40 3 nolu kil) bağlı kalınarak boyut dağılımı çalışmaları yapılmıştır. Burada tane boyutu dağılımını karakterize etmek amacıyla Andreasen denklemindeki n değeri kullanılmıştır ( $y = 100[ x/\chi ]^n$ ). n değerine bağlı olarak boyutları belirlenen karışımlarla yapılan tuğlaların paketleme yoğunlukları, hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri belirlenmiştir. Boyut dağılımları belirlenen tuğlalar (A,B,C,D) ile boyut dağılımı ayarlanmamış tuğla (E) kıyaslanmıştır. Burada n değeri küçüldükçe, malzemedeki ince boyutlu malzeme miktarı artmaktadır. Tuğlaların paketleme yoğunluklarına bakıldığında, n değeri büyüdükçe yoğunluk azalmaktadır. Sinterlenmiş tuğlaların hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri incelendiğinde, A, B, C, D tuğlalarının hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetlerinin E tuğlasına göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, boyut dağılımı çalışması yapılarak tuğlada bulunan ince malzeme miktarı arttırılmıştır. Bu sayede yapıdaki boşlukların daha iyi dolması sağlanarak sıkı bir yapı elde edilmiştir.

## SUMMARY

The aim of this study is identifying the conditions at which an optimum brick can be produced with the help of mineralogical, physical and chemical properties of the Tekirdağ Hayrabolu region clay samples. Towards this aim, the experimental studies were conducted in three parts. The first part contains the mineralogical, physical and chemical investigations which help to determine the properties of clay samples. In the second part, the clay samples were mixed in different ratios, in order to obtain a brick with an optimum clay composition. In the last part granulation studies were done under optimum clay composition.

In the first part of the study, chemical analysis of clay samples revealed that the clay samples are not pure and contain a mixture of clay and quartz. Identification of clay minerals based upon x-ray diffraction, DTA, dilatometry and microscopic investigations, it is shown that all the three clay samples exhibit similar mineralogical features. The clay samples showed high free carbon and quartz, indicating the presence of montmorillonite, calcite, illite and mica minerals.

When clays are evaluated with respect to their physical properties clay denoted as No.1 shows the highest plasticity while the others indicated lower plasticities. Accordingly, the biggest shrinkage was observed in clay No.1. Firing shrinkages for the three clays were found to be insignificant. When the bending strengths of clay samples are evaluated, all the three clays strength values yielded above the standart These are respectively  $124.0 \text{ kg/cm}^2$ ,  $69.12 \text{ kg/cm}^2$ ,  $101.95 \text{ kg/cm}^2$ . The water absorbtion values are 14.22 %, 19.80 %, 21.10 %, respectively.

In the second part of the study, by mixing the 3 clay samples in different ratios, a brick with the optimum clay composition was obtained. For each clay composition, all physical properties (plasticity, drying and firing shrinkage, dry and fired bending strength, water absorbtion) were determined. According to this, the optimum brick composition consist of 50 % clay 1, 10 % clay 2, 40 % clay 3.

Physical properties of the optimum brick are as follows; plasticity 31.0 %, drying shrinkage 5.04 %, firing shrinkage 0.1 %, dry bending strength 98.2 kg/cm<sup>2</sup>, fired bending strength 193.8 kg/cm<sup>2</sup> and water absorption % 22.9.

In the last part of the study granulation studies were performed under optimum clay composition (50 % clay 1, 10 % clay 2 and 40 % clay 3). Granulation studies were carried out using the Andreasen Equation in the form  $y = 100[ x/\chi ]^n$ . Here the value of n refers to the slope of size distribution. The bricks in which the size distributions were determined according to the value of n, were then utilized to measure packing densities, bulk densities and pressing strengths. A comparison was made between the ordinary brick (E) and those granulation carried out (A, B, C, D). Here, the proportion of fines increases as the value of n decreases. When the packing densities of bricks were evaluated, as the value of n increase the packing densities were found to be decrease. Again, the bulk densities and pressing strength values of bricks A, B, C, D were higher than those of brick E.

As a result of doing granulation studies, the proportion of fines in the brick was increased. This is attributed to filling of voids with the resultant more compact matrix.

## 1. GİRİŞ

Çok eski devirlerden beri insanlar tarafından bilinen kilin şekillendirilip pişirilmesi, insanoğlunun yerleşik yaşam düzenine geçişiyle birlikte gelişen tarım ve hayvancılık evresinden sonraki en büyük aşamalardan biridir.

İlk zamanlar, ilkel metodlarla sadece çanak çömlek yapılarak değerlendirilen kiler, zaman içerisinde teknolojinin gelişimi ile birlikte daha iyi tanınmış ve çok değişik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. İnsanlar kilerden tuğlalar yapıp, bundan böyle evlerini tuğlalarla inşa etmişlerdir. Başlangıçta bilinçsiz bir şekilde tuğla haline getirilen kilerin, teknolojinin de yardımıyla fiziksel özellikleri (plastiklik, küçülme, mukavemet vs.) tanınmıştır. Modern cihazların bulunmasıyla birlikte ise, kilerin kimyasal özellikleri, mineralojik yapıları incelenebilmiştir. Böylece hangi kilin hangi mineralleri içerdiği ve bu minerallerin yapıya hangi özellikleri kazandırdığı tespit edilmiştir. Tespit edilen bu özelliklerden yararlanılarak, değişik kil karışımlarından farklı özelliklerde tuğlalar elde edilmiş ve değişik amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır.

Artık günümüzde çok farklı kilerden beton kalitesinde çok değişik tuğlalar üretilmektedir. Üstelik dekoratif amaçlı üretilen birçok tuğla da mevcuttur. Özellikle İngiltere'nin bu konuda çok eskilere dayanan tecrübesi vardır. Ancak yine de kilerin tam anlamıyla anlaşıldığını söyleyemeyiz.

Bu tez kapsamında Tekirdağ-Hayrabolu yöresinden alınan kil numunelerinin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılarak tanımlanmıştır. Bu tanımlanan kilerle uygun karışımlar belirlenerek en iyi tuğla üretimi hedeflenmiştir.

## 2. KİL HAMMADDESİNİN TANIMLANMASI

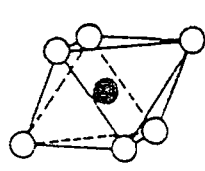
### 2.1. Kil Mineralleri (1)

Kil mineralleri farklı iki temel yapı taşından oluşmuştur. Birinci yapı taşının geometrik şekli oktahedral (düzgün sekizyüzlü) olup, merkezde alüminyum, demir ve magnezyum atomlarından biri, köşelerde ise merkez atomundan eşit uzaklıkta oksijen veya hidroksiller bulunmaktadır. İkinci yapı taşının kristal şekli tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) olup, merkezde silisyum atomu, köşelerde ise merkez atomundan eşit uzaklıkta oksijen veya hidroksiller yer almaktadır (Şekil 2.1 ve 2.2), (2).

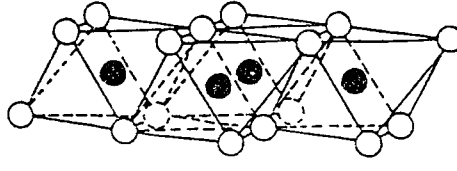
Düzgün sekizyüzlü yapı taşları köşelerinden birbirleri ile birleşerek “gipsit veya alümina” adı verilen bir düzgün sekiz yüzlüler tabakası oluşturur. Yük denkliliğinin korunması için tabaka içindeki düzgün sekizyüzlü merkezlerinden yalnızca  $2/3$ 'ü alüminyum ile doludur. Alüminyum yerine merkez atomu olarak magnezyum geçtiğinde bu merkezlerin tümünü doldurur. Bu şekilde oluşmuş tabakaya “Brusit” adı verilir.

Düzgün dörtyüzlü yapı taşları, merkezdeki silisyum atomları bir düzgün altıgen verecek şekilde köşelerden birbirleri ile birleşerek “Silika” adı verilen bir düzgün dörtyüzlüler tabakası oluştururlar. Tabakadaki düzgün dörtyüzlülerin tabanları aynı düzlem üzerinde, tepeleri ise buna paralel bir başka düzlem üzerinde yer almaktadır. Düzgün dörtyüzlü yapı taşları köşelerinden bağlanarak ikili bir “Silika zinciri” de oluşturabilmektedir (3).

Kil mineralleri sınıflandırmasında genel bir birliktelik mevcut değildir. Ancak birçok araştırmacı tarafından kabul edilen sınıflama Grim R.E.’nin 1968’de yaptığı sınıflamadır (Tablo 2.1).

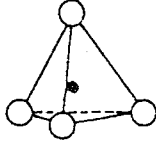


(a)

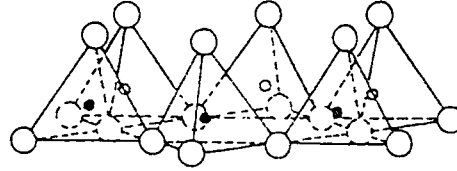


(b)

○ ve ○ = Hidroksiller ● Alüminyumlar, Magnezyumlar, vs.



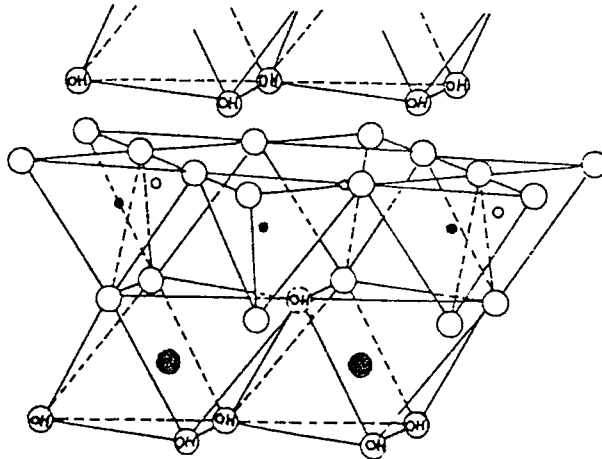
(c)



(d)

○ ve ○ = Oksijenler ○ ve ● = Silisyumlar

ŞEKİL: 2.1. a)- Tek Bir Oktahedral Birim,  
b)- Oktahedral Birimlerin Tabaka Yapısı  
c)- Tek Bir Silis Tetrahedral  
d)- Bir Hegzagonal Sistem İçinde Düzenlenen  
Silis Tetrahedralin Tabaka Yapısını  
Gösteren Şematik Şekiller  
(Grim,1968)



○ Oksijenler  
○ Hidroksiller  
● Alüminyumlar  
● Silisyumlar

ŞEKİL: 2.2. Kaolinitin Kafes Yapısının Şematik Şekli  
(Grim,1968)

Tablo 2.1. GRIM R.E.'ye Göre Killerin Sınıflandırılması

---

1. Amorf Olanlar

Allofan Grubu

2. Kristal Yapıda Olanlar

A. İki Tabakalı Olanlar

“Bu grupta olan kil mineralleri bir kat silika tetrahedrleri ve bir kat alümina oktahedrlерinden oluşmuştur.”

1. Eş boyutlu olanlar

Kaolinit Grubu (Kaolinit, dikit, nakrit)

2. Bir yönde uzamış olanlar

Halloysit Grubu

B. Üç Tabakalı Olanlar

“Bu grupta olan kil mineralleri iki kat silika tetrahedrleri ve ortada bir kat dioktahedr ve trioktahedrden oluşmuştur.”

1. Genişleyen kristal yapılı olanlar

a. Eş boyutlu montmorillonit grubu

Montmorillonit, savkonit, vermikülit

b. Bir yönde uzamış montmorillonit grubu

Nontronit, saponit, hektorit

2. Genişlemeyen kristal yapılı olanlar

İllit grubu

C. Düzenli Karışık Tabakalı Olanlar

Klorit grubu

D. Zincir Yapılı Olanlar

Atapulgit, sepiolit, poligorskit

---

Killerin diğer bir sınıflandırmasını yapan Degans sınıflandırması Tablo 2.2’de görülmektedir.

Kil mineralleri literatürde aşağıdaki şekilde tanıtılmaktadır. İzlenen sıra Grim’in sınıflandırma sırasındır.

TABLO: 2.2 . Degans'a Göre Kil minerallerinin Sınıflandırılması (Degans, 1968).

| TABAKA                              | OKTAHEDER<br>TABAKANIN<br>YERLEŞİMİ | GENLEŞME        | GRUP                                          | CİNSİ                              | KRİSTAL KİMYASAL FORMÜLÜ                                                                                               |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| İKİ TABAKALI<br>TABANLI<br>MİN(1:1) | DİOKTAHEDRİK                        | ŞİŞMEZ          | KAOLİNİT                                      | KAOLİNİT<br>DİKİT<br>NAKRİT        | $Al_3(OH)_8[Si_4O_{10}]$                                                                                               |
|                                     |                                     | ŞİŞMEZ<br>ŞİŞER | HALLOYSİT<br>(SEPTİT KLORİT)<br>METAHALLOYSİT | HALLOYSİT<br>METAHALLOYSİT         | $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}](H_2O)_4$<br>$Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$                                                           |
| TRİOKTAHEDRİK                       |                                     | ŞİŞMEZ          | 7A <sup>0</sup> -KLORİT<br>(NORMAL-KLORİT)    | BERTİERİN<br>(KAOLİN-<br>CHAMOSİT) | $(Fe^{+2}, Fe^{+3}, Al, Mg)_6(OH)_8[Al, Si)_4O_{10}]$                                                                  |
| ÜÇ<br>TABAKALI<br>MİN(2:1)          | DİOKTAHEDRİK                        | ŞİŞER           | MONTMORİLLONİT<br>(SMEKTİT)                   | MONTMORİLLONİT<br>BEİDELLİT        | $\{[(Al_2 \cdot xMgx)(OH)_2[Si_4O_{10}]]^{x-} \cdot nH_2O\}$<br>$\{[(Al_2(OH)_2[(Al, Si)_4O_{10}]]^{x-} \cdot nH_2O\}$ |
|                                     |                                     | ŞİŞMEZ          | İLLİT<br>(HİDRO MİKA)                         | NONTRONİT<br>İLLİT                 | $\{[(Fe_2 - xMgx)(OH)_2[Si_4O_{10}]]^{x-} \cdot nH_2O\}$<br>$(K, H_3O)Al_2(H_2O)_2[AlSi_3O_{10}]$                      |
| TRİOKTAHEDRİK                       |                                     | ŞİŞER           | VERMİKULİT                                    | VERMİKULİT                         | $(Mg, Fe)_3(OH)_2[AlSi_3O_{10}]Mg \cdot (H_2O)_4$                                                                      |
| DÖRT<br>TABAKALI<br>MİN(2:2)        | TRİOKTAHEDRİK                       | ŞİŞMEZ          | 14 A <sup>0</sup> KLORİT<br>(NORMAL KLORİT)   | KLORİT                             | $(Al, Mg, Fe)_3(OH)_2[(Al, Si)_4O_{10}]Mg_3(OH)_6$                                                                     |

### 2.1.1. Allofan Grubu Kil Mineralleri

Kimyasal bileşimi  $XAl_2O_3 \cdot YSiO_2 \cdot 2H_2O$ 'dur.  $SiO_2/Al_2O_3=0,5-1,8$  arasında değişmektedir. Bu oran ile ters orantılı olarak bünyesinde gibsit ( $Al_2(OH)_6$ ) içeriği artar. Saf olduğu zaman saydam ve renksiz, yabancı madde karışığında mavi, yeşil, sarı ve kahverengidir. X-ışını incelemeleri allofanın bazen amorf, bazen kristalin yapısında olduğunu göstermiştir. Allofanın alkali ve toprak alkali içeriği de diğer killerden çok azdır. Yaygın olarak diğer kil mineralleri ile birlikte bulunduğu gibi diğer kil mineralleri de allofan ile birlikte bulunur (1,4)

### 2.1.2. Kaolinit Grubu Kil Mineralleri

Kaolinit grubu kil minerallerinin teorik kimyasal formülü  $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$  ve teorik kimyasal bileşimi,  $SiO_2$  %46.54,  $Al_2O_3$  %39.50,  $H_2O$  %13.96'dır. Kaolinit içindeki bünye suyunun, kristal yapıdaki (OH) bağlarından geldiği saptanmıştır. Kaolinit grubu mineralleri saf oldukları zaman beyaz renkli olup, mat görünümlüdürler. Sertliği 2-2,5 özgül ağırlığı 2,61-2,68  $gr/cm^3$ 'dür. Grubun önemli üyelerini kaolinit, dikkit ve nakrit oluşturur. Dikkit ve nakritin kimyasal bileşimi kaolinitin aynıdır. Ondan farklı olarak bu mineraller monoklinal, kaolinit triklinal sistemde kristallenmektedir (1).

### 2.1.3. Halloysit Mineralleri

$Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$  ve  $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8 \cdot 4H_2O$  gibi iki bileşimde bulunmaktadır. Az sulu şekli kaolinitin bileşim ve mineral yapısına benzer. Halloysitin sulu şekline sulu halloysit veya endellit gibi isimler verilmiştir. Birinci formülde görülen az sulu şekline de metahalloysit denmektedir. Halloysit beyaz, yeşilimsi ve açık mavimsi renklidir; mavimsi yeşilimsi renkli taze numuneleri zamanla toz haline gelerek beyazlaşmaktadır. Sulu halloysit nispeten düşük sıcaklıkta ( $65-75^{\circ}C$ ) tekrar eski haline gelmeyecek şekilde suyunu kaybeder, metahalloysite dönüşür. Halloysitin tamamen suyunu kaybetmesi için  $400^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtılması gerekmektedir. Isıtılmış halloysitlerin ağırlık kaybı yaklaşık %25'dir. Halloysitin doğal olarak nispeten düşük su içerdiğine ve sulu formun sonradan su alarak meydana geldiğine inanılmaktadır (1).

#### 2.1.4. Smektit Grubu Mineraller

Daha önceleri montmorillonit grubu olarak adlandırılan smektit grubunun mineralleri çok küçük kristal taneciklerinden meydana gelir. Bu yüzden bu minerallerin kristal yapıları, X-ışınları ve elektron mikroskop incelemelerinden sonra belirlenebilmiştir. Silika-alümina-silika tabakalarından meydana gelen birimler arası bağların çok zayıf olması sebebi ile grubun mineralleri mükemmel klivaja sahiptir. yoğunluk 2-3, sertlikleri ise 1-2'dir. Smektitlerin göze çarpan yapısal özelliği, ünite tabakaları arasına su ve organik maddeler gibi polar moleküller alabilmesidir. Yapıda meydana gelen bazı yer değiştirmeler gözönüne alınmaksızın teorik formülü  $\text{Si}_3\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4n\text{H}_2\text{O}$  (tabaka arası su)'dur. Tabaka arasında yer alan su ve diğer polar moleküller dikkate alınmaksızın teorik bileşimi %66.7  $\text{SiO}_2$ , %28.3  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve %5  $\text{H}_2\text{O}$ 'dur. Smektit grubu minerallerin bileşimi yapı ağındaki temel unsurlarda meydana gelen bazı iyon değişimleri sebebi ile teorik bileşiminden farklıdır. Oktaeder tabakadaki bütün alüminyumun yerini magnezyum aldığında, bu mineral saponit olarak adlandırılmıştır. Eğer alüminyumun yerini tamamen demir almış ise mineral nontronit, çinko almış ise mineral saukonit olarak adlandırılır. Hektorit mineralinde ise alüminyum yoktur ve magnezyumun yerini lityumun almasından meydana gelir. Montmorillonitteki alüminyum diğer atomlarla yer değiştirebilir ve yeni türler oluşur. Grubun ana mineralleri Montmorillonit ve Saukonit yaprak şeklinde eş boyutlu çok ince ünitelerden meydana gelir. Nontronit, Saponit, Hektorit ise iğne şeklinde uzun minerallerdir (1).

#### 2.1.5. İllit Mineralleri

İllit minerallerinin yapı özellikleri genellikle mika minerallerinin yapılarına benzer. Bu yapı iki silis tetraeder tabakası arasında yer alan bir alümina oktaeder tabakasından ibarettir. Birim ünitenin tetraederlerinde silis alüminyum ile, oktaederdeki alüminyum ise demir ve magnezyum ile yer değiştirir. Böylece kristal hücresinde birim ünite sayıları ve düzenlemeleri değişerek, değişik mika mineralleri meydana gelir. İllitin teorik formülü,  $\text{K}_{1-1,5}\text{Al}_4(\text{Si}_{7-6,5}\text{Al}_{1-1,5})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$  'dir. İllit kristallerinin tane boyutu 0,1-0,3 mikron kadardır ve bazı iri kristaller dışında normal polarizan mikroskopta görülmez, şişmesi smektite göre azdır ve K ihtiva eder. Yoğunluğu 2,6-2,9 olup,

sertliği 1-2 arasında değişmektedir. Rengi beyaz ve pembesidir. Elektron mikroskopunda ise, illit kristalleri çok küçük ve kaolinite göre daha az gelişmiş olup, ufak yassı levhacıklar veya düzensiz topluluklar halinde görünür (1).

#### 2.1.6. Vermikülit Mineralleri

Vermikülit'in yapısı trioktaedral mika veya talk'a benzer. Kristal ünitesi, iki silis tetraeder tabakası ve aralarındaki oktaeder tabakasından meydana gelir. Teorik formülü,  $Mg_6Si_8O_{20}(OH)_4$  olan talk'tan farkı, tetraeder tabakadaki silisin bir kısmının  $Al^{+3}$  ile yer değiştirmesidir. Vermikülitin kation değiştirme kapasitesi simektitinki kadardır. Vermikülit, simektitten daha az organik madde absorbe eder (1).

#### 2.1.7. Klorit Mineralleri

Klorit mineralleri talk, serpantin, siyah mika ve Mg-Fe'li kil mineralleri arasında bir bileşime sahip olup, bu mineraller ile birlikte bulunur. Klorit grubu minerallerin yapısı, mika ve brunit tabakalarına benzer tabakaların ardalanmasından meydana gelir. Mikaya benzer tabakalar trioktahedral olup genel bileşimi  $(OH)_4 (SiAl)_8 (MgFe)_6 O_{20}$ 'dir. Brunit'e benzer tabakaların genel bileşimi  $(OH)_{12}(Mg,Al)_6$ 'dır. Klorit minerallerinin klivajı mükemmel olup, yoğunlukları 2,6-3,3 , sertlikleri 2-3'dür. Renkleri ise yeşil, sarı, beyaz, kırmızı, pembe, kahverengi ve renksizdir (1,5).

#### 2.1.8. Sepiyolit-Paligorskit-Attapulgit Mineralleri

Elektron mikroskopta lifli yapı gösteren kil mineralleridir. Bu mineraller de ortadaki alüminyum veya magnezyum oktaederleri ile kenarlardaki silis tetraederlerinin koordinasyonundan meydana gelir. X-ışınları difraksiyon analizlerine göre bunlar monoklinal hücre yapısına sahiptir. Bu minerallerin dış görünüşleri kağıt veya karton gibidir. Yoğunlukları 2,27-2,32 olarak hesaplanmıştır.

Paligorskit numunelerinin muhtelif analizleri bunların %6,82-15,44  $Al_2O_3$ , %0,87-3,8 Fe içerdiğini gösterir. Paligorskit genel olarak smektit grubu mineraller ile birlikte bulunur. Sepiyolit mineralinin, diğer minerallerden ufak farklılıklarla ayrıldığı ileri sürülmektedir. Sepiyolit'in teorik bileşim formülü  $Si_{12}Mg_9O_{30}(OH)_4 \cdot 6H_2O$ 'dur.

Ortorombik hücre yapısında olduğu kabul edilmektedir. Mineralin herhangi bir iyon değiştirme özelliği yoktur. Kuru numuneleri suya atıldığında çok miktarda su emer. Genellikle beyaz renkli olan sepiolit yaş iken çok yumuşaktır. Kuruyunca bir hayli sertleşir (1).

## **2.2. Killerin Sınıflandırılması (1)**

### **2.2.1. Bulundukları Yere ve Yataklarına Göre**

Killer bulundukları ocağın durumuna göre primer ve sekonder kil diye ikiye ayrılır.

1. Primer Killer : Yer değiştirmemiş yani oluşumunu ana kayanın bulunduğu yerde tamamlamış ve orada kalmış olan killerdir. Kaolinler böyle bir kil çeşididir. Bu killer, asitik kayalar (granit, riolit kuvars diyoritler, vs.) içindeki çoğunlukla feldispatların muskovitlerin ve diğer alüminyumca zengin silikatların yüzeysel ve düşük sıcaklıktaki hidrotermal alterasyonları sonucu oluşan ilksel kalıntı çökelleridir.

2. Sekonder Killer : Bu killer yağmur suları ile çözünüp, ilk oluştukları yerden sel ve akarsularla sürüklenip başka bir yerde biriken killerdir. Bu sürüklenme esnasında, sekonder killer ilk saf ve temiz durumlarını kaybederek özelliklerini değiştirirler. Araya kil minerallerinden başka bünyesinde kuvars, feldispat, mika gibi plastik özellik göstermeyen elementler de girer. Fe bileşimleri, aragonit, dolomit, jips, rutil, mangan oksitleri ve vivianit bulunur.

### **2.2.2. Ateşe Dayanıklılıklarına Göre**

Killer yüksek ısıda sinterlenmeleri sırasında gösterdikleri özelliğe göre iki ana gruba ayrılırlar : Ateşe dayanıklı killer ve eriyebilen killer. Ateşe karşı dayanıklılıkları Amerikan (PCE) ve Alman (SK) standartlarına göre değerlendirilirler.

1. Ateşe Dayanıklı Killer : Yüksek ısıda katı durumlarını korurlar. Ancak 1580°C üstünde yumuşayıp erirler. Özellikle bu killer bünyelerinde diaspor, böhmit ve gibsit gibi mineralleri içerirler.

**2. Eriyen Killer :**  $1550^{\circ}\text{C}$ 'nin altında yumuşar ve erirler. Bu killer eritken maddeler ismini verebileceğimiz oksitler, feldispatlar, mineral kalıntıları ince dağılmış kuvars ve  $\text{CaCO}_3$ 'ca zengindirler.

### 2.2.3. Adi Kil Cinsleri

Adi kil kelimesi genel bir anlam taşır. En temiz bir kaolinden en çok kirlenmiş bir adi tuğla kiline kadar bütün kil cinslerini içine alır. Seramikte büyük bir isim olan Senger'e göre adi killeri dört grup altında toplamak mümkündür.

**1. İçinde hiç  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bulunmayan ve yüksek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ihtiva eden killer :** Bu gruba bütün iyi cins kaolinler girer. Porselen çanak, çömlek ve ince pekişmiş çininin ana hammaddesini teşkil eder.

**2. Az  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , yüksek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ihtiva eden killer :** İyi cins süs eşyası, şamot ve adi pekişmiş çini killeri bu grupta toplanır.

**3.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı düşük,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oldukça yüksek killer :** Kırmızı pişen çanak, çömlek ve inşaat tuğlası killeri bu gruptandır.

**4.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı düşük,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pek çok, ayrıca içinde  $\text{CaCO}_3$  bulunan killer :** Bu grupta da çok kırmızı hatta siyaha yakın pişen ve çok düşük sıcaklıkta eriyebilen kil cinsleri toplanır. Bunlar adi tuğla halinde ve çanak çömlek sırlamasında kullanılır.

### 2.2.4. Özel Kil Cinsleri

Tablo 2.3'de killerin sınıflandırılması ve adlandırılması görülmektedir.

Tablo 2.3. Killerin Sınıflandırılması ve Adlandırılması

| Jeolojik Adlama | Endüstriyel Adlama         | Ticari Adlama                 |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|
| Kil             | -                          | -                             |
| Kiltaşı         | -                          | -                             |
| Kumlu Kil       | Beyaz Pişen Kil            | Seramik Kili                  |
| Plastik Kil     | Bağlayıcı Kil              | Bağlayıcı Kil                 |
| Kaolin          | Kaolin                     | Seramik,Kağıt,Sanayii Kaolini |
| Halloysit       | -                          | Sanayii Kaolinleri            |
| Ateş-Refr.Kil   | Refrakter Kili             | Halloysit Refr.Kil            |
| Ateş Kili       | Al-Şamot Kili              | Şamot Kili                    |
| Boksitli Kil    | A <sub>2</sub> -Şamot Kili | Şamot Kili                    |
| Şiferton        | A <sub>3</sub> -Şamot Kili | -                             |
| Bentonit        | Sondaj Kili                | Bentonit                      |

## 1. Kaolin

Kaolin, takriben bileşimi  $2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  olan hidro alüminyum silikattır. Kaolin tabakaları, feldispatça zengin granit,gnays veya arkozun yüzeysel aşınma ya da hidrotermal değişimle alterasyona uğramasından ve kaolinitleşmesinden oluşur. Kaolinin minerolojik ve kimyasal bileşimi alterasyon derecesine, tipine ve kaynak kayanın tabiatına bağlıdır. Genellikle beyaz ya da beyaza yakın renklerde, yumuşak ve plastik kil bileşiminde olup, az demir içeren, iyi dizilimli kaolinit grubu minerallerden meydana gelir. Feldispat, kuvars, gibsit, alünit gibi kil olmayan mineraller içerebilir. Gibsit gibi  $(Al_2(OH)_6)$  alüminyum oksitçe zengin mineraller içerdiğinden  $Al_2O_3$  artar.

## 2. Plastik Bağlayıcı Kil

Ülkemizde plastik kil, ABD’de “Ball Clay” olarak adlandırılan yüksek plastik özelliğe ve kuru mukavemete sahip killerdir. Bunların pişme ve camlaşma sıcaklığının derecesi oldukça yüksektir. Bu killerin ana bileşeni kaolinit grubu mineraller (%70 kadar) olup

tali olarak illit, smektit, klorit, kuvars ve küçük miktarlarda karbonatlı madde içerirler. Piştiğinde ise açık renkli olan killler, doğada organik madde içermeleri nedeniyle genellikle boz, gri, kahverengi, krem, vs. renkte bulunurlar. Bu organik madde içeriği ince taneli kaolinit ve diğer kil mineralleri ile birlikte kile yüksek derecede plastiklik kazandırır. Ayrıca bu killler az bir miktara sahiptir ve oldukça da refrakterdir. Genellikle kömür yatakları ile birlikte bulunurlar.

### 3. Refrakter Killler

Genel olarak killerin ateşe dayanıklılıklarını düşüren oksitlerin özellikle hümik asidi tarafından uzaklaştırılması sonucu oluşan killler refrakter killerdir. Refrakter malzemeler, yüksek sıcaklık altında kimyasal bileşimlerini ve fiziksel özelliklerini koruyan materyallerdir. Mineralojik olarak başlıca; kaolinit, montmorillonit ve amorf killler gibi kil minerallerinden oluşur. Ayrıca gipsit, drasper, böhmit vb. gibi diğer mineralleri de kapsayabilir. Genel olarak alümina oranı %20-40 arasında olup bazen bu oran çok daha yüksek olabilir.

Refrakter malzemeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir ;

- a) Alümina silikat refrakterler (ateş kili, şiferton, şamot, bentonit, bağlama kili vs.)
- b) Silika refrakterler,
- c) Alümina refrakterler,
- d) Bazik refrakterler (magnezit, kromit vs.),
- e) Karbon (grafit),
- f) Özel refrakterler (zirkon, silis karbit vs.),
- g) Yalıtma refrakterleri.

Genel olarak refrakter malzemenin kullanım amaçları ise şunlardır ;

1. Sıcağa dayanım ve ısı yalıtımı,
2. Sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılık,
3. Aşınmaya ve darbelere dayanım.

#### 4. Şamot Killeri

Kalsine edilerek suyu uzaklaştırılmış, kuruma ve pişme küçülmesi azalmış ve alüminyum oksit içeriği yükseltilmiş, az plastik veya plastik olmayan killere Avrupa’da ve ülkemizde şamot, A.B.D.’de kalsine kil denmiştir.

#### 5. Şiferton

Kaolinitten meydana gelen, uzun jeolojik yaşla beraber diyajenez etkisinden plastik özelliklerini yitirmiş, yoğun, sert ve masif halde eski bir ateş kilidir. Bunlar suyunu tamamen kaybettiklerinden kuruma küçülmesi göstermeyen ve pişme küçülmesi çok az olan killerdir. Şiferton, %30-45  $Al_2O_3$ , %40-50  $SiO_2$ , %1-5  $Fe_2O_3$  içerir. Bu oksitlerin yanında eser miktarda  $TiO_2$ ,  $MgO$  ve  $CaO$ ’da ihtiva edebilir.

#### 6. Bentonit

Asit magmatik taşların hidrotermal alterasyonu ile oluşan ve iyon değiştirme özelliğine sahip killer “bentonit” adı ile tanımlanmaktadır. Kimyasal formülü  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + nH_2O$  ’dur. Bentonit kolloidal ve plastik, çok ince taneli kil olduğu için su ile karıştırıldığında ağırlığının 4-5 misli su ile balçık halinde şişer. Bu nedenle kuruma küçülmesi çok büyük olduğundan tek başına kil yerine kullanılmaz, ancak yüksek plastik ve bağlama özelliğinden faydalanılarak %1-3 veya 4 oranında killere ilave edilir.

Bentonitleri meydana getiren esas kil mineralleri montmorillonit grubu kil mineralleridir. Ayrıca değişen oranlarda illit ve kaolinit gibi kil mineralleri de bulunmaktadır.

#### 7. Lekeci Kili

Bu terimin herhangi kimyasal ve mineral bileşimini ifade eden anlamı yoktur. Lekeci killerin bir kısmı bentonitlerdir ve onlar gibi smektit grubu kil mineralleriyle illit ve

kaolinit grubu kil minerallerinden ve impuritelere meydana gelir. Bentonit olmayan lekeci killeri attapulgit ve sepiolit grubu kil minerallerinden meydana gelir.

## **8. Tuğla-Kiremit Killeri**

Kil, kilaşı, çamurtaşı, killi şist, şistli kil, arduvaz, meta kilaşı, killi topraklar, lösler, buzul killeri gibi çeşitli adlarla bilinen bu gibi taş ve topraklardan tuğla kiremit ve çimento üretiminde hammadde olarak faydalanılmaktadır. Tuğla-kiremit killeri, tane boyutu 3 mm'den büyük tanelerin %1'den fazla olması istenmez. Saf killerin kuruma ve pişme küçülmeleri çok olduğundan bu tip malzemenin %60 kadar ince kum içermesi istenirken % 25-30'dan fazla  $\text{CaCO}_3$  istenmez. Ayrıca %5 civarında demir bileşikleri bulunmalıdır. Çünkü ürüne güzel kırmızı renklilik kazandırır, iyi pişmiş ve dayanıklı malzeme görünümü verir, hem de pişmeyi kolaylaştırır. Tuğla kiremit killeri ve topraklarında suda çözünen tuzlar, jips, kükürt pirit ve mika gibi unsurların bulunması istenmez. Teknolojik olarak da pişmiş ürünün belli bir standart boyuta, su emme yüzdesine ve basınç dayanımına sahip olması istenir.

### **2.3. Killerin Mineralojik İncelenmesi (1,6,7)**

Kil minerallerinin çok küçük tane büyüklüğüne sahip olmaları; onlar hakkında bilgi edinmek ve kalitatif analizlerini yapmak için çok çeşitli ve birtakım özelliği olan metodların ortaya konmasını gerektirir. Genel olarak, her kil mineralinin mineralojik yapısını tam olarak açıklayabilecek bir metod ortaya konmamış olup, sağlıklı bir sonuç almak için çok kere bir kaç metodun birden uygulanması gerekir.

Kil minerallerinin teşhisleri ve kantitatif analizlerinin yapılabilmesi amacıyla, bugüne kadar geliştirilen çok çeşitli metodların hepsini burada detaylı açıklamak mümkün değildir. Bu sebeple bu tez çalışması kapsamında yapılan mineralojik analiz metodları ana hatları ile açıklanmaya çalışılmıştır.

### 2.3.1. X-Işınları Kırınım Tekniği (XRD:X-Ray Diffraction)

Bugün kil minerallerinin teşhis ve tayinleri daha ziyade X-ışınları difraksiyon metodu ile yapılmaktadır. Bu metodun esası, çok kısa dalga boyuna sahip ( $0,01-100 \text{ Å}$  arasında bulunan) elektromagnetik radyasyonlardan meydana gelen X-ışınlarının, kristallerin atomlarına çarptırılarak yansıtılmasıdır. Kristallerde atomlar belli bir düzen içinde bulunduğundan yansıyan ışınlar birbirini güçlendirir veya yok eder. Amorf cisimlerde atomlar düzensiz olduğundan, düzenli bir yansıma meydana gelmeyecektir. Yansımanın meydana gelmesi için X-ışınları belli bir açı ile dönen toz numunenin üzerine gönderilir. Atomlara çarpan X-ışınları aynı açı ile yansır, yansıyan ışınların izleri fotoğraf kartı üzerinde tespit edilir. Elde edilen eğrilerden kristallerin kenar açıları, kenar aralıkları hesaplanır. Bu hesaplamada Bragg kanununa göre  $d$  mesafesi ve  $2\theta$  açısı arasında aşağıda gösterilen formüldeki ilişki vardır.

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

$n$  : Kırılma sırası

$\lambda$  : X-ışınlarının dalga boyu

$d$  : Kristaldeki iki atomsal düzlem arasındaki mesafe

$\theta$  : Kristal üzerine düşen ışın ile ışının düştüğü yüzey arasındaki açı

Herhangi bir killi maddedeki kil minerallerini tespit etmek için, daha önce saf kil numunelerinin X-ışını verileri tespit edilmiş ve standart A.S.T.M. kartlarının hazırlanmış olması gerekir. Elde edilen bilgilerle standart kartlardaki bilgiler karşılaştırılarak incelenen numunenin kil mineralleri tespit edilir (8).

### 2.3.2. Termik Analiz Tekniği

Bugün termoanalitik metodlar özellikle seramik malzemelerinin çeşitli özelliklerini saptamak için kullanılan standart metodlar arasında büyük önem kazanmıştır. Farklı kil yapıları ısındığı zaman farklı reaksiyonlar gösterirler. Bu farklılık, kil minerallerini

tanıma metodlarının geliştirilmesi için avantaj olup, termoanalitik metodlarla farklı mineral tipleri kalitatif ve kantitatif olarak ayırt edilebilir.

### 1. Diferansiyel Termik Analiz (DTA)

DTA yöntemi, bir maddenin düzgün ısıtılması veya soğutulması sırasında, yapıda kimyasal veya fiziksel değişimler sonucu meydana gelen ısı alışverişini, reaksiyon sıcaklığını ve reaksiyon türünü verir. Bir reaksiyon ısı veriyorsa egzotermik, ısı alıyorsa endotermik reaksiyon olarak adlandırılır. Organik maddelerin yanması, yeni kristal fazların oluşumu veya amorf maddelerin kristallenmesi egzotermik bir reaksiyondur. Killerde su kayıpları (absorbe edilmiş suyun ve kristal bağlı suyun kayıpları), kristal yapının bozulması, karbondioksit ve sülfürtrioksit kayıpları endotermik bir reaksiyondur.

DTA aygıtı ile araştırması için harmanlanmış ve ön öğütülmesi yapılmış kilden bir parça alınır, toz haline gelinceye kadar inceltir. Reaksiyonların sağlıklı olması amacı ile madde 63  $\mu\text{m}$ 'luk elekten geçecek şekilde hazırlanır ve kurutulur. Hazırlanan madde aygıtın platin yuvalı iki borusundan birine doldurulur. Diğer platin yuvada ise, inert olarak tanımlanan, nötr numune olarak genellikle kalsine alümina veya kalsine kaolin konur. Kil örneğinin, ısıtıldıkça çeşitli reaksiyonlar meydana geldiği için, belirli zamanlardaki sıcaklığı, inert olarak kullanılan ve reaksiyon göstermeyen bir örneğe göre daha düşük veya yüksektir. Kil örneği ile fırın veya inert örnek sıcaklığı arasındaki fark tek bir termometre kullanılarak ölçülür. Genellikle de termometre yerine termoeleman çifti (termocuple) kullanılır. Termoeleman çiftinin iki bağlantısı arasında sıcaklık farkı nedeniyle oluşan elektrik akımı (mV), galvanometre ve amplifier yardımıyla bir kaydediciye aktarılarak, numunenin “diferansiyel termik analiz eğrisi” elde edilir.

İnert örneğe nazaran kil örneğinde daha düşük bir sıcaklığın oluşması endotermik bir reaksiyonun ve daha yüksek bir sıcaklığın oluşması ise egzotermik bir reaksiyonun mevcudiyetini gösterir.

DTA eğrisindeki maksimum sıcaklık farklarını gösteren noktalara pik sıcaklık denir. Bunların şekil, büyüklük ve yerleri, sadece reaksiyon ısısı ile ilgili olmayıp, aynı zamanda ısıtma miktarı, termokapıların özelliği, örnek tutucunun yapısı, büyüklüğü, şekli, kaydedici aletin cinsi ve alet ile ilgili diğer faktörlere bağlıdır.

DTA, montmorillonit, vermikülit, illit ve diğer mika benzeri kil minerallerinin kantitatif analizlerinde hassas bir şekilde kullanılamaz. Çünkü bunlara ait DTA eğrileri kristal şebeke suyunun çıkışına ait endotermik reaksiyonu tam olarak gösteremezler.

## 2. Dilatometre

Dilatometre ile ölçüm tekniği, sıcaklığı düzenli bir şekilde arttırılan malzemelerin, sıcaklığa bağlı olarak boyutsal değişimlerini incelemekle sağlanır. Sıcaklığa bağlı olarak malzemenin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri de değişme gösterebilir.

Dilatasyon eğrisinden sıcaklık artışına bağlı olarak numunedeki ısıl uzama değişimi, faz değişimi, biçim bozulması, yeniden kristalleşme ve sinterleşme gözlenebilir.

Dilatometre ile analiz teknikleri farklı standartlarda hazırlanmış olabilir. Bu tez çalışmasında dilatometre analizi ise, Alman Standartına göre hazırlanmıştır. Genel olarak işletme prensipleri ve dizayn sistemleri birbirine benzerdir. Numune, ısıtma hızı kontrol edilebilen yatay bir fırının merkezine yerleştirilir ve numunenin boyutsal değişimi silika tüp veya yüksek sıcaklıklarda, alümina tüp ölçü mekanizması yardımı ile mikrometreye iletilir. 1200°C'a kadar olan testlerde silika çubuk, bu dereceden daha yukarıdaki sıcaklıklar için silika zamanla vitrifikasyona uğradığından alümina çubuk kullanılır. Numune sıcaklığı, numune yanına yerleştirilen bir termoeleman çifti ile ölçülür. Plastik olarak şekillendirilen numunenin kesitleri 10 mm. çapında daire veya 10 mm. kare şeklinde olabilir. Numune boyu  $50 \pm 0.1$  mm. olarak belirlenmiştir. Test'te kullanılan numunenin iki yüzeyinin paralel olması ve boyutsal değişimi iletken çubuğun numune yüzeyi ile temas sağlanması önemlidir.

Numune yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra gerekli elektronik ayarlar yapılarak ölçme işlemi başlatılır. Ölçüm sırasında numune sıcaklığında kaydedilerek birim boyutsal değişim eğrisi sıcaklığa göre çizilir.

#### **2.4. Killerin Fiziksel Özellikleri (1,6,7,9)**

##### **2.4.1. Plastiklik**

Killerin plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerinin ince levhacıklar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisinde levhacıklar üst üste birikmiş paketler halinde bulunur. Su ile çamur yapıldığında su levhacıklar arasına girer. Çamur bir taraftan basıldığında levhacıklar birbiri üzerinde kayarak verilen şekli alır. İki cam levha ısıtıldığında nasıl bir-biri üzerinde kayarsa killerde öyle kayar. Islak olan iki cam levhayı birbirinden ayırmak nasıl güç ise kil levhaları da aynen böyle olup sağlamlık kazanırlar. Killerin plastikliği killeri işlenebilir bir çamur haline getirmek için verilmesi gereken su miktarı ile tayin edilir. Kil çamur oluncaya kadar ne kadar su emerse o kadar plastiktir. Killerin plastisite suyu %20-40 arasında değişir. Diğer taraftan plastiklik, irili ufaklı taneciklerin yanyana olmasına da bağlıdır. Bir kilin yeteri derecede plastik olabilmesi için taneciklerin %20'sinin 1  $\mu$ 'dan küçük olması lazımdır. Bütün taneciklerin 1  $\mu$ 'dan küçük olması gerekmez. Nitekim uzun müddet öğütülmüş killerin plastikliği azalır.

##### **2.4.2. Yağlılık ve Yağsızlık**

Plastikliği çok iyi olan killere yağlı kil denir. Bu kil parçalarının yüzeyleri hafifçe parlak, yağlı gibi olur. Yağlı killerin yoğrulma suyu yüksek olur. Fazla su alırlar ve güç açılırlar. Böyle killeri su içinde kendi halinde şişip açılmaya terketmekten ziyade, mekanik bir şekilde su içinde parçalanmaya uğratmak daha kolay olur. Yağlı killerin bağlama kabiliyeti yüksek olur ve plastik olmayan madde taneciklerini sıkıca tutar. Şüphesiz yağlılığın yanında böyle bir kilin pişme rengi, ateşe dayanıklılığı porozite durumu da arzu edilen seviyede olursa kullanılması mümkün olur.

Yağsız killere ise, yağlı killere nazaran tamamen aksi özellikler taşırlar. Örneğin, bir kil parçasının yüzeyi parlak ve kaygan olmayıp pürüklü bir görünüştür. Suda çabuk açılıp dağılırlar. Az su kaldırır ve özsüzdürler. Bağlama özelliği zayıftır. Çünkü bir çok kum taneciğini bağlamıştır. Yüksek ısılarda ancak sinterleşmeyle yaklaşır. Kırılmalığa karşı dayanıklılık kazanır.

#### **2.4.3. Kuruma ve Küçölme**

Killer, kuruma ve fırında kızdırma esnasında küçölürler. Bunlara seramikte kuruma ve pişme küçölmesi, her iki küçölme birden toplu küçölme denir ve % olarak ifade edilir. Kuruma küçölmesi fiziksel, pişme küçölmesi kimyasal bir olaydır.

Kuruma, önce kil kristallerinin etrafını sarmış olan çevre suyunun, sonra kil bünyesindeki gözenek ve higroskopik suyun uçması sonucu meydana gelir. Çevre suyunun uçmaya başlamasıyla kuru küçölme olayı da başlamış olur. Ancak bu suyun buharlaşması homojen şekilde olmalıdır, aksi halde mamul maddelerin içinde bazı yerler kurur, bazı yerler ıslak kalır. Bu sırada iç gerilmeler meydana gelir. İç gerilmeler kil mamulün mukavemetini aştığı anda çatlama izlenir. Bu nedenle seramikte kurutmanın büyük önemi vardır. Kurutmanın devamı halinde kuru küçölme olmaz. Çünkü çevre suyu buharlaştıktan sonra küçölme durur ve kristaller birbirine dayanır. Ancak bu birbirine dayanmış kristaller arasındaki boşluklarda kalan bünye suyu 110-120°C'da büneyi tamamen terkeder.

Pişme küçölmesi ise, kil mineralinin bünyesinde bulunan kristal suyunun yüksek sıcaklıkta buharlaşmasıyla meydana gelen küçölmedir. Yani suyun uzaklaşmasıyla geride kalan katı tanecikler birbirine daha çok yaklaşır ve küçölür.

Kuruma küçölmesi, çevre suyuna bağlıdır. Fazla su kaldıran ince taneli killere, fazla küçölür. Pişme küçölmesi ise kil mineralinin cinsine, mineral yapısına bağlıdır.

#### **2.4.4. Kuru Mukavemet**

Killer kurudukça kırılmaya karşı mukavemet gösterirler. Bunun sebebi levha halindeki taneciklerin üst üste bulunması ve aralarında bir çekim kuvveti olmasından ileri gelir.

Kuru mukavemette etkili olan faktörler :

1. Yağlı killerin kuru mukavemeti, yağsız killere oranla daha yüksektir.
2. Killerin tane büyüklükleri belirli oranda karışık olmalıdır. Çünkü aynı büyüklükteki kil taneciklerinin kuru mukavemeti daha azdır.
3. Kuru mukavemete etki eden başka önemli faktör de kilin kuruma süresi ve sıcaklığıdır. Düşük sıcaklıkta veya yetersiz bir kurutma ile kurutulan killerin dirençleri az olur. Ayrıca kurutmadan sonra bekleyen kuru malzemenin havada aldığı rutubet mukavemeti azaltır.
4. Şekillendirme yöntemi de mukavemeti etkiler. Yaş olarak (örneğin döküm yolu) şekillendirilen killer, normal koşullarda kurutulduklarında, plastik ve kuru şekillendirilen (örneğin presle basılan tablet halindeki) killere oranla daha büyük bir kuru direnç gösterir.

#### **2.4.5. Pişme Rengi ve Ateş Kaybı**

Killer doğada beyaz, sarı, gri, kırmızı, kahverengi ve siyahımsı renklerde olabilir. Ancak bu tabii renkler, killerin fırında pişmesi esnasında tamamen değişir. Örneğin kahverengi, gri hatta siyah renkli bir kil piştikten sonra beyaz olabilir. Çünkü bu koyuluk içerdiği kömür ve organik maddelerden ileri gelir. Killere pişme sırasında renk veren husus, içerdikleri yabancı maddelerdir. Bu yabancı maddelerin başında demir bileşikleri gelir. Kilde üç değerlikli demir bileşikleri varsa miktarına göre sarı-kırmızı veya koyu kırmızı renk verir. İki değerlikli demir bileşikleri gri, koyu gri ve siyah renk verir. Fırın atmosferinin oksidan veya redüktan oluşuna göre de pişme renkleri değişebilir. Mesela, demir bileşiklerinden ileri gelen renklilik oksidan pişme

atmosferinde koyu sarı ise, redüktan atmosferde beyaza yakın açık bir renkte pişer. Mangan ve titan bileşiklerinin varlığı demir renklendirmesini daha da artırır. Özellikle demir yanında titan bulunmasıyla, demir ve titanın birlikte oluşturacakları çift oksit  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  (Spinel) rengi, demir oksidin tek başına vereceği renkten çok daha koyudur. Ayrıca killerin pişme sırasında sinterleşmesi arttıkça renk şiddeti de artar.

Ateş kaybının normalin üzerinde bulunması da killeri karbonat, organik madde ve montmorillonit içermesine bağlıdır (8,10).

#### 2.4.6. Tuğla Üretimindeki Uygulamalar ve Standartları

Türkiye’de tuğla ve kiremit üreten büyüklü küçüklü 600 dolayında firma vardır. Bunlardan 500’ü tuğla, 100’ü ise kiremit üretmektedir. Tuğla üretiminde İstanbul’da kurulu Kilsan, kiremit üretiminde ise Eskişehir’de kurulu Kılıçoğlu başı çekmektedir. Tuğla üretiminin en yoğun olarak yapıldığı bölge Manisa’nın Turgutlu İlçesidir. Bu ilçede yaklaşık 70 firma faaliyet göstermektedir. Tuğla ithalatı söz konusu değildir. İhracat ise çok düşüktür. Bunun en büyük sebebi ise dünya standartlarında üretim yapılamamasıdır. Ancak Amerikan (ASTM) Standardında üretim yapan Işıklar Tuğla ve Alman Normunda (MPA-LGA) üretim yapan Kılıçoğlu firmaları ihracat yapabilen nadir kuruluşlardır. Diğer üreticilerin ise büyük çoğunluğu TSE belgelidir.

Yapmış olduğumuz deneysel çalışmalarda Türk Standartları (TS 705) göz önünde bulundurulmuştur. Ancak Türk Standartları inşaat tuğlalarını delik oranlarına göre sınıflandırmıştır. Bunlar şöyledir:

- Dolu Tuğla (DOT),
- Seyrek Delikli Tuğla (SDT),
- Az Delikli Tuğla (ADT).

Bu çalışmada üretilmiş olan tuğlalar Dolu Tuğla (DOT) sınıfına girmektedir. TS’de tuğlaların minimum boyutları, hacim ağırlıkları ve mukavemet değerleri belirtilmektedir. Plastisite, küçülme ve su emme gibi özellikler belirtilmemiştir. Ancak üreticilerin deneyimlerine göre plastisite % 20-40, toplam küçülme % 7-8 ve su emme % 15-20 değerleri üretime uygun olarak kabul edilebilir.

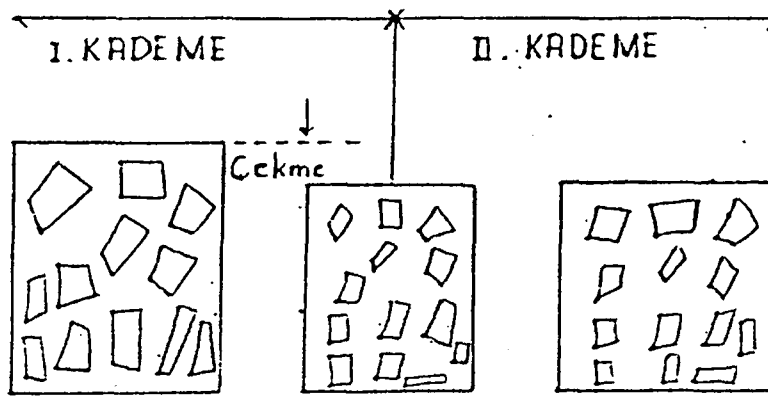
### 3. KİL HAMMADDELERİNİN ISIL DAVRANIŞLARI

#### 3.1. Kurutma Mekanizması (6,7,12)

Kurutmayla serbest suyun üründen uzaklaşması sağlanır. Pişme öncesi üründe kalan su uzaklaşmazsa pişirim sırasında porlardaki suyun ısınması ile aniden oluşan aşırı hacim genişlemesi ürünün çatlaması ve parçalanmasına sebep olabilir.

Şekillendirilmiş malzemede üç tip su bulunur :

1. Çevre suyu : Kaolinit, kuvars ve feldspat kristallerinin etrafını sarmış olan sudur. Kristaller bu suyun içerisinde yüzerler. Kurutmanın I. kademesinde bu su uçar.
2. Por suyu : Masse içerisindeki porları (gözenekleri) dolduran sudur. Kurutmanın II. kademesinde uçar.
3. Higroskopik su : Kaolinit kristalleri yüzeyinde bulunan ve miktarı az olan sudur. Ancak 120°C'de kurutmakla masseden uzaklaşır.



Şekil 3.1. Kilin Kuruma Mekanizması

Kurutma sırasında önce çevre suyu uçmaya başlar bu şekilde çekme olayı da başlamış olur. Diğer bir ifadeyle boyutlar küçülür. Çevre suyunun buharlaşması homojen bir şekilde olmalıdır, aksi halde kütlenin içinde bazı yerler kurur, bazı yerler ıslak kalır. Bu sırada iç gerilimler meydana gelir. İç gerilimler kütle mukavemetini aştığı anda “Çatlama” izlenir. Bu nedenle çevre suyu uzaklaştırılırken çok dikkatli olmalıdır.

Çevre suyu buharlaştıktan sonra kütlenin çekmesi durur ve kristaller birbirine dayanır. Fakat bu sırada kütlede yine de su mevcuttur. Bu, birbirine dayanmış kristaller arasındaki boşluklarda kalmış sudur. Yani por suyudur. Kütlenin çekmesi durduğundan por suyu uçarken bir çekme olmaz ve dolayısıyla bir çatlama tehlikesi yoktur. Por suyu uçtuktan sonra bir miktar su kalır. Bu higroskopik sudur ancak 120°C’de kurutma ile uzaklaştırılır.

Denge nemi ve kurutma hızı açısından kurutma prensiplerini inceleyelim:

Denge Nemi : Genellikle kurutma sırasında kurutulacak madde belli bir neme kadar kurur. Üzerinden hava geçmeye devam etse de değişmeyen bir denge halinde kalır. Maddenin tuttuğu bu su miktarına denge nemi adı verilir. Bu miktar denge haline karşılık olan değerden fazla ise, kütle bu duruma varıncaya kadar kurur. Buna karşılık aynı kütle denge durumuna karşılık gelen nemden az su içeriyorsa, belirli nem ve sıcaklık şartları altında bulunan hava ile karşılaştığı taktirde, dengeye ulaşıncaya kadar nem kapar. Olayın gelişmesi için gerekli zaman, şartlara göre uzun veya kısa olabilir, fakat sonuçta daima dengeye varılır. Seramik malzemelerde denge nemi sifıra yakındır.

Kurutma Hızı : Kurutulacak maddeler genellikle tabaka veya kütle halinde bulunur ve ihtiva ettikleri suyun dışarıya atılması oldukça karışık bir şekilde olur. Bu olayın birbirini izleyen bir buharlaşma ve bir de difüzyon olayına dayandığı kabul edilir. İki yüzeyi de kurutmaya tabi tutulan tabaka halinde bir maddeyi göz önüne alalım ve suyun madde kütlesine eşit şekilde dağıldığını kabul edelim. Bu tabaka havaya bırakılır bırakılmaz yüzeylerinde bir buharlaşma başlar ve buralardaki su konsantrasyonu düşer. Buharlaşmanın kısmen kuruttuğu yüzey ile henüz ıslak bulunan iç kısımlar arasında bir konsantrasyon farkı belirir. Bu fark nedeniyle iç taraftan yüzeye doğru difüzyon yolu

ile bir miktar su sürüklenir. Suyun buharlaşan kısmın yerine işgal etmek üzere difüzyona uğraması denge durumuna ulaşınca kadar devam eder.

Kurutma işlemi yapılan katı madde nemini belirli bir noktaya gelinceye kadar, değişmeyen bir hızla bırakır. Ondan sonra kuruma yavaşlar. Fakat olay yine düzgün bir şekilde denge nemi değerine kadar gelişir. Yavaşlamanın başladığı bu nokta, kritik nem miktarına karşılık gelir. Bunun değeri kurutulacak maddenin özelliklerine ve kurutma şartlarına göre değişir.

Kurutmaya etki eden faktörler şu şekilde özetlenebilir :

1. Kütlenin tane büyüklüğü ve dağılımı
2. Kütlenin bünyesindeki hammaddelerin mineral türleri
3. Bünyede eriyen tuzların olup olmadığı
4. Moleküllerin yapısal düzeni
5. Çevrenin rutubet koşulları
6. Ortamdaki hava sıcaklığı
7. Kurumaya giren malzemelerin boyut, şekil, su oranlarındaki uyum

### **3.2. Pişirme Sırasında Meydana Gelen Olaylar (6,7,12,13)**

Pişirme sırasında ürünlerin bünyesinde oldukça karmaşık bazı kimyasal değişimler ve gelişmeler oluşur.

#### **3.2.1. Suyun uzaklaştırılması**

İlk pişirme süresi boyunca uzaklaştırılan bünye suyu üç kısımda incelenir :

**1. Serbest Su :** Serbest bulunan su miktarı önce kullanılan minerallere daha sonra kurutma işleminin verimliliğine bağlıdır. Kurutma sistemleri yeteri kadar verimli çalışmadığı zamanlarda pişirme işleminin ilk zamanları da kurutmaya ayrılır. Bununla beraber çoğu fırın, kurutma için uygun değildir. Çünkü uygun bir kurutma için istenen sıcaklık arttırma hızı pişirme hızına göre çok yavaş kalır. Böylece doğacak olan iç

gerilmeler sonucu düzensiz küçülmeler ve çatlaklar oluşur. İlave olarak sıcak kısımlarda buharlaşan su, soğuk kısımlarda yoğunlaşarak yarı mamulleri nemlendirir. Bu olay da önce genleşme sonra küçülme vs. gibi istenmeyen olaylara neden olur. Yukarda anlatılan sebeplerden dolayı fırına konacak malzemenin iyice kuruması gerektiği anlaşılmaktadır. Pişmemiş ürün ne kadar az kuru ise pişirme sürecinin başlangıcındaki yavaş sıcaklık artırma sürecinin o kadar uzun ve hava akımının daha çabuk olması gerekir. Çünkü oluşacak fazla su buharının tasfiyesi gerekecektir. 60-80°C'ye kadar serbest su uzaklaştırılır.

2. Higroskopik Su : Kil minerallerinin içerdiği higroskopik su kurutma sırasında uzaklaştırılmaz. Uzaklaştırma için gerekli olan sıcaklık ve ısıtma hızı bünyenin mineralojik ve fiziksel yapısına bağlıdır. Higroskopik suyun atılması için önerilen en uygun ısıtma hızı 300°C'ye kadar 20°C/saat olarak belirlenmiştir.

3. Kimyasal Bağlı Su : Kil minerallerinin yapılarında bulunan kimyasal su yaklaşık 400°C'den itibaren bünyeyi terk etmeye başlar. Bu bölgedeki sıcaklık yeteri kadar yüksek olduğu için yüzeyde yoğunlaşma diye bir problem olmaz. Ayrıca higroskopik suyun uzaklaşması sürecinde bünyede bıraktığı gözenekler sayesinde kimyasal suyun bünyeyi terk etmesi oldukça kolaydır.

Ancak bir takım kimyasal bağların kırılması gerektiğinden bu reaksiyon, ısıtma hızına bağlı olarak, yaklaşık 800°C'ye kadar devam eder. Bu arada kil tabakaları arasında bir yaklaşma olduğundan kil minerallerinde küçülme görülür. Bu küçülme aynı sıcaklık bölgesinde kuvars dönüşümünden kaynaklanan genleşme ile giderilir.

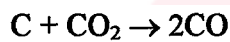
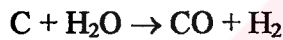
### 3.2.2. Oksitlenme ve Bozunma Reaksiyonları

Karbon : Bilindiği gibi bir çok kil hammaddesi belirli bir miktarda karbonlu malzeme içerir. Bu ve bilinçli olarak katılan diğer organik maddelerin yakılarak veya bozuşturularak ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Ayrıca pişirme sürecinin başlangıcında bünye alevden soğuk olduğundan oksitleyici şartlarda bile karbon bünye üzerinde birikebilir.

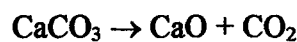
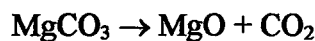
Organik safsızlıklar yaklaşık 400°C’de bozunarak CO<sub>2</sub>, CO ve H<sub>2</sub>O verip bünyede serbest karbon bırakırlar. Su buharı uzaklaştırılıp oksijen gözeneklere girmeye başladığı zaman karbonun yanması gerçekleşir. Bahsedilen bu yanma ve bozunma ürünleri sinterleşme başlamadan önce bünyeyi terk etmelidir. Eğer bu gerçekleşmezse ya iç kısım siyahlaşır (black core) veya kısmen erimiş ve sinterleşmiş bünyeden çıkan gazların oluşturduğu hava kabarcıkları ve kraterler oluşur. Oksitlenme işlemi 950°C’ye kadar tamamlanmalıdır. Bu konuda karar verebilmek için dikkat edilecek bir nokta da reaksiyon hızıdır. Genellikle 10°C’lik bir artış reaksiyon hızını iki katına çıkarır.

Düşük sıcaklıkta yanma işleminin gerçekleştirilmesiyle bünyede, güçlü bir yapı sağlanır. Diğer yandan seçilen sıcaklık değerinde reaksiyonun uygun bir hızda ilerlemesi gerekir. Kil ve kuvars bünyenin tamamen oksitlenmesi için 600-650°C yeterlidir. Yanma hızı yanıcı maddenin miktarından çok, bünyedeki tane büyüklüğü ile ilgilidir.

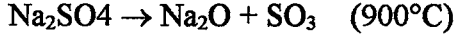
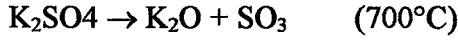
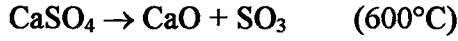
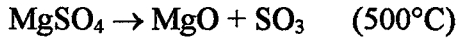
Aşağıda belirtilen kimyasal reaksiyonlar ile 1000°C’de su buharı ve CO<sub>2</sub> içeren bileşiklerde serbest karbonun varlığı önlenmiş olur.



**Karbonatlar :** Karbonatlar 400-1000°C arasında bozunarak gaz ve oksit ürünlerine dönüştürler. Her bir sıcaklık değeri için gaz ürünün bir denge basıncı vardır. Bu denge basıncı aşıldığında bozunma tamamlanamadan gözenekler tıkanmaya başlar. Sıcaklık ile beraber bu gaz basıncı da artacağından şişen ve kabaran gözenekler oluşur. Magnezyum karbonat 408°C’de, kalsiyum karbonat ise 894°C’de karbon dioksit açığa çıkarır.

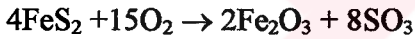
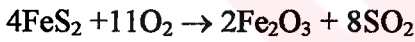


Sülfatlar : Seramik hammaddelerinin içindeki  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{KSO}_4$  gibi sülfatlarda 500-1000°C arasında bozunurlar.

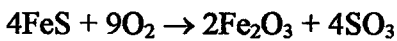
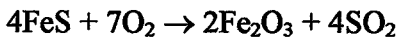
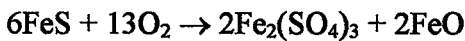
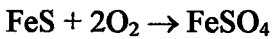


Açığa çıkan  $\text{SO}_3$  fırın atmosferinde yoğunlaştığı zaman sırları etkileyerek sır yüzeyi bozulmalarına sebep olur.  $\text{SO}_3$  camlaşmaya geçene kadar çamur bünyesini terk etmezse yine karbonatlar gibi şişme ve kabarmalara da sebep olurlar.

Pirit : Isı etkisi altında yeterli oksijenin bulunduğu bir ortamda bozunarak demir oksit ve kükürt dioksit verir. Oksijenin fazlası varsa kükürt dioksit ile beraber trioksit de oluşur.



Yavaş ısıtma, yeterinden fazla ve hızlı oksijen akımı ile bu reaksiyonlar 425°C'de olur. 510°C'e kadar kükürtün % 95 kadarı ortamdaki uzaklaşmış olur. Eğer ısıtma ani olursa kükürtün uzaklaştırılması tamamlanamaz ve farklı reaksiyonlar olur.



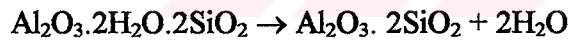
Karbon-Kükürt : Eğer karbon ve kükürt hammaddede beraber bulunuyorlarsa piritin önce tutuşabilmesine rağmen karbon önce yanar, karbon yanınca kadar kükürt kendi yanması için gerekli olan oksijeni bulamaz. Bu arada sıcaklık da yükseldiği için

demirsülfat oluşma olasılığı artar. Bu da yukarıda izah edilen güçlükleri beraberinde getirir. Bu nedenle bu gibi durumlarda fırın rejiminin çok iyi ayarlanması gerekir.

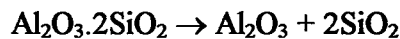
**Demir Oksitler :** Genelde bütün seramik bünyeler az çok demir III oksit içerir. Bu yüzden onun getireceği renk değişiklikleri ve pişme süreçlerinde neden olacağı oksijen çıkışı göz önüne alınmalıdır. Genel olarak içindeki diğer maddelerin cinsine bağlı olarak demir III oksit 1100°C üzerindeki çeşitli sıcaklıklarda bozunarak oksijen verir. Eğer bünye demir III oksitin bozunmasından önce sinterleşirse çıkan gaz bünyeyi terk edemeyeceğinden şişme denilen olaya neden olur. Bu yüzden eğer fırının çalışma şartları demir oksiti indirgeyecek ise demir III oksit sinterleşme başlamadan önce mutlaka indirgenmelidir. Eğer ürün tuğla kırmızısı veya kahverengi olarak isteniyorsa indirgenen demir III oksit 1300°C altında tekrar oksitlenmelidir.

### 3.2.3. Kilin Isıl Davranışı

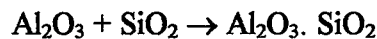
Organik maddelerin yanışı ve karbonat ile sülfatların bozunumu egzotermik bir reaksiyondur. Bu sırada seramiği oluşturan kil ve kaolenlerin bünyesinde de çeşitli reaksiyonlar oluşmaktadır. Kaolinit 550°C’de kimyasal suyunu kaybederek meta kaolinit haline dönüşür.



Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyondur. Fırın sıcaklığı 850°C’ye yükseldiğinde,



Meta kaolinit  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ’e dönüşür.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  asitlerde çözünebilir özelliktedir. Isı 900°C’ye yükselince  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tekrar  $\text{SiO}_2$  ile birleşir ve silimanit oluşur.



Ve böylece artık  $\text{Al}_2\text{O}_3$  asitlerle reaksiyona girmez hale gelir.

Isının yükselmesi ile 1000°C'e ulaşıldığında Mullit oluşur. Bu reaksiyon yine egzotermik bir reaksiyondur. Sıcaklık artışı ile Mullit oluşumu artar. 1000°C ısıda artık seramik bünyesinde kristal yapı oluşmaya başlar. Sıcaklık yükseldikçe kil ve kaolenden dolayı mullit yüzdesi giderek artar. Mullit kristalleri iğnesel olup, birbirleri içine girerek seramik bünyenin mekanik sağlamlığını sağlarlar. Mullit kristallerinin kısmen esnek yapıda olması, seramiğin baskı ve darbeler karşısında kolay kırılmayacak dayanıma ulaşmasını sağlar.

#### **3.2.4. Feldspatların Isıl Davranışları**

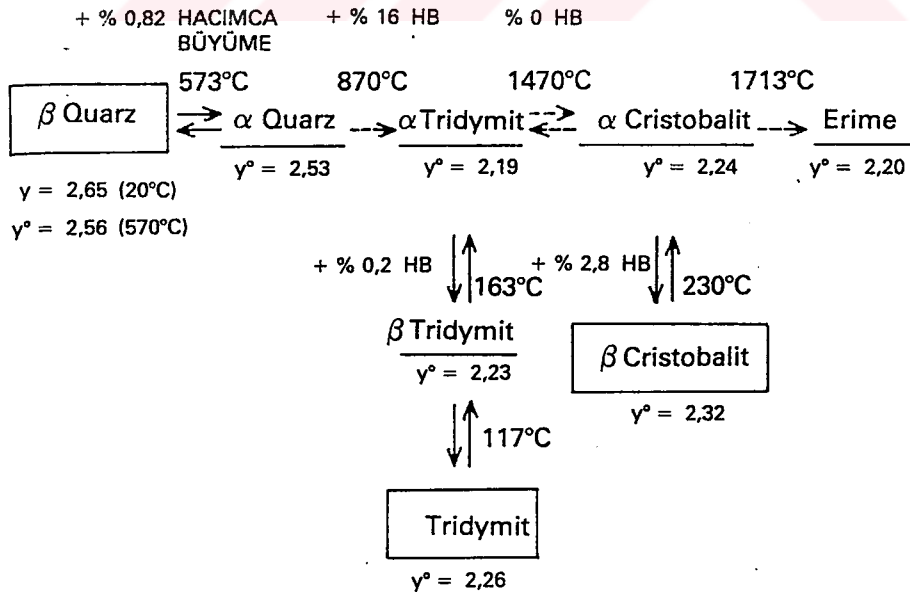
Pişme sırasında çamur ve sırda bulunan feldspat 1100°C'tan itibaren erimeye başlar. Eriyen feldspat cam fazı oluşturur. Camlaşan feldspat, kil, kaolen ve kuvarsın etrafını çevreler ve kendi erirken eritmeye de başlar. Camlı faz feldspatla oluşurken, killerin içindeki feldspatlar da kil bünyesinde cam fazı oluştururlar. Isı yükseldikçe feldspat tamamen erir. Bu erime sırasında kuvars cam faza çok az karışır. Çözünmeden kalabilen SiO<sub>2</sub> seramik ürünlerde cam faza ulaşan bünyenin deformasyonunu önleyen iskelet görevini yüklenir. Cam faz arttıkça şeffaflık artar.

#### **3.2.5. Kuvarsın Isıl Davranışı**

Killerin bileşimine giren safsızlıklar kilin özelliğini bozabilir. Bunların başında serbest silis gelir. Serbest silis plastisiteyi düşürür, kuruma ve pişme sırasında büzülmeyi azaltır. Seramik sanayiinde kuvarsın ısıya bağlı olarak kristal dönüşümleri sırasındaki genişmesi pratikte oluşturduğu sorunlar açısından çok önemlidir. Bu dönüşümler aşağıda verilmektedir (4).

Tablo 3.1. Isıya Bağlı Olarak Kuvars Dönüşümleri

| İlk Şekil        | Öz.Ağır.<br>gr/cm <sup>3</sup> | Sıcaklık<br>°C       | Dönüşüm<br>Şekli | Öz.Ağır.<br>gr/cm <sup>3</sup> | Genleşme<br>% |
|------------------|--------------------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|---------------|
| Alfa Kuvars      | 2.65                           | 573 <sup>0</sup>     | Beta Kuvars      | 2.60                           | 2.4           |
| Alfa Tridimit    | 2.32                           | 117 <sup>0</sup>     | Beta Tridimit    | 2.32                           | 0             |
| Beta Tridimit    | 2.32                           | 163 <sup>0</sup>     | Beta Tridimit    | 2.32                           | 0             |
| Alfa Kristobalit | 2.32                           | 220-275 <sup>0</sup> | Beta Kristobalit | 2.21                           | 5.6           |
| Beta Kuvars      | 2.60                           | 870 <sup>0</sup>     | Beta Tridimit    | 2.32                           | 12.7          |
| Beta Tridimit    | 2.32                           | 1470 <sup>0</sup>    | Beta Kristobalit | 2.21                           | 5             |
| Beta Kristobalit | 2.21                           | 1128 <sup>0</sup>    | Vitre Silika     | 2.21                           | 0             |
| Alfa Kuvars      | 2.65                           | -                    | Vitre Silika     | 2.21                           | 20            |
| Beta Kuvars      | 2.60                           | -                    | Vitre Silika     | 2.21                           | 17.6          |
| Beta Tridimit    | 2.32                           | -                    | Vitre Silika     | 2.21                           | 5             |
| Kuvars           | -                              | 1470 <sup>0</sup>    | Likit Silika     |                                |               |
| Tridimit         | -                              | 1670 <sup>0</sup>    | Likit Silika     |                                |               |
| Kristobalit      | -                              | 1710 <sup>0</sup>    | Likit Silika     |                                |               |
| Alfa Kuvars      | 2.65                           |                      | Alfa Tridimit    | 2.32                           | 14.2          |
| Alfa Kuvars      | 2.65                           |                      | Alfa Kristobalit | 2.32                           | 14.2          |

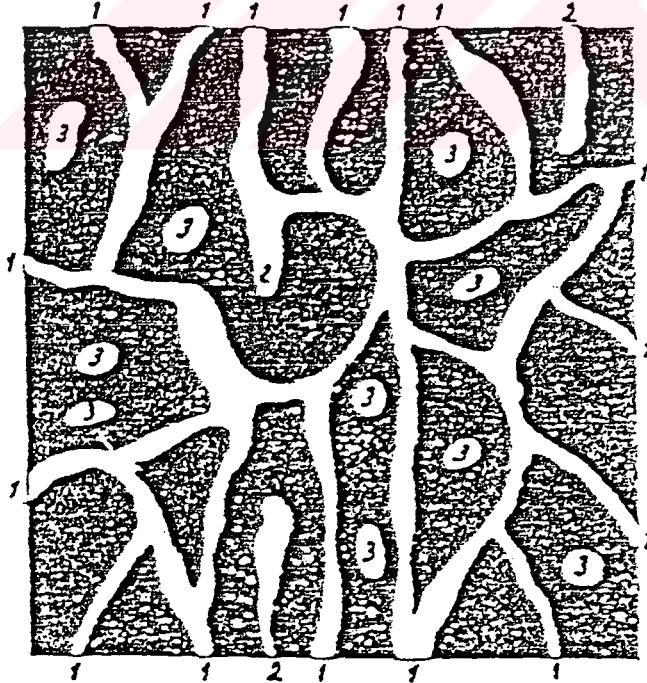


Şekil 3.2. Kuvarsın Isıl Genleşme Reaksiyonları

#### 4. KİL HAMMADDELERİNİN YAPISINA GENEL BAKIŞ

Kil hammaddelerinde, yapı elemanlarının (Taneler, porlar vs.) şekli, boyutu ve karşılıklı bağlanmaları yani skaler özellikleriyle ilgili olan nitelikler “STRUKTUR” olarak adlandırılmaktadır. Şayet bu nitelikler yapı elemanlarının belli bir hacim içinde sıralanmaları yani vektöriyel özellikleriyle ilgiliyse, bunlar “TEXTUR” adı altında özetlenir. Kil hammaddeleri hem bileşenlerinin kısmi miktarlarına, hem de karışımlarının kalite ve cinsine bağlı olan poroz yapılar olarak düşünülebilir (14). Karışımın kalitesi ve cinsi herşeyden önce boşluk hacminin boyutu ve şekline bağlıdır. Bu tip boşluk hacimleri için aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir (15).

1.  $> 1$  mm boş hacimler (çatlak, boşluk)
2. Tüm poru çevreleyen kapiler hacimler; buradaki boşluk hacimleri üçe ayrılır:
  - a)  $> 25$  mikron çapındaki kaba porlar
  - b)  $25-0.1$  mikron çapındaki ince porlar
3.  $< 1$  mikron çapındaki nokta hacimler



Şekil 4.1. Kil Hammaddelerinde Görülen Por Şekilleri

1. Kanallar, 2. Keseler, 3. Kabarcıklar

Malzeme yapısında bulunan porlar şekillerine göre üçe ayrılmaktadır (Şekil 4.1 ).

1. Açık porlar (Kanallar)
2. Tek taraflı açık porlar (Keseler)
3. Kapalı porlar (Kabarcıklar)

Açık ve kapalı porlar arasındaki tek fark, Şekil 4.1’de de görülen açık porların malzemenin üst yüzeyi ile yani hava ile olan bağlantısıdır. Kapalı porların ise hava veya diğer porlarla teması yoktur.

Kesitler elips veya yaprak şeklindedir. Por kesitlerinin boyutu ve şekli kısa mesafelerde devamlı değiştiğinden, sadece yaklaşık olarak yapılabilecek matematiksel kabul bile mümkün değildir. Bu yüzden hesaplamalar için porlar dairesel silindirik borular olarak idealize edilmektedir. Bunların yarıçapları ise, doğal porlarda olduğu gibi (hidrolik ekuvalent yarıçapı) verilen koşullarda eşit hızlı bir akıntı mevcutmuş gibi seçilir.

#### **4.1. Özgül Ağırlık ve Hacim Ağırlığı Kavramı (16)**

Pişmiş refrakter malzemelerin bünyelerinde mevcut olan porozite, katı maddelerin bir özelliği olarak kabul edilen özgül ağırlık ile, hacim ağırlığı arasında bir ayrım yapılmasına neden olur. Burada hacim ağırlığı, katı maddeden ve porlardan oluşan tüm yapının yoğunluğunu verir (Bulk yoğunluğu).

Yüksek hacim ağırlığına sahip malzemelerde, tuğla harmanının iyi yoğunlaşması sayesinde mekanik mukavemet yükselmektedir. Aynı şekilde diğer tuğla özellikleri de düşük porozite yani yüksek hacim ağırlığı sayesinde iyi yönde etkilenmektedir. Tuğlaların üretiminde yüksek hacim ağırlığı, başka bir deyişle düşük porozite, üreticilerin üzerinde çalıştıkları konulardan biridir. Burada, hazırlanan harmanın tane boyutu dağılımı, pres basıncı ve pişirme sıcaklığı göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Bunlardan harman bileşimi üzerinde yapılan çalışmalar en önemli

kademeyi teşkil eder. Nitekim endüstride tuğla üretiminde seçilecek pres basıncı, çeşitli teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı sınırlı kalmaktadır. Pres basıncının artırılması demek, tuğlanın daha küçük hacime preslenmesi demektir. Fakat burada bir optimum nokta vardır. Bu noktadan sonra pres basıncının artırılması hacim ağırlığını değiştirmemektedir. Ayrıca yüksek pres basınçlarında harman bileşenlerinin yapı içinde kırılması ile tane küçültücü bir etki ortaya çıkacaktır. Bu da granülasyon çalışmalarının amaçsız kalmasına neden olur. Nitekim bu durumda, tamamen toz malzemeyle çalışılıp, bunun tuğla şeklinde preslenmesi söz konusu olur ki, bu pratik olarak mümkün değildir. Pişirme sıcaklığının seçilmesinde de aynı tür problemler bulunur. Pişirmede sinterlenmeyi güçlendirmek için yüksek sıcaklıklara çıkmanın çoğu durumda dezavantajları ortaya çıkar. Örneğin pişme esnasında oluşan camsı fazların nihai tuğla mukavemetine ve dayanımına kötü etkileri ortaya çıkabilir. Ayrıca yüksek pres basıncı ve yüksek sıcaklıkta pişirme, maliyetleri de artırır.

Hacim ağırlığı; kil hammaddelerinin kütlesinin içinde porların mevcut olduğu toplam hacme bölümü şeklinde tanımlanmaktadır. Şekillendirilmiş veya kırılmış parçalarda hacim ağırlığının belirlenmesi, DIN 51065'e uygun olarak ya hidrostatik terazi yardımıyla, ya civa basma yöntemiyle veya ölçüm yoluyla bulunur. Şayet taneli malzemenin hacim ağırlığının belirlenmesi söz konusu ise, bu durumda vakum altında civa kullanılır (DIN 51065).

Hacim ağırlığının belirlenmesinde su ile yapılan deneylerde porların tam dolmamasının yani beklenenden daha düşük porozite çıkmasının sebebi, sıvının mikroporlara çok yavaş difüze olmasında ve bundan dolayı da normalde belirtilen sürenin dolması için yeterli olmamasında aranmalıdır. Bu tür bir difüzyon ayrıca gazların yüzeyde adsorbe olmaları ve buna bağlı olarakta oluşan daralma nedeniyle, daha doğrusu mikroporların dolması nedeniyle güçleşmektedir. Örneğin bileşimi aynı kalan bir malzemenin sinterlenmesinde yoğunluk değişimi söz konusuysa bu şekilsel olarak doğrudur. Ama mikroporozitenin küçülmesiyle, yoğunluk değişimine neden olduğu hesap edilmelidir.

Özgül ağırlık ise malzemenin kütlesini hacmine bölümü şeklinde tanımlanmaktadır. Burada hacme porlar dahil edilmemektedir. Özgül ağırlık belirlenmesi, DIN 51057'e uygun olarak piknometre ile yapılmaktadır. Bu amaçla, özgül ağırlığı belirlenecek

malzeme  $< 0.063 \text{ mm}$ 'e öğütülür. Burada amaç, ayrı ayrı her tanedeki kapalı porları tümüyle ortaya çıkarmaktır. Piknometre sıvısı olarak saf su, nadiren Xylol veya eğer malzeme hidrolize olmaya yatkınsa Petroleum kullanılır.

#### **4.2. Kil Hammaddelerinde Tane Boyutu Dağılımı ve Paketleme Yoğunluğu**

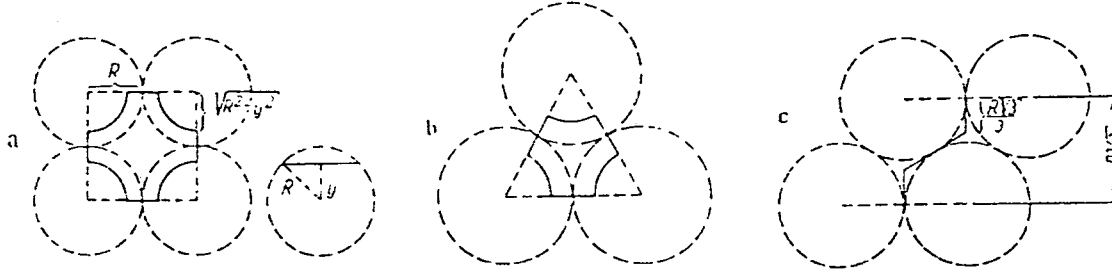
Kil hammaddelerindeki porozite ve por büyüklüğü ilk aşamada tane boyutu dağılımına ve tanelerin paketlenme yoğunluğuna bağlıdır. Bunun yanında, kullanılan hammaddelerin özgül poroziteleri ve türleri, pişirmenin türü ve yüksekliği ve seçilen pres basıncı da poroziteyi etkilemektedir.

##### **4.2.1. Küresel Tanelerin Paketlenmeleri**

Tuğla sanayindeki pratik uygulamalarda sıkışma vasıtasıyla amaçlanan bağlanma şekline dolayı taş kırıntısı şeklinde ve çok yer tutan taneler tuğla üretiminde tercih edilmesine karşın, teorik model denemelerinde ve araştırmalarda bilya şeklindeki tanelerin basitleştirilmiş paketlenme yoğunluğundan faydalanılır. Eşit boyuttaki bilyaların paketlenmesinde hacim doluluğu, ayrı ayrı her bilyanın temas noktalarının sayısına bağlıdır. Mümkün olan en sıkı paketlenmede bu sayı 12'dir (Kordinasyon sayısı 12). Fakat bu kadar yüksek kordinasyon sayısına veya buna bağlı olan yoğunluk değerine genelde erişilemez. Kurşun bilyaların rastgele şekilde bir kaba dökülmesiyle, en sık rastlanan kordinasyon sayısı değeri olarak 7 bulunmaktadır (17). Vurma ve sarsmalar vasıtasıyla bu değer 8'e kayar. Burada ayrıca küçümsenemeyecek miktarda çok olan 10, 11, 12 yerel kordinasyon sayıları da oluşmaktadır.

Erişilen yoğunluk değerinin kap büyüklüğü ile tane boyutu arasındaki orana ve kabın şekline önemli ölçüde bağlı olduğu unutulmamalıdır. Kenarlarda meydana gelebilecek bozukluklar eğer dökülen hacim  $1 \text{ m}^3$  ve dökülen tane çapı  $1 \text{ mm}$  ise ortaya çıkmaz. Meydana gelebilecek bu bozukluklar tane yarıçapı ile kap hacmi arasındaki orana bağlıdır. Nitekim tane boyutu büyüyüp kap hacmi küçüldüğünde bu tür bozuklukların meydana gelme ihtimali artar.

Bilyalar arasında oluşan boşluklar ya 4 ya da 3 köşeli kesite sahiptir. Kesitlerin boyutları ise yerel olarak değişmektedir (Şekil 4.2.a-b-c). Tablo 4.1’de farklı bir şekilde paketlenmiş bilyaların içinde oluşan boşlukların ortalama kesit büyüklükleri, ortalama kesitin yarıçapına eşit ekvalent yarıçapları (  $r$  ) ve en küçük kesite sahip dairenin yarıçapı verilmektedir.



Şekil 4.2 a-b-c . Küresel tanelerin paketlenmesinde oluşan boş hacimler (18)

- a) Kordinasyon sayısı 6 olan bir paketlenmenin yatay düzlemindeki 4 köşeli kesiti.
- b) Kordinasyon sayısı 8 olan bir paketlenmenin yatay düzlemindeki 3 köşeli kesiti.
- c) Kordinasyon sayısı 8 olan bir paketlenmede alansal kesite sahip kanalların uzunluğu.

Tablo 4.1. Değişen Kordinasyon Sayısına Bağlı Olarak Tek Tip Tanelerin Paketlenmesinde Oluşan Boşlukların Büyüklüğü  $R$ =Bilya yarıçapı (6).

| Koordinasyon sayısı | Porozite % | Boşluk şekli kesiti | Ortalama kanal kesiti | Ekvalent yarıçapı $r$ | En küçük dairenin yarıçapı $e$ | Relatif kanal uzun. $le/l$ |
|---------------------|------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 6                   | 47.64      | 4 köşe              | $1.907R^2$            | $0.778R$              | $0.414R$                       | 1                          |
| 8                   | 39.54      | 4 köşe              | $1.21R^2$             | $0.620R$              | $0.414R$                       | 1.333                      |
|                     |            | 3 köşe              | $0.684R^2$            | $0.466R$              | $0.1547R$                      | 1                          |
| 12 (hegza.)         | 25.95      | 3 köşe              | $0.512R^2$            | $0.403R$              | $0.1547R$                      | 1                          |
|                     |            | 3 köşe              | $0.423R^2$            | $0.368R$              | $0.1547R$                      | 1.5                        |
| 12 (küb.)           | 25.95      | 3 köşe              | $0.479R^2$            | $0.390R$              | $0.1547R$                      | 1.25                       |

Yukarıdaki mevcut porlardan oluşan kanallar kısmen düz, kısmen de kırıklı bir şekilde paketi katetmektedir (Şekil 4.2.c.). bundan dolayı kanal uzunluğunda ( $l_c$ ) relatif olarak bilya paketinin kalınlığına ( $l$ ) bağlı olarak alınmıştır (Tablo 4.2).

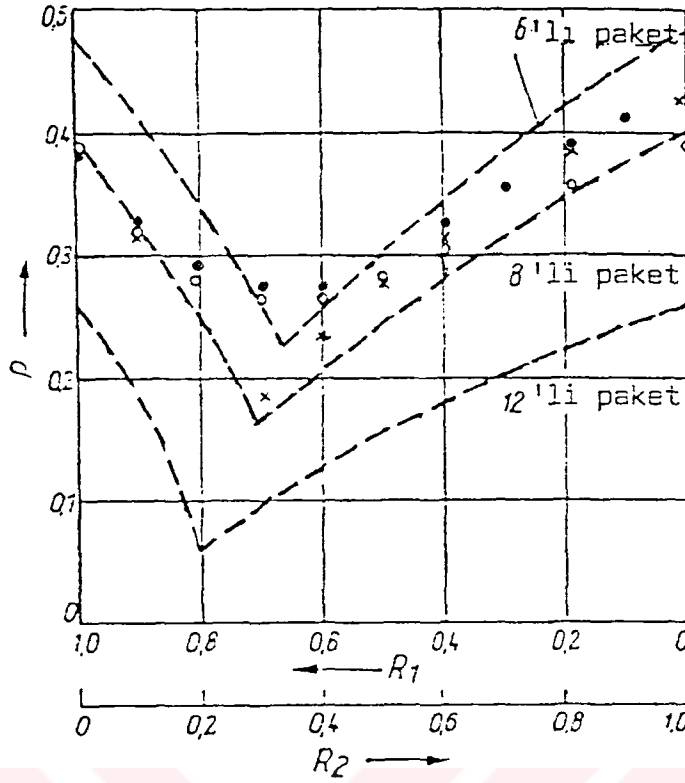
Oluşan porozite, bilyaların çapından relatif büyüklük olarak bağımsızdır. Fakat bilya yarıçapı ( $R$ ), ortalama kesitlere ve boşlukların yarıçaplarına belirleyici olarak girmektedir. Burada bilya yarıçapı ne kadar küçükse kanallarda o kadar daralır.

Tablo 4.2.  $R_1/R_2 \approx 50$  olan 2 farklı Tür Bilyadan Oluşan Karışımlarda En Sıkı Şekilde Paketlenmiş Yapının Karışım Oranları ve En Düşük Poroziteler (19).

| Kordinasyon sayısı | En düşük porozite $P_{min}$ % | $P_{min}$ için karışım oranı |               |
|--------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|
|                    |                               | Büyük bilya %                | Küçük bilya % |
| 6                  | 22.7                          | 67.7                         | 32.3          |
| 8                  | 15.6                          | 71.6                         | 28.4          |
| 12                 | 6.73                          | 79.4                         | 20.6          |

Bu modellemekten bir takım pratik sonuçlar çıkarılabilir. İnce tanelerden inşa edilmiş kil yapıları, gerçi kaba tanelerden yapılmış olanlar gibi eşit poroziteye sahiptirler ama yapıdaki ince tanelilik arttıkça porlardan oluşan kanallar daha daralmaktadır.

Modelde görüldüğü gibi 2 farklı bilya boyutu kullanıldığı zaman, burada küçük olan büyüklerin arasındaki boşlukları doldurur, paketlenmiş yapının porozite değeri önemli ölçüde küçülür. Pratik açıdan önemli ve uygun olan durum 2 farklı bilyanın yarıçapları oranının 1:50 olduğu durumdur. Bu şartlar altında yapılan hesaplamalara göre farklı kordinasyonlara sahip sıkı paketlenmiş yapılar için, Tablo 4.2’de porozitenin mümkün olan minimum değerleri görülmektedir.



Şekil 4.3.  $R_1/R_2 \approx 50$  olan 2 bileşenli Karışımlarda Karışım Oranının Fonksiyonu Olarak Porozite Değişimi (15).

- x :  $R_1/R_2 = 50$  olan kum karışımları
- o :  $R_1/R_2 = 6.3$  olan kum karışımları
- :  $R_1/R_2 = 8$  olan kum karışımları.

Şekil 4.3'de her iki tane boyutunun karışım oranlarına bağlı olarak porozitenin 3 farklı kordinasyonda değişimi gösterilmiştir (Çizgili eğriler). Bunun yanında ise bu eğrilerden ayrı noktalar olarak farklı yarıçap oranlarına sahip kum karışımlarıyla yapılan dökme deneylerinin sonucunda elde edilen poroziteler bulunmaktadır. Pratik sonuçların hesaplanan eğrilerle karşılaştırılması, dökmek suretiyle oluşturulan paketlenmiş yapılarda, kordinasyon sayısının 6-8 arasında olduğunu gösteriyor. % 20'lik en düşük poroziteye  $R_1 = 0.224$  cm olan % 70'lik kaba kum ile  $R_2 = 0.0045$  olan % 30'luk ince kum karışımı ( $R_1/R_2 \approx 50$ ) sahiptir. bu porozite değeri de tek tip bilyaların paketlenmesi sonucu elde edilen % 26'lık porozite değerinden daha iyidir.

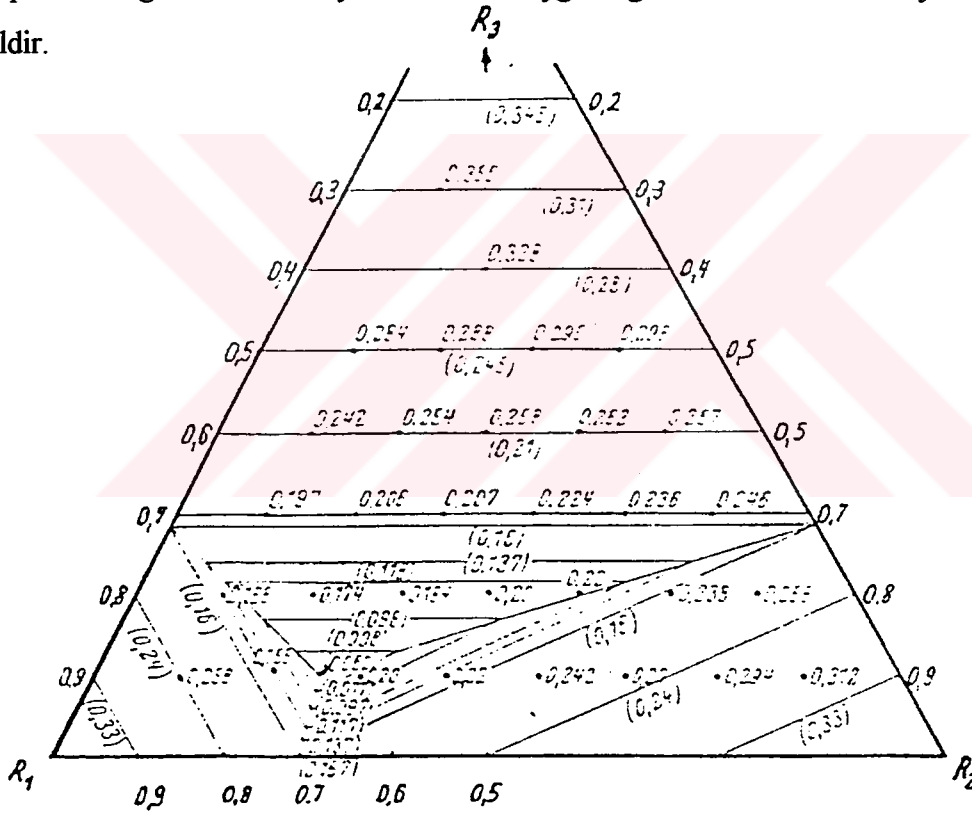
$R_1 \geq R_2 \geq R_3$  boyut ilişkisine sahip 3 bilya boyutu kullanıldığında, paketlenmiş yapının kordinasyon sayısı 8 olduğu zaman, oluşturulan en sıkı paketlenme % 6.18'lik bir porozite içermektedir (20). Buradaki karışım;

% 64.45  $R_1$  bilyası

% 25.25  $R_2$  bilyası

% 10.07  $R_3$  bilyasından ibarettir.

Şekil 4.4'deki 3'lü diyagram, yapılan hesaplamalara göre bulunan eş porozite doğrularını (20) ve  $R_1 = 0.224$  cm,  $R_2 = 0.0045$  cm ve  $R_3 = 0.036$  cm olan 3 bileşenli kum karışımının döküm deneyinin (19) sonuçlarını içermektedir (Noktalar). Hesaplanan değerler ile deneysel verilerin uygunluğu o kadar memnuniyet verici değildir.



Şekil 4.4.  $R_1 \geq R_2 \geq R_3$  boyut ilişkisine sahip 3'lü karışımda karışım oranlarının fonksiyonu olarak porozite değerleri.

Eğriler: Eş porozite eğrileri, Bu eğrilere ait porozite değerleri parantez içindedir (20).

Noktalar: Döküm deneyi sonuçları (19).

Sayılar : Döküm deneyinde elde edilen porozite değerleri

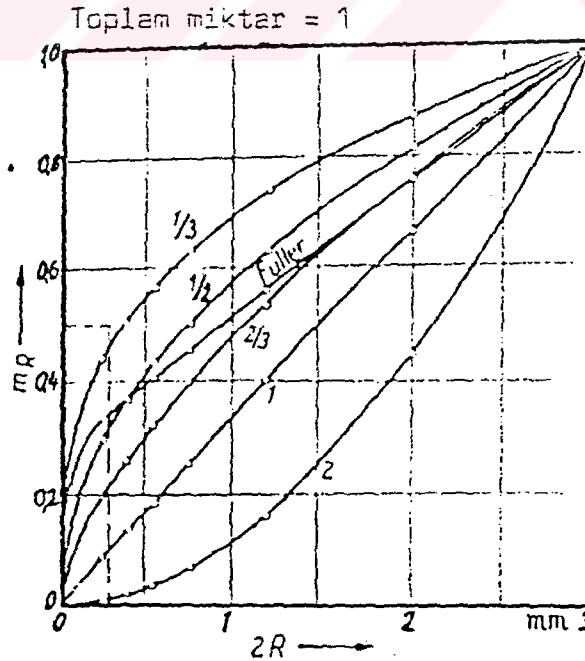
Kordinasyon sayısı 8 olan en sıkı paketlenmeye erişmek için yarıçapların basamaklandırılması ( $R_1/R_2 \approx 6.2$  ve  $R_2/R_3 \approx 8$ ) yetersiz kahr. En sıkı paketlenmiş ikili karışım, % 18.5 (teorik % 15.6) en sıkı üçlü karışım ise % 15.5 (teorik % 6.18) poroziteye sahiptir. hesaplama ile deneysel veriler arasındaki uygunluk yarıçap oranı  $R_1/R_2 \approx 50$  olan iili sistemde beklenildiği gibi daha iyidir.

Çok farklı tane boyutuna sahip karışımlarda mevcut segregasyon tehlikesini ortadan kaldırmak için farklı tane basamaklarından ibaret mümkün olan en sıkı paketlenme inşa edilmektedir (21). Buradaki tane basamaklarının tane boyutları, geometrik bir sıraya göre dizilmiştir. Aynı ayrı her fraksiyonun sahip olduğu malzeme miktarı

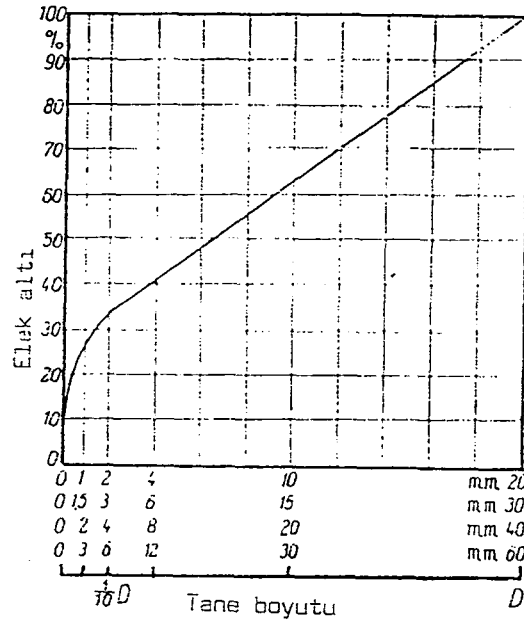
$$d_m / m = q d_R / R$$

ilişkisini yerine getirmektedir. Yani malzeme miktarının relatif değişimi yarıçap değişimiyle sabit oranda ( $q$ ) kalmalıdır. Şayet bu ilişkiyi integre edersek, buradan sıkı paketlenmeler için dağılım eğrisi ortaya çıkar. Paketlenme  $q$  ne kadar küçük ise o kadar sıkı olur (Şekil 4.5).

$$M_R = (R / R_{\max}) q$$



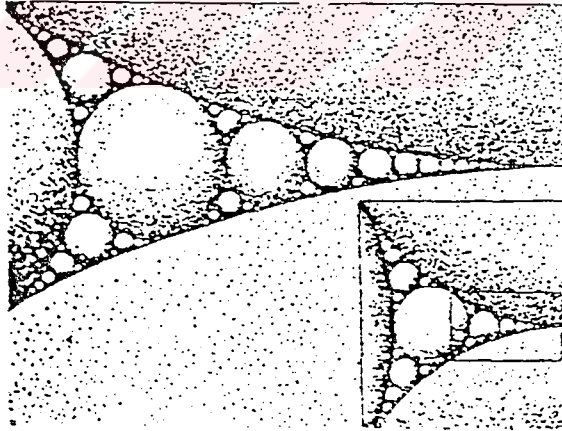
Şekil 4.5. Sıkı Paketlenme İçin Toplam Tane Boyut Dağılımı Eğrisi.



Şekil 4.6. Fuller Eğrisi (22).

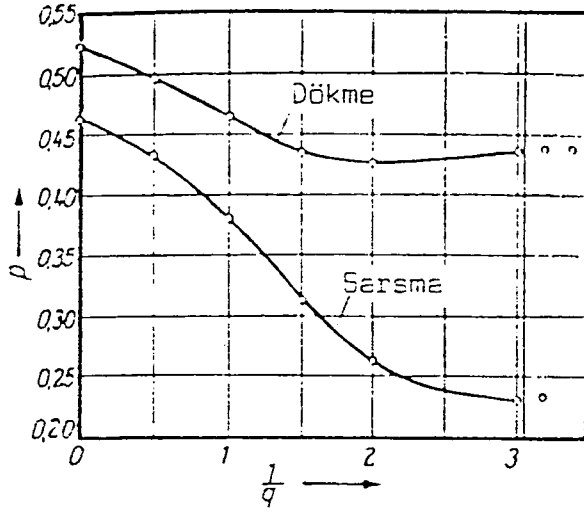
Yoğun beton paketlenmeleri için hesaplanan FULLER eğrisi,  $q$ 'nın  $2/3-1/4$  değerlerine denk gelen dağılım eğrilerinin arasında kalmaktadır. Bu durum Şekil 4.5 ve 4.6'da görülmektedir.

Şekil 4.7'de ise bu tür bir sıkı bilya paketlenmesinin şematik yapılanması görülmektedir (23).



Şekil 4.7. Sıkı Bir Bilya Paketlenmesinin Oluşumu (23).

Farklı  $q$  değerine sahip karışımların, gerek basitçe dökülerek gerekse sarsma yoluyla elde edilebilir yoğunlukları ise Şekil 4.8'de gösterilmektedir (21). Porozite değeri burada 2'li ve 3'lü karışımlardan daha yüksektir.



Şekil 4.8. Farklı  $q$  Değerlerine Sahip Flint Karışımlarının Porozite Değişimi (21).

#### 4.2.2. Pratikte Elde Edilen Sonuçlar

Kil yapılarında kullanılan hammaddeler, öğütme sırasında ekseri düzensiz biçime sahip taneler olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapılacak pratiğe yönelik çalışmalarda, bilya paketlenmesinden elde edilen sonuçlar ancak bir çıkış noktası olarak kabul edilebilir. buradan çıkarak pratikte kullanıma sunulabilecek en uygun tane boyut dağılımları oluşturulabilir.

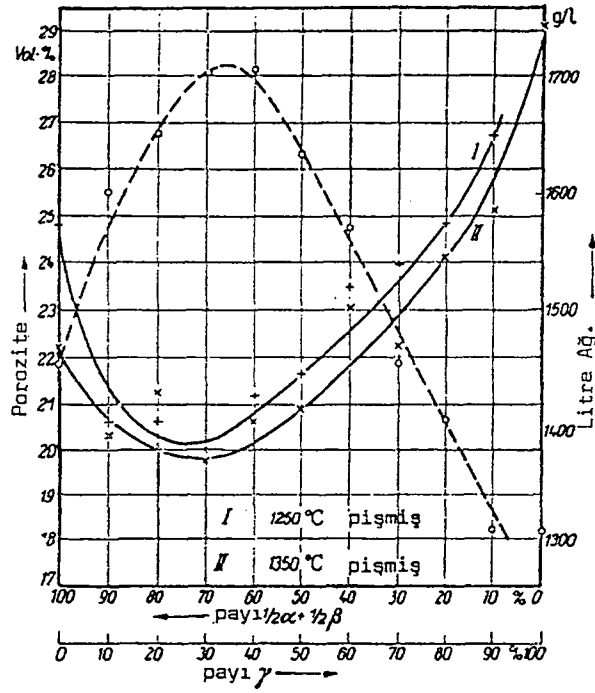
Bu bölümde şamot refrakterler göz önüne alınmış en uygun tane boyut dağılımı sorusuna cevap aranmıştır (24). 3 farklı tane fraksiyonu kullanılarak yapılan deneylerde

$$\alpha = 2-5 \text{ mm}$$

$$\beta = 0.25-2 \text{ mm}$$

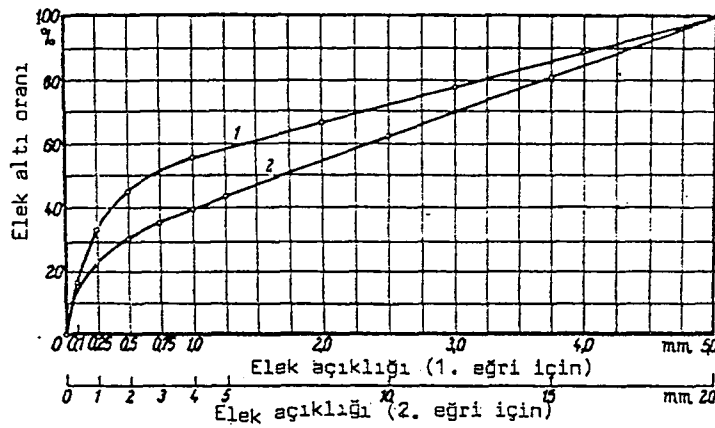
$$\gamma < 0.25 \text{ mm}$$

olarak seçilmiştir. % 20 bağlayıcı kil ilavesiyle oluşturulmuş  $(\alpha/2 + \beta/2) \approx \% 70$  ve  $\gamma \approx \% 30$  karışımı, pişirmeden sonra belli bir yoğunluk maksimumu göstermiştir (Şekil 3.8).



Şekil 4.9. ----- Şamotun Litre Ağırlığı ————— Malzemenin Görünür Porozitesi.  
Değişik Tane Karışımlarının Dolum Ağırlıkları ve Bunlardan % 20 Bağlayıcı Kil İlavesiyle Üretilmiş Tuğlaların Görünür Poroziteleri (24).

Tane boyut bileşiminin belli bir boyutta yani belli bir fraksiyon içindeki yer değiştirmesinin yoğunluk üzerine etkisi pek azdır. Şamot ile yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen en uygun tane boyut dağılımı, Şekil 3.5'de gösterilen FULLER eğrisine benzerdir. Sadece şamot karışımında, ince toz miktarı bir miktar daha fazladır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Sıkı Paketlenmiş Yapının, Tane Boyut Dağılımı

- 1- Şamot karışımı
- 2- Beton katkıları

Daha sonra silika tuğlalar üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar, şamot için elde edilen eğrinin silika tuğlalar için de kullanılabileceğini göstermiştir. Buna karşın silika tuğlalar, şamot malzemelere nazaran hammadde ne kadar ince ise o kadar büyük bir porozite içerirler. Çünkü ayrı ayrı küçük kuvars taneleri, pişme esnasında boşluksuz bir tane oluşturmak üzere sinterlenemezler.

#### 4.2.3. İşletmede Alınacak Önlemlerin Poroziteye Etkisi

Gerek kırma gerekse öğütmeyle yapılan tane boyutunu küçültme işlemlerinde kullanılan farklı yöntemler farklı tane boyutu ve şekli sağladıkları için pratik olarak optimum bir tane basamaklandırılması tutturulamamaktadır. Çarpma ile çalışan makinalar, tanelere daha çok keskin köşeli ve taş kırıntısı şeklinde biçim verirken, sıkışma veya yontma şeklinde çalışanlar (Merdaneler, Konili Kırıcılar) yuvarlanmış bir biçim kazandırır. Tane boyutunu küçültme işlemlerinde oluşan tane boyutu dağılımı ve şekli önemli ölçüde öğütülecek malzemenin cinsine de bağlıdır. Kırılğan malzemeler, kuvars ve yüksek sıcaklıkta pişmiş şamot gibi, merdaneli kırıcılarda ekseri taş kırıntısı şeklinde taneler ve fazla miktarda ince tane oranı verirler. Sert malzemeler ise buna karşılık düşük ince tane oranına sahip yuvarlak taneler verirler. Ama yapılan araştırmalara göre 1 mm'den yukarı yaklaşık bir tane boyutuna kadar olan ince tanelilik, öğütmenin türünden ve malzemenin bileşiminden bağımsız olan belli öğütme yasalarına uyar.

Belli bir tane boyutu  $X(M)$  üzerinde kalan malzeme miktarı  $R(\%)$ , aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$R = 100.e^{-bx}$$

Burada  $b$  ve  $n$  sabitlerdir. Şayet yukarıdaki eşitlikte 2 defa logaritma alınırsa aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\lg (-\lg R/100) = n \lg x + \lg b + \lg (\lg e)$$

$$\lg (\lg 100/R) = c + n \lg x$$

Elde edilen bu eşitlikten,  $\lg (100/R)$  ile  $\lg x$  arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. eğer  $b$  yerine  $b = 1/\chi$  koyarsak bu durumda,

$$R = 100 e^{-(x/\chi)}$$

elde edilir.

Diğer bir ifadeyle, Andreasen Eşitliği elde edilir.

$$P = 100(x/\chi)^n$$

Bu eşitlikte ;

$P$  =  $x$  boyutundan ince malzemenin yüzdesi

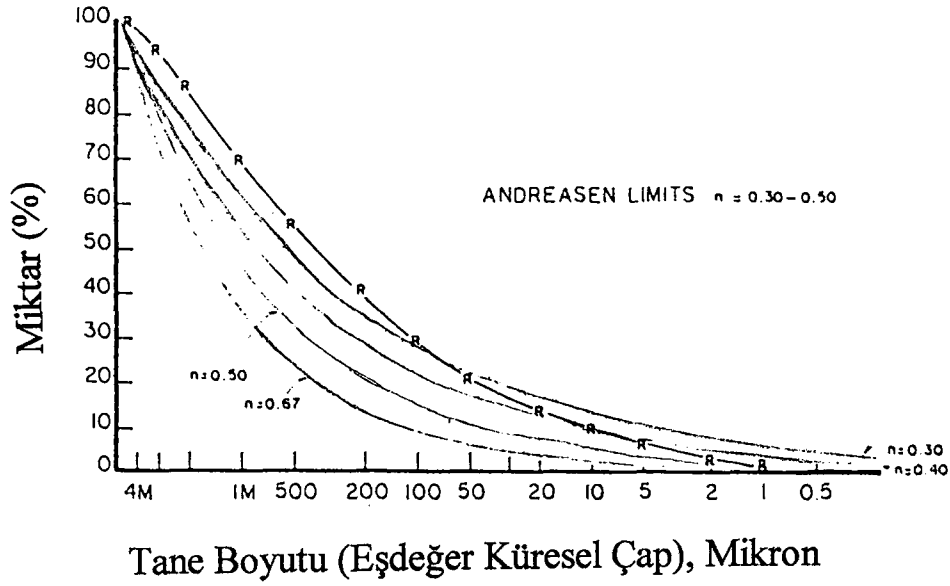
$x$  = Malzeme içindeki tane boyutları

$\chi$  = Malzeme içindeki en büyük tane boyutu

$n$  = Boyut dağılım sabiti

olarak belirlenmiştir.

Andreasen, çok değişik boyut dağılımlarındaki kuvars taneleri ile çalışmalar yapmış ve optimum paketleme dağılımını tespit etmiştir. Yaptığı çalışmalarda  $\chi=4750\mu\text{m}$  olan alümina-silisli bir refrakter yapı için optimum paketlemenin  $n=0,33$  ile  $0,5$  değerleri arasında gerçekleştiğini tespit etmiştir (Şekil 4.11),(25).



Şekil 4.11. Alümina-silisli Refrakter bir malzemenin  $\chi = 4750 \mu\text{m}$  İçin Hesaplanan Andreasen Limitleri

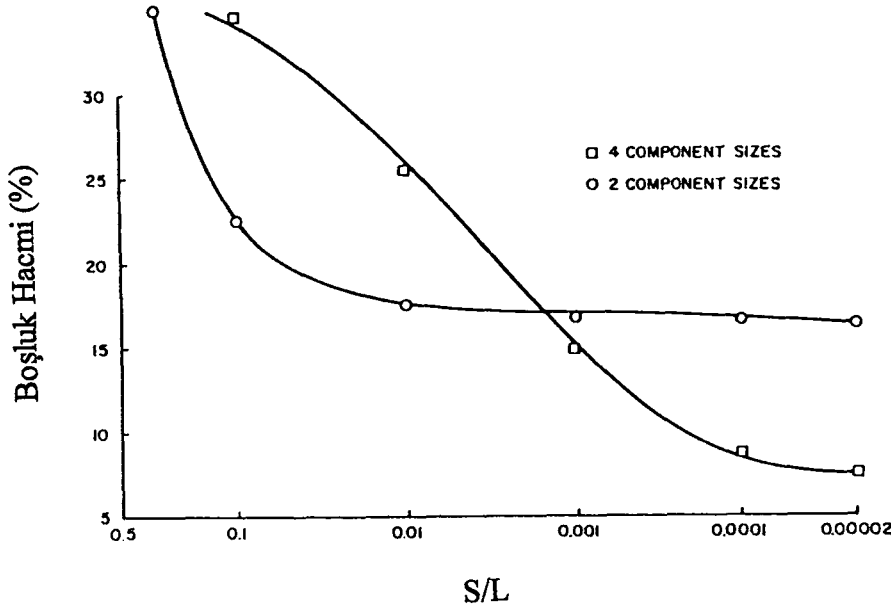
Tanelerin sıkıştırılarak paketlenmesinde diğer bir önemli husus da optimum boşluk hacmini bulmaktır. Bu hacmi bulurken de malzemedeki S/L büyük önem taşımaktadır.

Burada ;

S = Malzeme içindeki en küçük tane boyutu

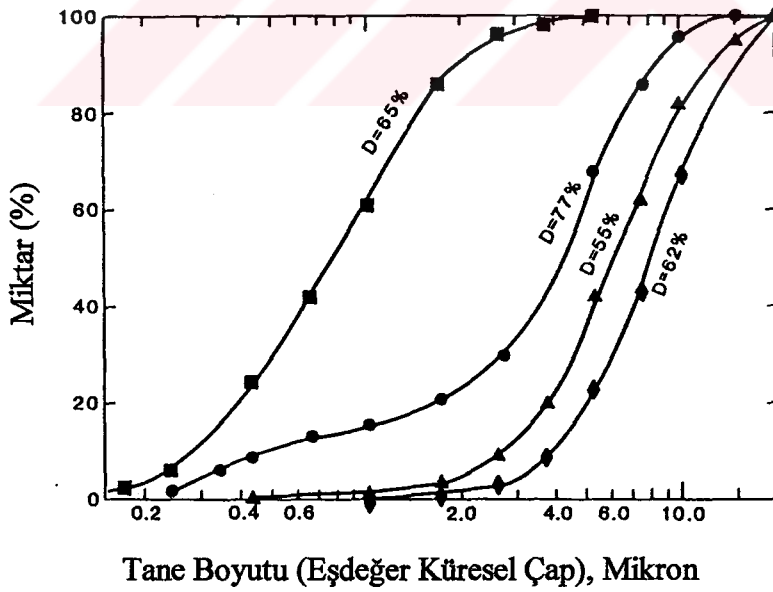
L = Malzeme içindeki en büyük tane boyutu

Yine Andreasen'in yapmış olduğu çalışmalarda, S/L küçüldükçe taneler arasında oluşan boşluk hacmi azalmaktadır. Bu da Şekil 4.12'de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.12. Farklı S/L Oranlarının Yapıdaki Poroziteye Etkisi

Paketleme yoğunluğu, boyut dağılımı ve tane şekilleri ile direkt ilgilidir. Şekil 4.13’de kalsine edilmiş alüminanın değişik boyut dağılımlarında sıkıştırılmaları ile elde edilen paketleme yoğunlukları (D) görülmektedir.



Şekil 4.13 Kalsine Edilmiş Alüminanın Değişik Boyut Dağılımlarında Sıkıştırılması İle Elde Edilen Paketleme Yoğunlukları (D)

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneylere Esas Olan Numunelerin Özellikleri

Deneylere esas olan numuneler Tekirdağ Hayrabolu yöresinde işletilmekte olan kil ocaklarından numune alma yöntemleri göz önünde tutularak temin edilmiştir. Bu numuneler cevher hazırlama işlemleri ile uygun boyutlara getirilerek kimyasal analizleri ve mineralojik incelemeleri yapılmıştır.

### 5.2. Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan kil numunelerinin kimyasal analizleri yapılmış olup, analiz sonuçları Tablo 5.1’de verilmektedir.

Tablo 5.1. Deneylerde Kullanılan Kil Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

| Numune No | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | K.K.  |
|-----------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|------------------|-------------------|-------|
| 1         | 50.6             | 14.95                          | 0.67             | 7.88                           | 7.40  | 4.26 | 2.50             | 0.46              | 11.33 |
| 2         | 58.1             | 10.72                          | 0.59             | 7.74                           | 8.25  | 2.15 | 2.06             | 0.94              | 9.16  |
| 3         | 46.4             | 9.89                           | 0.59             | 10.60                          | 13.15 | 2.88 | 2.06             | 0.48              | 13.90 |

Killerin kimyasal analiz sonuçlarına göre ise saf kaolinit bileşenlerinin analizlerle tespit edilen yüzdeleri incelenerek ve numuneden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak kil mineralleri tayin edilebilir. Çünkü saf kaolinitte  $SiO_2/Al_2O_3 = 1,3$  civarındadır. Bu orandan daha küçük değerler numunede gipsit ve benzer alüminyum oksitlerin, daha büyük değerler ise diğer killer ve serbest kuvarsın varlığını ifade eder (Erdoğan,1989). Bu sebeple kil minerallerinin tespiti için her numunenin  $SiO_2/Al_2O_3$  oranlamaları yapılmış ve Şekil 5.1’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

1 Mavi

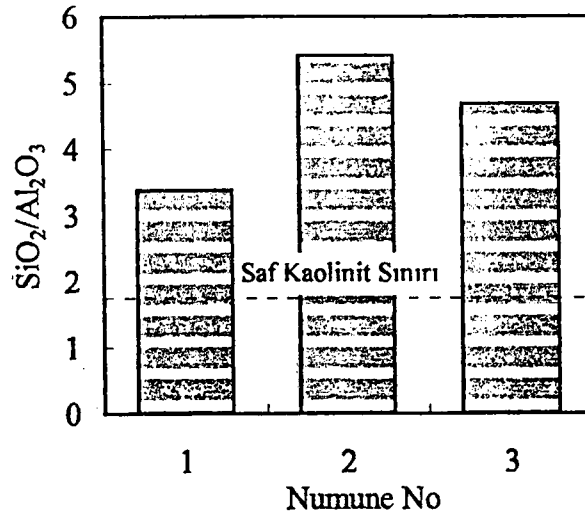
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=3,38$

2 Sarı Kum

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5,41$

3 Sarı Kil

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4,69$



Şekil 5.1. Kil Numunelerinin  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  Oranları

Yukarıda bahsedildiği gibi mineralojik açıdan incelenen örneklerin  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranları neticesinde killerin saf kaolinit olmadığı Şekil 5.1’de açıkça görülmektedir.

Killerde alkali iyonu olarak potasyum bulunması ve bunun konsantrasyonunun belirli bir miktarın üzerinde olması illit veya mikanın varlığını gösterir. Magnezyumun varlığı da montmorillonitin oluşumuna yol açar. Bu sebeple killerde  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranının 1,3’den büyük olması, ayrıca  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{MgO}$  oranının artması killerin kaolinit mineralinin yanısıra illit (veya mika), montmorillonit ve kil olmayan serbest kuvarsın varlığını ifade eder. Bu bilgilerin ışığı altında Tablo 5.1 ve 5.2’deki  $\text{K}_2\text{O}$  oranları incelendiğinde 1 nolu örneğin illit içeriğinin %2,50  $\text{K}_2\text{O}$  oranı ile diğer killere göre daha fazla olabileceğini gösterir. Buna karşın  $\text{K}_2\text{O}$  oranı %2,06 olan 2 ve 3 killlerinde ise illitin eser halde bulunacağını gösterir.  $\text{MgO}$  oranının 1 nolu kilde yüksek olması ise montmorillonitin varlığı ile ilgilidir.  $\text{Na}_2\text{O}$  oranları incelendiğinde ise çok düşüktür.

Tablo 5.1 ve incelendiğinde  $\text{SiO}_2$  oranının 1 nolu kilde % 50,6, 2 nolu kilde %58,1 ve 3 nolu kilde %46,4 olduğu görülmektedir. Özellikle 2 nolu kilin silisçe zengin ve

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (5,41) oranının bir hayli yüksek olması bu hammaddenin kaolinit ve kuvars karışımı olduğunu gösterir. Yine aynı şekilde diğer killerde de  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı bir hayli yüksektir.

Kimyasal analiz sonuçlarına göre, ateş kaybının 1 nolu kil örneklerinde %11,33 , 2 nolu kilde %9,16 ve 3 nolu kilde %13,90 olduğu gözlenmektedir. Ateş kaybının yüksek olması, kilin  $\text{Al}_2\text{O}_3$  , organik madde miktarı ve karbonat varlığı ile ilgilidir. Bu sebeple 1 nolu kilin ateş kaybının yüksek olması  $\text{Al}_2\text{O}_3$  içeriğine, 3 nolu kilinin ise yüksek organik madde miktarına bağlı olduğu söylenebilir. Ayrıca Tablo 5.1 incelendiğinde ateş kayıpları ile  $\text{SiO}_2$  oranları arasında matematiksel bir ilişki olduğu görülmektedir. Örneğin 2 nolu kilde, artan  $\text{SiO}_2$  oranına karşılık ateş kaybı azalmaktadır. Yine alkali oksit miktarının azalmasıyla ateş kayıpları da azalmaktadır.

Killerin tam kimyasal ve rasyonel analizlerinin yapılması jeolojik ve mineralojik bilgilerden başka, gerek seramik sanayii, gerek killerin kullanıldığı alanlar bakımından kilin özelliklerinin belirtilmesi için çok önemlidir. Bu sebeple, yapılan kimyasal analizlerde başlıca iki esas element olan silis ve alüminyumun bilinmesinin yanısıra kil içerisinde bulunan ve saflığını bozan katılımların da bulunması pratik olarak çok yararlıdır. Örneğin bir numunede toplam silis miktarı ne kadar az, alüminyum miktarı ne kadar yüksek olursa kil o kadar plastik olur ve işlenmesi için o kadar fazla su gerektirir. Bu durumda Tablo 5.1 incelendiğinde 1 nolu kilin diğer killere göre daha plastik olduğu söylenebilir.

Kil numunelerine refrakterlik açısından bakılacak olursa, alüminyum oksit, kilin refrakterliğini arttıran, silis, demir, kalsiyum, alkali ve titan bileşikler ise azaltan unsurlardır. Bu unsurlar gözönünde bulundurulduğunda alüminyum oksit oranının yeterince yüksek olmaması ve tersine silis oranının alüminyum oksitten yüksek olması, demirin %3'ten ve alkali oksitlerin %1'den yüksek olması kilin refrakterliğini azaltıcı unsurlardır. Titan bileşiklerinin %1'den yüksek olması kilin refrakterliğini arttırmasına karşın, killerde ateş kaybının fazla olması (>%10) refrakterliği azaltmaktadır. Ateş kaybının yüksek olması killerin karbonat varlığının bir göstergesidir. Killerin hidroklorik asit ile muayenesinde 1 nolu kilde % 15.0, 2 nolu kilde % 9.0, 3 nolu kilde ise % 23.0 oranında karbonat tespit edilmiştir

### 5.3. Mineralojik Özelliklerinin İncelenmesi

#### 5.3.1. X-Işınları İncelemesi

Bu çalışmada kil fraksiyon ayrımı, Bölüm 2.3.1'deki X-ışınları kırınım tekniği konusunda açıklandığı gibi yapılmıştır. Killerin, X-ışınları diyagramlarının elde edilmesinde ise standart prosedür uygulanmıştır. Atmosferde kurutularak elde edilen normal difraksiyon paterni çıkartılmıştır.

X-ışınlarının difraksiyon paternlerinin çıkartılmasında, Philips marka pw1710 X-ışınları difraktometre cihazı kullanılmıştır. Eğrilerin çıkartılmasında 40 KV ve 20 mA'de Co radyasyonu ve Ni filtre kullanılmıştır.  $\lambda = 1,7889 \text{ \AA}$ 'dur. Fazlar en şiddetli pik 100 kabul edilerek, pik şiddetlerinin oranlanmasıyla bulunmuş ve Hanawalt Araştırma kitaplarından yorumlanmıştır.

Her numunede, diyagramlardan saptanan piklerin d mesafelerinin ait olduğu mineraller ise ASTM kartlarından saptanarak Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. X-Işını Difraksiyonu Sonucu Kil Numunelerinde Saptanan Mineraller

| Numune No      |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| 1              | 2              | 3              |
| Serbest Karbon | Serbest Karbon | Serbest Karbon |
| Serbest Silis  | Serbest Silis  | Serbest Silis  |
| Kalsit         | Kalsit         | Kalsit         |
| Montmorillonit | Montmorillonit | İllit          |
| Kaolinit       | Kaolinit       | Kaolinit       |
| İllit          | İllit          |                |

### 5.3.2. Diferansiyel Termik Analiz ve Dilatometre İncelemeleri

Diferansiyel termik analiz (DTA) eğrileri, killerin ısıtılma esnasında oluşan bütün enerji değişimlerini gösterirler. Eğrilerdeki pikler sırasıyla, enerji değişiminin başladığı, maksimuma ulaştığı ve sonuçlandığı sıcaklık noktalarını belirler. Ancak numunenin ısıtılması çok hızlı bir şekilde yapılmışsa, bazı pik noktaları atlanabilir.

DTA eğrileri, numunedeki bileşen veya bileşenlerin kimyasal bileşiminin ve kristal yapısının bir fonksiyonu olduğundan numunenin doğal minerolojisini yansıtır.

Killere uygulamada DTA yöntemi, değişik empüritelerle değişik eğriler vereceğinden, birkaç kil numunesinin aynı yatağa ait olup olmadığı, eğrilerin karşılaştırılması ile çabuk ve güvenilir bir biçimde öğrenilebilir.

Bu çalışmada kil numunelerinin DTA verilerinin çıkartılmasında NETZSCH Geratebau GmbH Model 404 markalı cihaz (Şekil 5.2) kullanılmıştır. Deneylerde sıcaklık derecesinin yükseltilmesi, dakikada  $10^{\circ}\text{C}$  arttırma hızı uygulanmıştır. Kağıt hızı saatte 120 mm, ölçüm aralığı ise 0,1 mV'dur. Son sıcaklık  $1000^{\circ}\text{C}$  olarak ayarlanmıştır. Sıcaklık ölçülmesi Pt-Pt/Rh termokapılar ile yapılmaktadır. Analiz yapılan kil numunesi 63  $\mu\text{m}$  elekten geçecek şekilde hazırlanıp kurutulmuştur. Hazırlanan madde cihazdaki platin yuvalı iki borusundan birine 150 mg doldurulur. Diğer platin yuvada ise, referans olarak ısıtıldığı zaman hiç bir termal reaksiyon göstermeyen inert bir madde kullanılır. Bu deneyde ise dönüşümü tamamen tamamlamış  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , referans maddesi olarak alınmıştır.

Killerin ısıtılmasıyla meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla yapılan DTA eğrilerinde görülen pikler ve pik aralıkları Tablo 5.3'de verilmiştir.

DTA yöntemi mineralin tanınmasında güçlü bir analiz tekniği olarak kullanılabilir. Ancak numune bir kaç mineralden oluşmuş ve karakteristik pikler birbiri ile çakışmışsa, bu yöntem sınırlı kalabilir. Çalışmada bu sebeple dilatometre tekniği de uygulanmıştır.

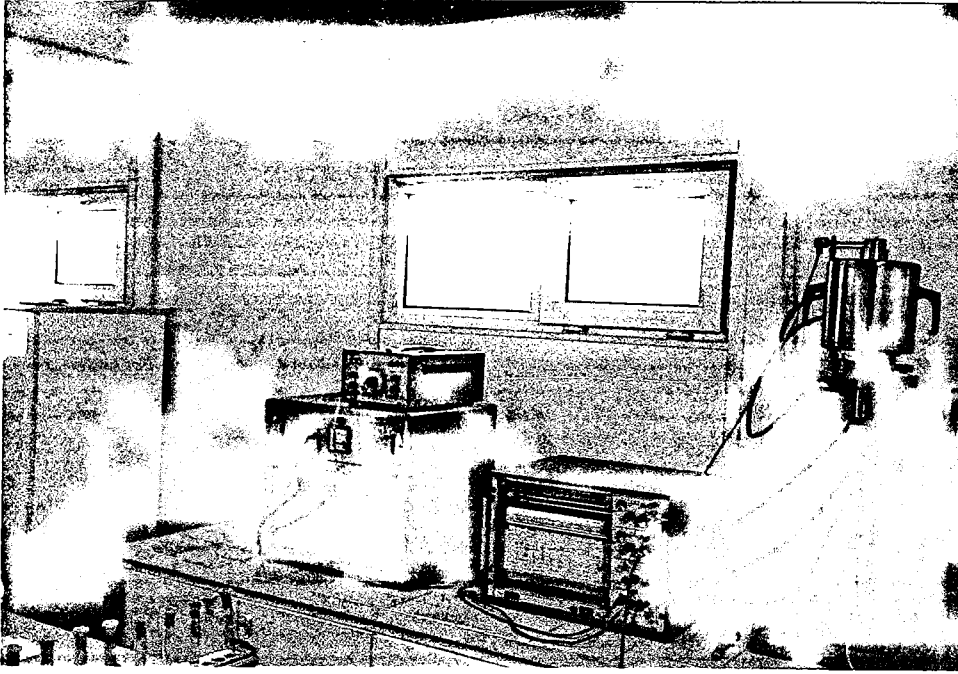
Tablo 5.3. Kil Numunelerinin DTA Eğrilerinde Görülen Pikler ve Pik Aralıkları

| Numune No | Endotermik             | Reaksiyonlar         | Ekzotermik             | Reaksiyonlar         |
|-----------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|           | Pik Sıcaklığı<br>( C ) | Pik Aralığı<br>( C ) | Pik Sıcaklığı<br>( C ) | Pik Aralığı<br>( C ) |
| 1         | 140                    | 40-250               | -                      | 250-500              |
|           | 580                    | 500-650              | -                      | 650-860              |
|           | 880                    | 860-890              |                        |                      |
| 2         | 110                    | 40-270               | -                      |                      |
|           | 285                    | 270-310              | -                      | 310-500              |
|           | 560                    | 500-630              |                        | 630-880              |
|           | 870                    | 820-880              |                        |                      |
| 3         | 140                    | 35-180               | -                      | 180-200              |
|           | 300                    | 280-330              | -                      | 330-500              |
|           | 570                    | 500-600              |                        | 600-860              |
|           | 900                    | 860-900              |                        |                      |

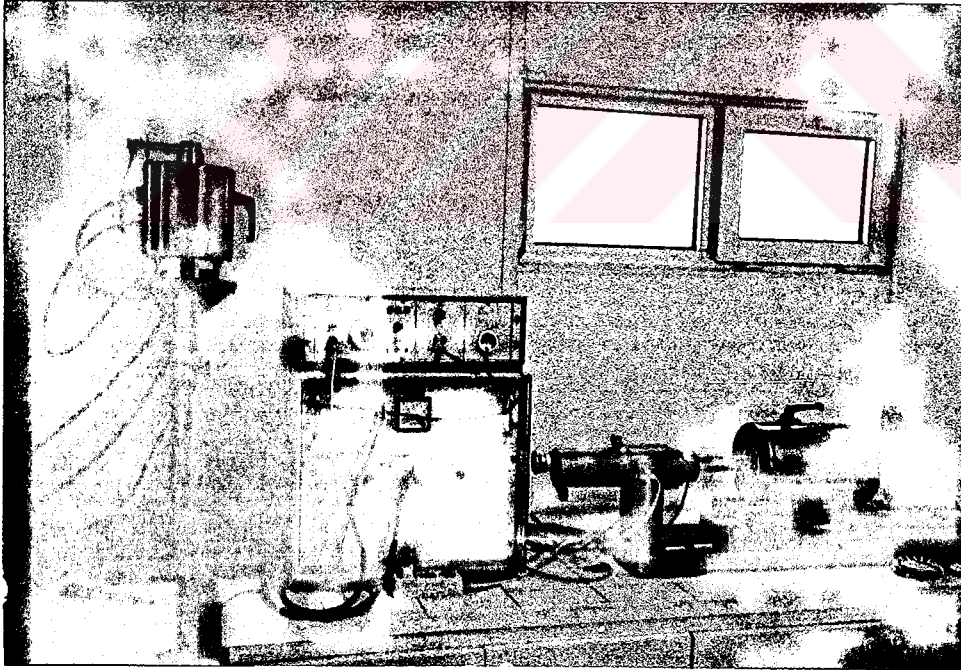
Killerin dilatometre analizleri yapılmasında ise, NETZSCH Dilatometer Model 402 E markalı cihaz (Şekil 5.3) kullanılmıştır. Fırın, dakikada 4-5<sup>0</sup>C ısıtma hızı ile ısıtılır. Başlangıç sıcaklığı oda sıcaklığı olan 20<sup>0</sup>Cdir. Son sıcaklık ise 900<sup>0</sup>C'dir. Numune ve fırın sıcaklığı iki ayrı Pt/Pt-Rh (10 %) termokapl ile kontrol edilir. Bu deneyde ham numune saf su ile açılarak plastik hale getirilir ve 200 µm elekten geçirilir. Daha sonra bu kilden bir çubuk olarak şekillendirilip, oda sıcaklığında kurutulur. Kuruyan çubuklar, özenle ~50 mm uzunluğuna ve kalınlığı 10 mm kare şekline gelinceye kadar rötüşlenir. Böylece deney çubuğu analize hazır bir hale gelir.

Sözkonusu olan DTA ve dilatometre deney sonuçlarının yorumları aşağıda verilmektedir.

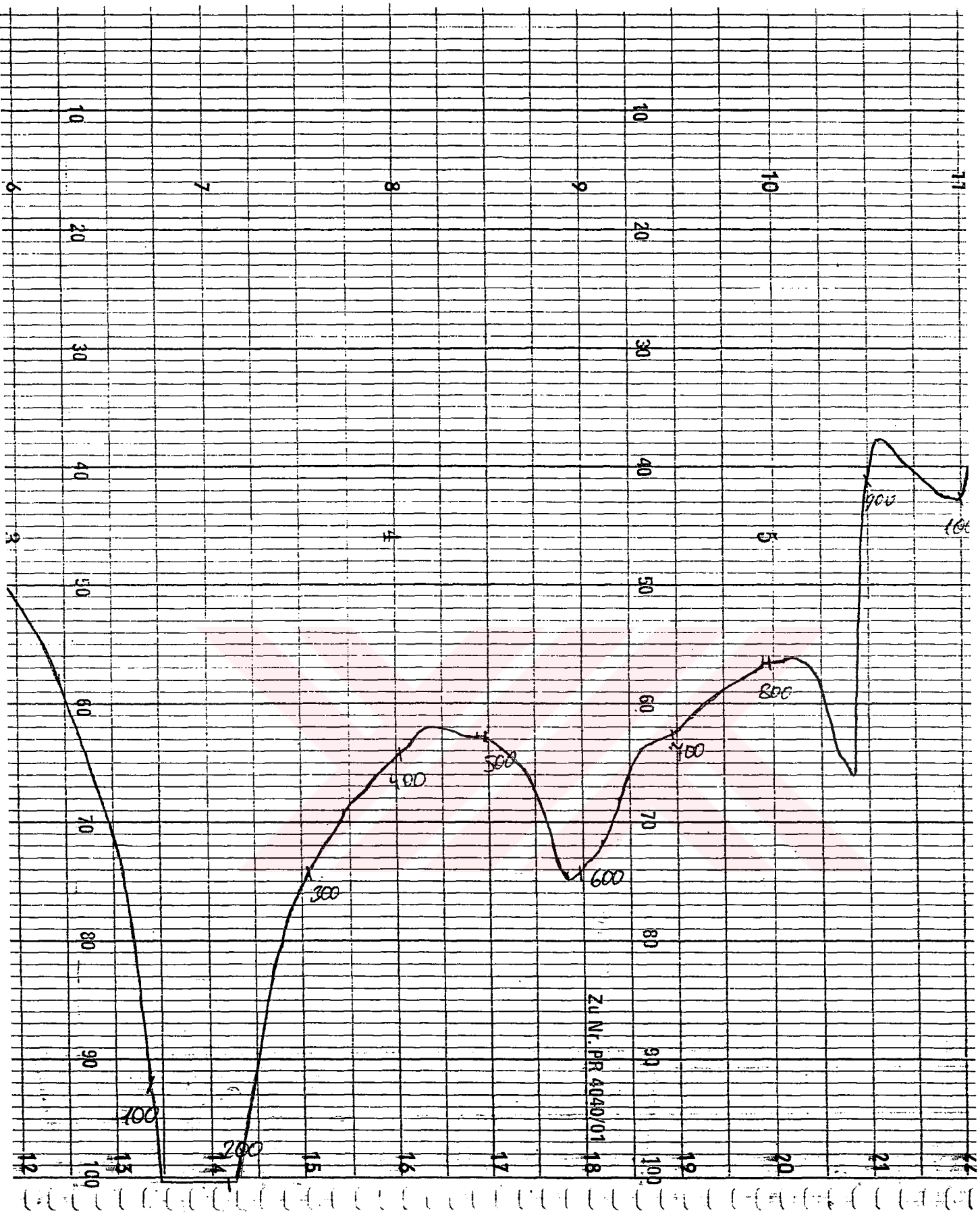
1 nolu kil numunesinin DTA sonucu Şekil 5.4'de incelendiğinde, çok düşük sıcaklıktan başlayarak (~40 <sup>0</sup>C) kilin absorbe suyunu kaybetmesi sonucu çok geniş ve



Şekil 5.2. “NETZSCH Geratebau GmbH Model 404” Markalı DTA Cihazı



Şekil 5.3. “NETZSCH Dilatomer Model 402 E” Markalı Dilatometre Cihazı



Şekil 5.4. 1 Nolu Kilin DTA Eğrisi

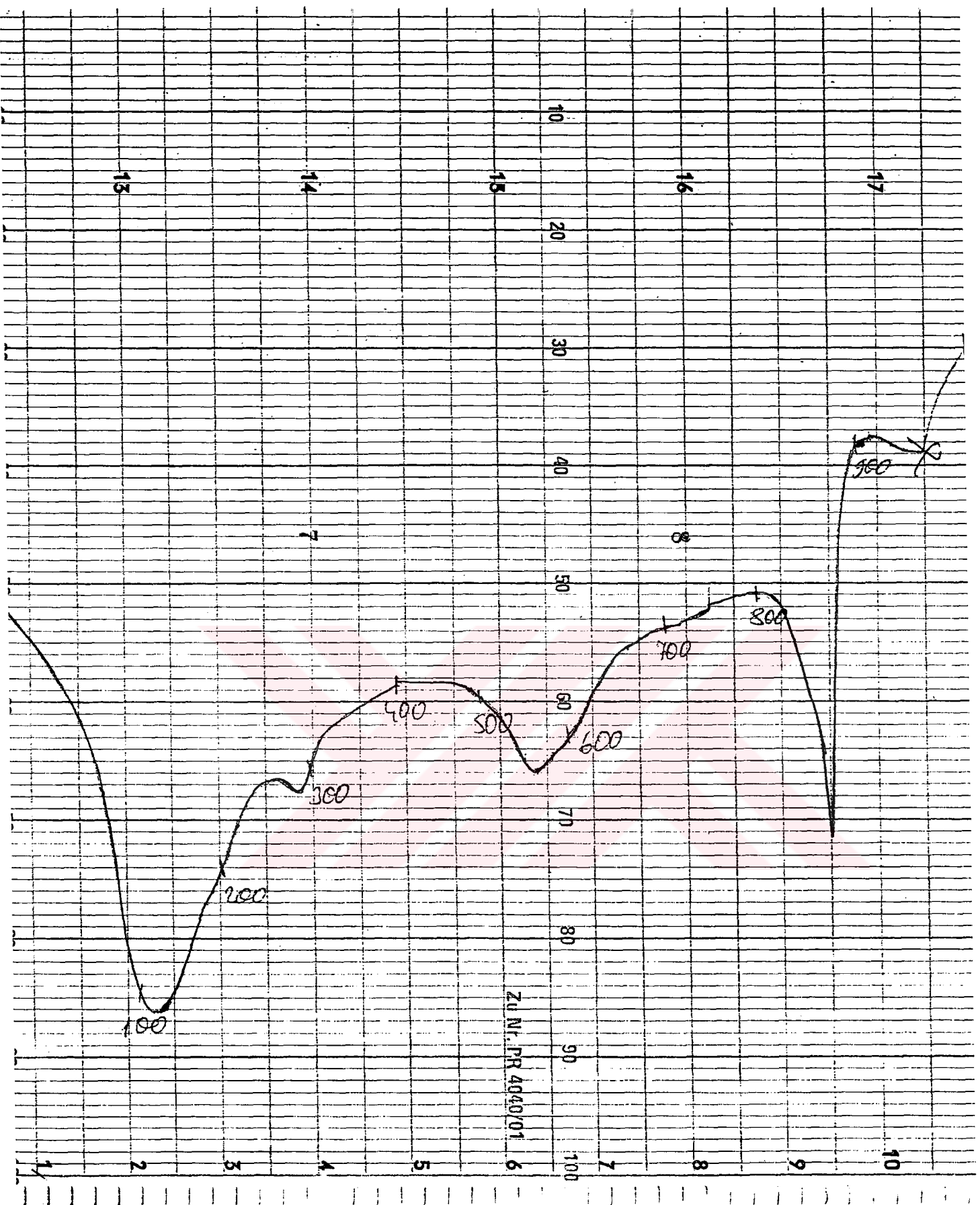


çok büyük bir endotermik reaksiyon verdiği görülmektedir. Bu endotermik pikin büyük ve geniş olmasından incelenen kil numunesinin çok plastik olduğu ve kurumaya karşı büyük hassasiyet gösterdiği yorumu yapılabilir.

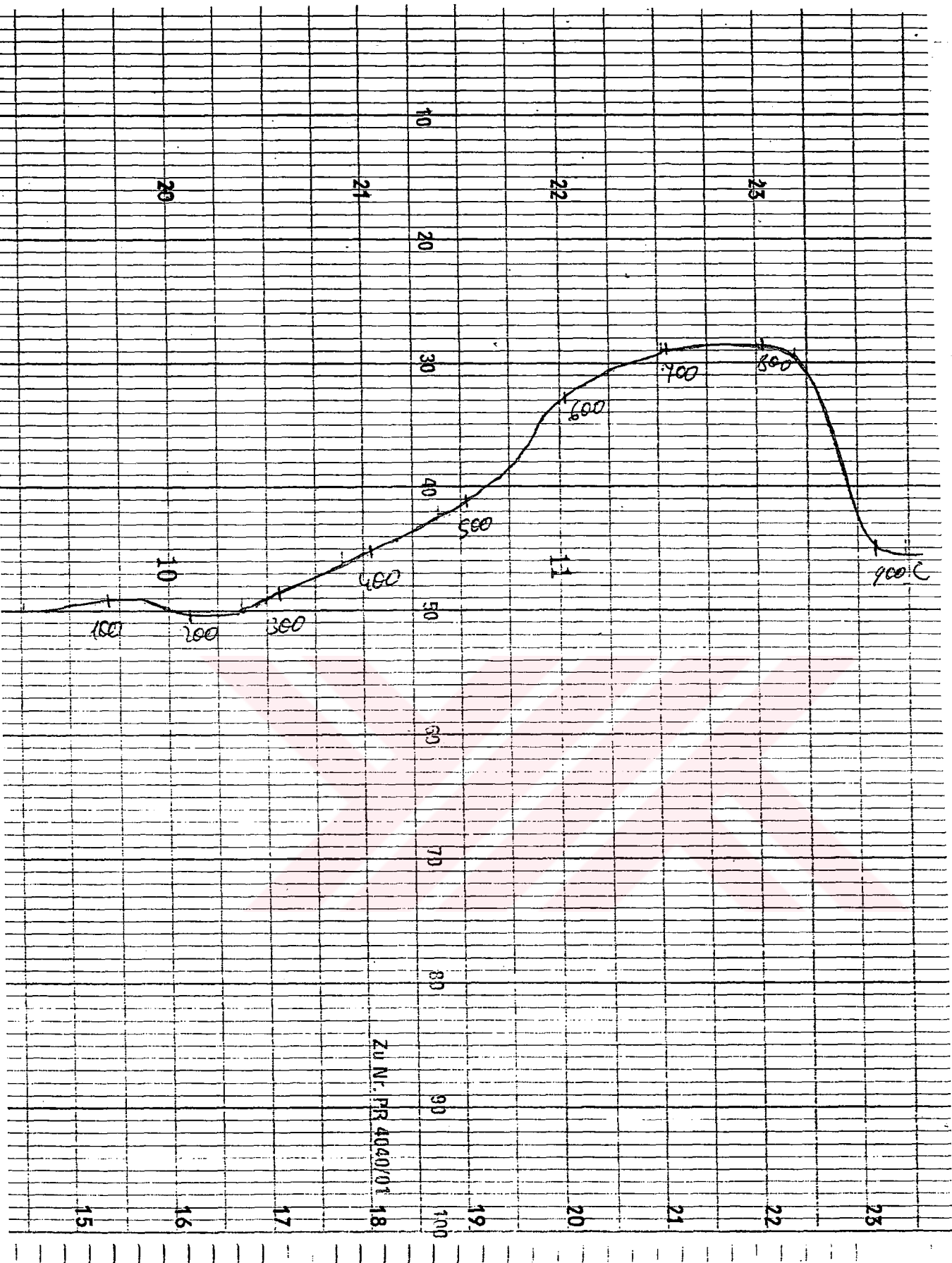
Yine DTA eğrisi yaklaşık 580 °C civarında ise ikinci bir endotermik reaksiyon göstermektedir. Bu sıcaklıkta kaolinitik killerde kristal bağlı sularını (OH bağlarını) kaybederek yapının metakaolinite dönüştüğü anlaşılmaktadır. Bu iki endotermik pikin arasında ekzotermik sayabilecek bölgede ise (250-500 °C) kilin içerdiği organik maddeler yanmaktadır. 700 ve 800 °C’lerde görülen çok küçük endotermik pikler, malzemedeki saflığı bozan maddeler ve yapının kristallenme derecesiyle ilgilidir. Daha sonra ise 920 °C civarında görülen ani ekzotermik pik ise spinel fazına geçişin belirtisidir.

Kilin mineralojik yapısını daha iyi araştırmak için DTA ve dilatometre eğrileri birlikte yorumlanmıştır. 1 nolu kilin dilatometre eğrisi (Şekil 5.5) incelendiğinde 50-220 °C arasında kilin tabakalar arası suyunu kaybettiği görülmektedir. 250-450 °C arasında yapıdaki organik maddelerin yanışı ile bir büzülme olduğu gözleniyor. Eğri, bu noktadan sonra 800 °C’ye kadar sürekli genişlemektedir. Bu genişlemenin en büyük sebebi yapıdaki serbest kuvarsın faz dönüşümleridir. Ancak sürekli genişlemenin sebebi kilin, genişleyen bir mineral içermesidir. Bu mineralin mika olduğu düşünülmektedir. 800 °C’den sonra ise kaolinitik kilin sinterleşmesiyle oluşan büzülme görülmektedir. Yapıdaki büzülme ve genişlemeler 900 °C’den sonra sona ermektedir.

2 nolu kil numunesinin DTA eğrisi Şekil 5.6’da incelendiğinde, 100 °C civarında kilin absorbe suyunu kaybetmesi sonucunda, endotermik reaksiyon verdiği görülmektedir. Daha sonra yaklaşık 300 °C’de kil yeniden küçük bir endotermik pik göstermektedir. Bu reaksiyonun verdiği pikten, kildeki gipsitin ( $Al(OH)_3$ ) parçalanarak suyunu kaybettiği anlaşılmaktadır. 560 °C’de ise kil, kaolinitin kristal suyunu kaybetmesinden dolayı tekrar endotermik bir reaksiyon göstermektedir. Bu sıcaklıkta kaolinit, metakaolinite dönüşür. Diğer taraftan 1 nolu kilde olduğu gibi 300-500 °C arasında, 700 ve 800 °C’lerde küçük ekzotermik pikler görülmektedir. Son olarak 900 °C’de oluşan ekzotermik reaksiyon ile kaolinit minerali spinel faza geçmektedir.



Şekil 5.6. 2 Nolu Kilin DTA Eğrisi

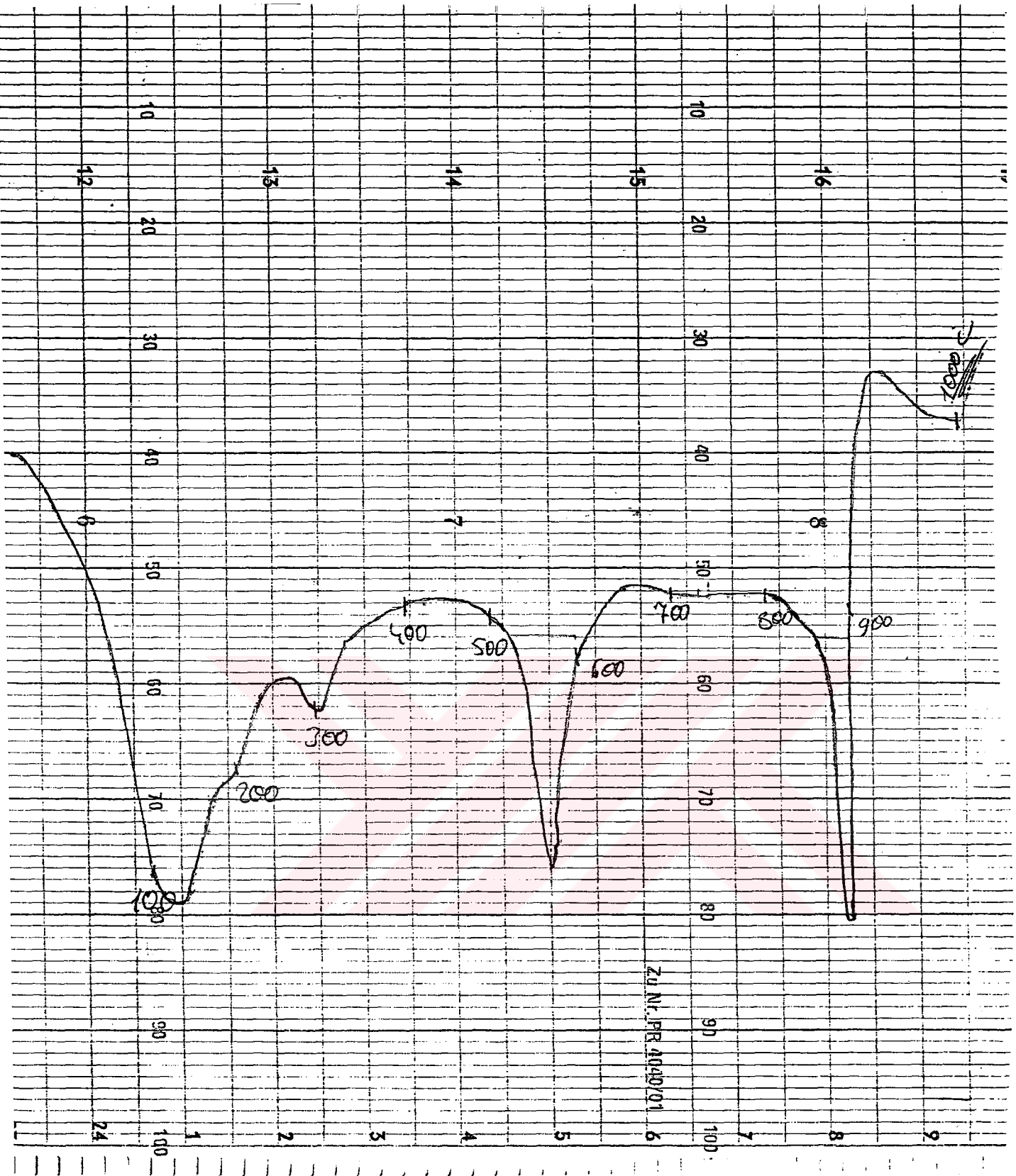


Şekil 5.7. 2 Nolu Kilin Dilatometre Eğrisi

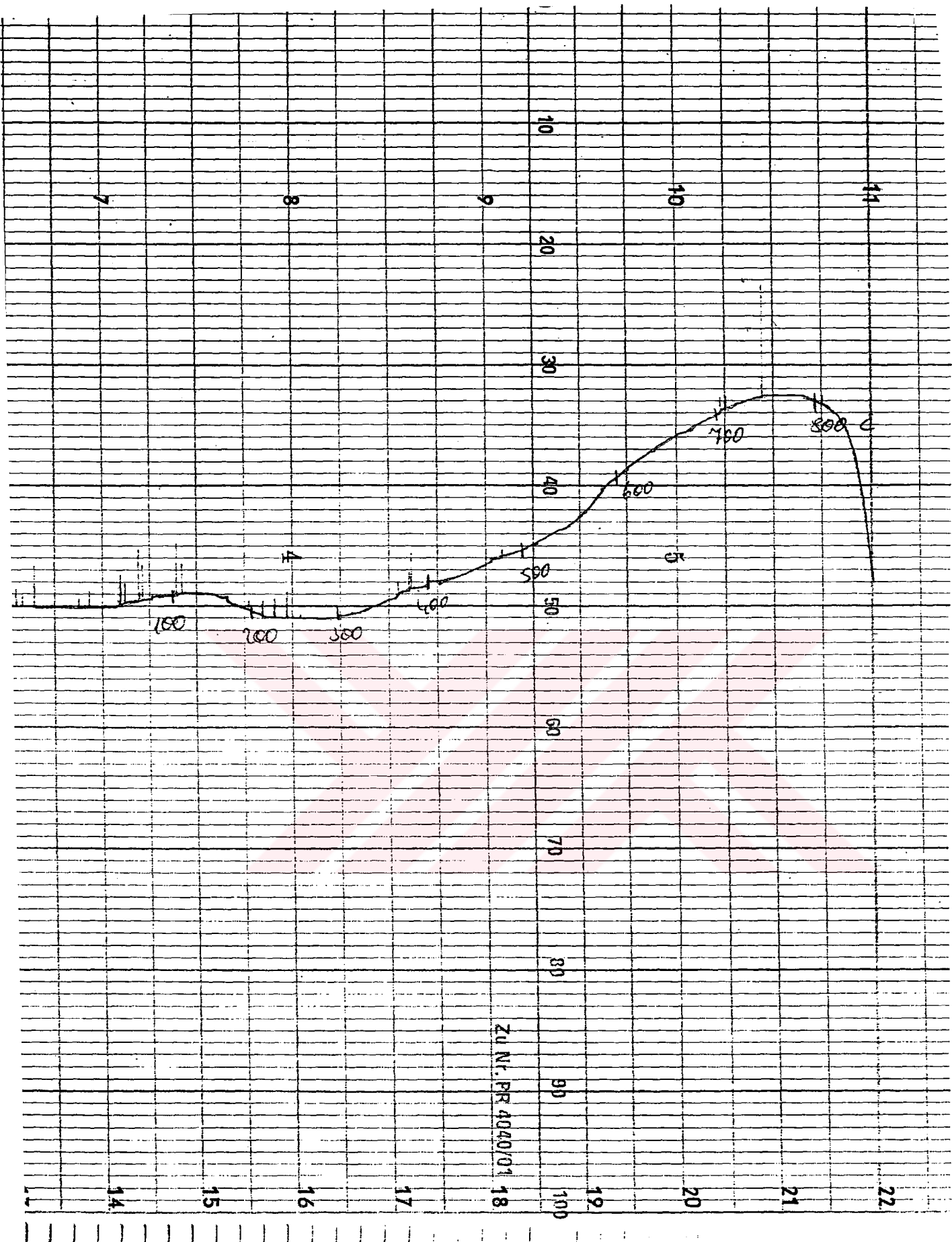
Dilatometre eğrisi (Şekil 5.7) incelendiğinde, kilin absorbe suyunu kaybettiği sıcaklık aralığında (50-180 °C), eğride bir değişiklik gözleniyor. Ancak 180 °C'den sonra 1 nolu kilde görülen ve 450 °C'ye kadar süren büzülme burada yok denecek kadar azdır. Buradan 2 nolu kilin organik madde içeriğinin çok düşük olduğu yorumunu yapabiliriz. 180°C'den sonra ise 800 °C'ye kadar yapıda sürekli genleşme gözleniyor. Bunun sebebi kilin illit içerikli kaolinit (kaolino-illitik) kil olması olarak düşünülebilir. Çünkü saf kaolinit kil olsaydı, yaklaşık 600 °C'de kristal suyunu kaybettikten sonra aniden dike yakın bir düşme görülürdü. Kaolinitin saflığı ile bu dönüm noktasının eğri üzerinde sağa doğru uzaması ters orantılıdır. Dilatometre eğrisinin 700-800 °C arasında bir düzlüğe sahip olması ve yaklaşık 820 °C'den sonra bir büzülme olması illitin karakteristik bir özelliğine işaretir.

Şekil 5.8'de 3 nolu kilin DTA eğrisi incelendiğinde, 2 nolu kilin DTA eğrisine benzer fakat daha keskin pikler görülmektedir. Yaklaşık 140 °C'de kilin tabakalar arası suyunu kaybettiği görülmektedir. Eğride tıpkı 2 nolu kilin DTA eğrisinde olduğu gibi 300 °C'de bir endotermik pik görülmektedir. Burada yine gibsitin varlığından ve parçalanarak suyunu kaybettiğinden bahsedebiliriz. Yaklaşık 570 °C'de görülen endotermik pikle yapı kristal suyunu kaybederek metakaolinite dönüşmüştür. Bu pikin diğerlerine göre çok daha büyük olmasının sebebi yapıdaki serbest kuvarsın 573 °C 'deki  $\alpha$ - $\beta$  dönüşümleri ve kristal suyun atılması ile ortaya çıkan endotermik piklerin birbirleri ile çakışması olabilir. Daha sonra 900 °C'de çok keskin ekzotermik bir pik ile spinel oluşturmuştur. Ancak burada diğer iki kilde 600-800 °C arasındaki ekzotermik pikler görülmemektedir. Buradan, bu kilin organik madde içeriğinin çok düşük olduğu kanaatine varabiliriz. Ayrıca pik şiddeti yapıda bulunan bazı Fe içerikli minerallerden kaynaklanabilir.

Dilatometre eğrisine bakıldığında (Şekil 5.9), 50-180 °C aralığında yapı, tabakalar arasındaki suyunu kaybetmektedir. DTA eğrisinden, her ne kadar organik ve diğer safsızlıkların az olduğu yorumuna vardıysak da dilatometre eğrisinde 180 °C ile 200 °C arasında meydana gelen büzülme bizde bu safsızlıkların varlığına dair şüpheler oluşmaktadır. Kil 350 °C'den sonra, 800 °C'ye kadar sürekli genleşmektedir. Elbette burada, 1 nolu kilde olduğu gibi yapıda sürekli genleşen bir mineralin bulunması sebep



Şekil 5.8. 3 Nolu Kilin DTA Eğrisi



Şekil 5.9. 3 Nolu Kilin Dilatometre Eğrisi

olabilir. 800 °C'den sonra ise büzülme görülmektedir. Bu ise sinterleşmenin bir sonucudur.

### **5.3.3. Mikroskopik İncelemeler**

Çalışma alanlarına ait numunelerin 53 µm elek altı kilden arındırılmış malzemenin mineralojik incelemeleri binöküler mikroskopla yapılmıştır. Bu çalışma araziden getirilen numuneye kırma işlemi yapıldıktan sonra bir miktar su ile pervaneli açıcıda dağıtılmıştır. Daha sonra malzeme 53 µm elekten geçirilip ve kalan elek altı bakiyesi su ile iyice yıkanarak kilden tamamen arındırılıp kurutulmuştur. Böylece binöküler mikroskopta incelemeye hazır hale getirilmiştir. Bu çalışma XRD ile saptanan kil boyutundaki bazı minerallerin dışındaki mineral türlerinin ayırt edilmesinde yardımcı yöntem olarak faydalanılmıştır.

Bu çalışmada 1 ve 2 nolu kilin içerdiği mineraller kesin olarak tespit edilememiştir. Ancak 1 nolu kilin marn özelliği gösterdiği saptanmıştır. Bu kilin çok plastik oluşu ve yüksek organik madde içeriği de bu bulguyu doğrulamaktadır. 2 nolu kilin silt karakteri gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanısıra bol miktarda kuvars ve kil mineralleri bulunmaktadır. Her iki kil numunesi de saf kile göre daha iri boyutludur (>5µm). 3 nolu kil numunesinde ise yüksek oranda feldspat tespit edilmiştir. Bununla beraber limonit, hematit mineralleri ve mika olduğu belirlenmiştir. 3 nolu kil daha ince boyutludur (<5µm).

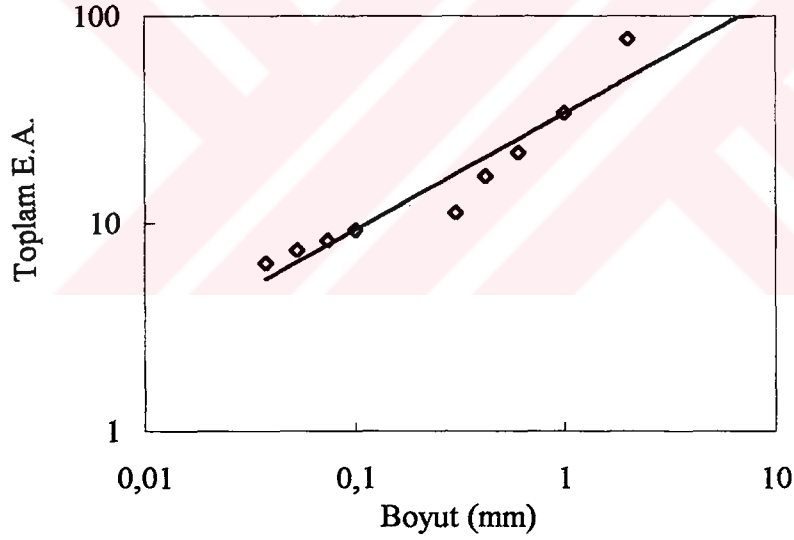
## **5.4. Fiziksel Özelliklerin İncelenmesi**

### **5.4.1. Elek Analizi**

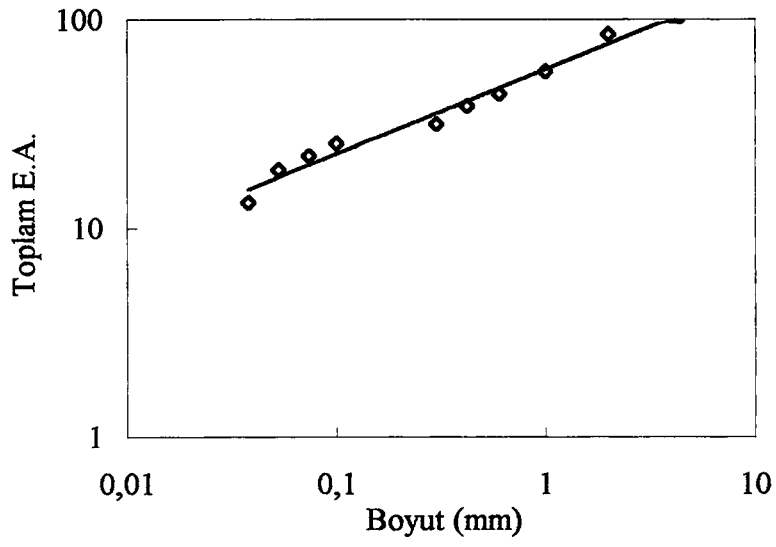
Deneylerde kullanılacak numunelerin boyut dağılımlarını belirlemek amacıyla elek analizi yapılmıştır. Numuneler öncelikle çeneli ve merdaneli kırıcılarda kırılarak boyutları küçültülmüştür. Daha sonra kuru ve yaş olarak elenerek deney amacına uygun boyut dağılımı belirlenmiştir. Numunelerin deney amacına uygun tane boyut dağılımı Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Deneylere Esas Olan Numunelerin Deney Amacına Uygun Tane Boyut Dağılımı Sonuçları

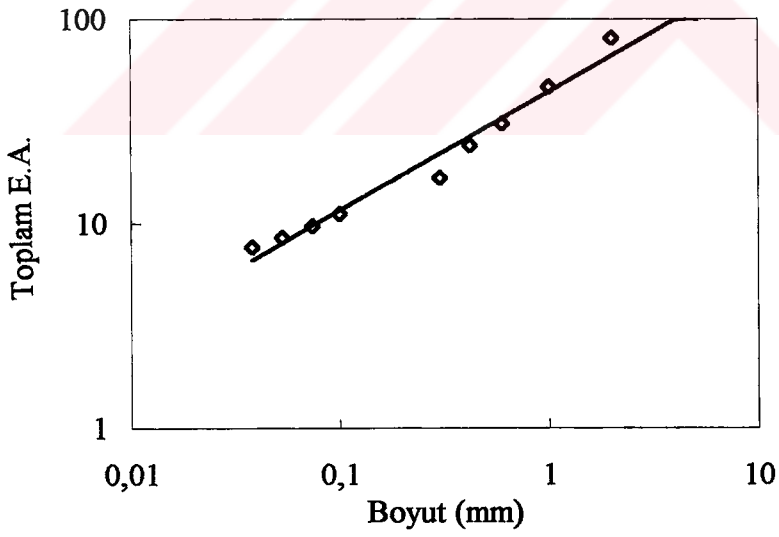
| Boyut Aralığı (mm) | Miktar (%) | $\Sigma$ EA (%) | Miktar (%) | $\Sigma$ EA (%) | Miktar (%) | $\Sigma$ EA (%) |
|--------------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|
| + 2                | 22.65      | 100.0           | 14.78      | 100.0           | 19.66      | 100.0           |
| - 2 + 1            | 43.28      | 77.35           | 28.75      | 85.22           | 33.70      | 80.34           |
| - 0.841 + 0.6      | 12.23      | 34.07           | 12.66      | 56.47           | 15.85      | 46.64           |
| - 0.6 + 0.420      | 5.01       | 21.84           | 5.43       | 43.81           | 6.62       | 30.79           |
| - 0.420 + 0.3      | 5.61       | 16.83           | 6.83       | 38.38           | 7.42       | 24.17           |
| -0.3 + 0.1         | 2.0        | 11.22           | 6.03       | 31.55           | 5.62       | 16.75           |
| - 0.1 + 0.074      | 1.0        | 9.22            | 3.22       | 25.52           | 1.4        | 11.13           |
| - 0.074 + 0.053    | 0.8        | 8.22            | 3.22       | 22.3            | 1.2        | 9.73            |
| - 0.053 + 0.038    | 1.0        | 7.42            | 5.83       | 19.08           | 0.9        | 8.53            |
| - 0.038            | 6.42       | 6.42            | 13.25      | 13.25           | 7.63       | 7.63            |
| TOPLAM             | 100.0      |                 | 100.0      |                 | 100.0      |                 |



Şekil 5.10. 1 Nolu Kılın Elek Altı Eğrisi



Şekil 5.11. 2 Nolu Kilin Elek Altı Eğrisi

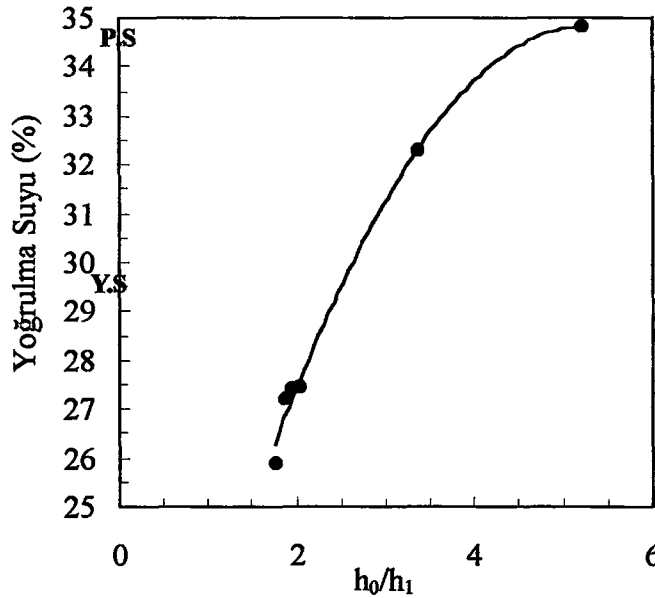


Şekil 5.12. 3 Nolu Kilin Elek Altı Eğrisi

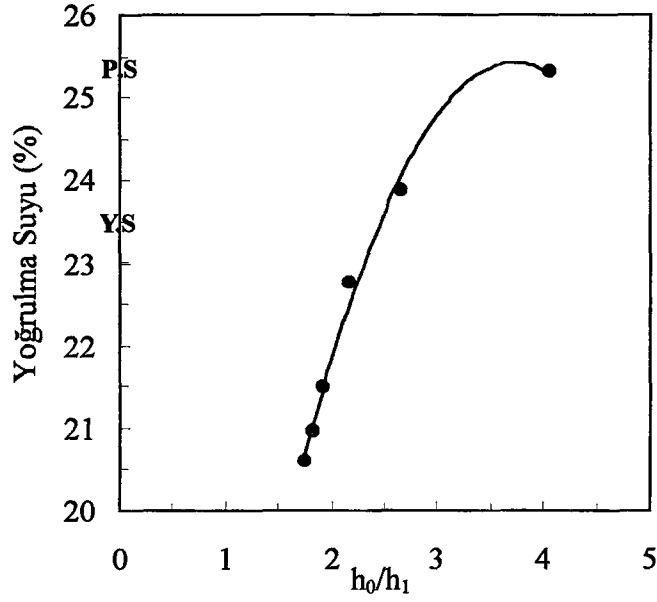
#### 5.4.2. Plastisite Deneyi

Bu deneyde “Pfefferkorn” yöntemine göre yoğrulma (plastiklik) suyu ve plastiklik sayısı hesaplanmıştır. İlk önce su ile açılan malzeme (katı malzeme = 1000 gr), ASTM standartlarına göre 180  $\mu\text{m}$ 'lik elekten geçirildikten sonra alçı tezgaha dökülerek yoğrulacak hale gelinceye kadar suyu alınır. Burada iyice yoğrularak homojen bir yapıda olması sağlanır (içersinde hava kabarcıklarının kalmamasına dikkat edilmelidir). Daha sonra 5 cm'lik bir kap içinde darbe ile sıkıştırılan plastik kil silindirik olarak çıkartılarak plastisite aletinin altına yerleştirilir. Belirli yükseklikten düşen ağırlığın, alettaki skala üzerinden gösterdiği değerlere bağlı olarak düşmeler tekrarlanır. Ezilen parçaların yükseklikleri kumpas yardımı ile ölçülür. Bu yükseklikler ilk yüksekliğe oranlanır ( $h_0/h_1$ ).

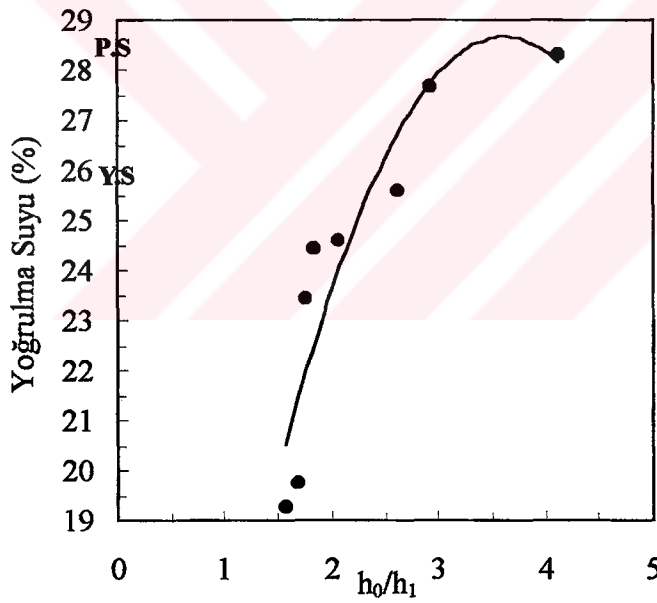
Ezilen parçalar, yaş ve kuru olarak tartıldıktan sonra, su emme miktarları % olarak bulunur. Daha sonra özel Pfefferkorn yöntemine ait hazırlanmış diyagramlarda, su emme miktarlarına karşılık gelen yükseklik oranlarına ( $h_0/h_1$ ) göre grafik çizilir. “3,33”  $h_0/h_1$ 'e karşılık gelen değer numunenin “plastisite suyunu”, “2,5”  $h_0/h_1$ 'e karşılık gelen su miktarı ise yoğrulma suyunu (%) verir. Şekil 5.13, 5.14 ve 5.15'de çalışma alanlarına ait killerin yoğrulma suyu (%) ve plastisite suyu değerleri verilmiştir.



Şekil 5.13. 1 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği



Şekil 5.14. 2 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği



Şekil 5.15. 3 Nolu Kilin Pfefferkon Yöntemine Göre Hazırlanan Grafiği

Killerin plastikliği killeri işlenebilir bir çamur haline getirmek için verilmesi gereken su miktarı ile tayin edilir. Kil çamur oluncaya kadar su emerse o kadar plastiktir (28).

Plastik olan hammaddeler şekillendirilince verilen şekli, çatlama ve kopma olmadan alırlar. Plastik olmayan ve az plastik olanlar ise koparlar veya sert kıvrımlı köşelerde çatlamlar oluşur. Bu sebeple killerin plastiklik yoğrulma suyunun %20-40 arasında değişen değerlerde olması istenir.

Şekil 5.13,5.14 ve 5.15 incelendiğinde, tüm killerin bu sınırlar içinde kaldığı, üstelik 1 nolu kilin son derece plastik olduğu görülmektedir.

Yoğrulma sularına bakıldığında, 1 nolu kil haricinde diğer killerin değerleri yüksek sayılmadıkları, 1 nolu kilin ise yağlı kil özelliği taşıdığı söyleyenebilir. Çünkü bu killere fazla su alırlar ve güç açılırlar. Yağlı killerin bağlama kabiliyeti yüksektir. Yağsız killere ise tam tersi özelliğe sahiptir.

#### 5.4.3. Küçülme Değerlerinin Bulunması

Bu deneyde, plastik hale getirilen çamur dövülerek alçı bataryalara yerleştirilir. Alçı batarya içinden rahatça çıkacakduruma gelinceye kadar batarya içinde bekletilerek suyun emilmesi sağlanır. Böylece kalıptan çıkarıldığında 230×20×15 mm boyutlarındaki plastik çubuklar elde edilmiş olur. Bu çubukların üzerine 0,05 mm hassasiyetindeki kumpasla 10'ar cm uzunluğunda iki ayrı mesafe işaretlenir. Bu işlem tüm çubuklarda uygulanır. Daha sonra 24 saat oda sıcaklığında ilk kurutma evresine alınır. Ayrıca kurutma esnasında numunede oluşacak eğilimleri önlemek için üzerine bir ağırlık konabilir. İlk kurutmadan sonra 8 saat 50 ± 5 °C'de 24 saat 100 ± 10 °C'de son kurutmaya alınır. Rutubeti %0 olan çubuklar desikatörde soğutulur (numunenin rutubet almaması için) ve ilk işaretlenmiş noktalar arası ölçülür.

Kuru küçülme yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır. Sonra her çubuktaki küçülme yüzdelерinin ortalaması alınır (1,9).

$$\% \text{ Kuru Küçülme} = \frac{(\text{Plastik uzunluk}-\text{Kuru uzunluk})}{\text{Plastik uzunluk}} \times 100$$

Pişme küçülmesinin saptanmasında ise kuru küçülmeleri ölçülen çubuklar belirle-  
nen sıcaklıkta fırında 1000 °C'de 8 saat bekletilmek koşuluyla pişirilir. Sonra işaretli  
noktalar arası mesafeler tekrar ölçülür. Ölçüm farkı pişme küçülmesi olarak hesaplanır  
ve ortalamaları alınır (1,9).

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi} = \frac{(\text{Kuru uzunluk} - \text{Pişme uzunluk})}{\text{Kuru uzunluk}} \times 100$$

Bu bilgiler ışığı altında çalışma alanlarındaki killerin kuru ve pişme küçülmelerinin %  
değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 5.5. Kil Numunelerinin Kuruma ve Pişme Küçülmeleri

| Numune No                   | 1    | 2    | 3    |
|-----------------------------|------|------|------|
| <b>Kuruma Küçülmesi (%)</b> | 7.75 | 2.88 | 3.51 |
| <b>Pişme Küçülmesi (%)</b>  | 1.29 | 0.10 | 0.15 |

Killerin yaklaşık 110 °C'de kurutulması ile meydana gelen kuru küçülmeler, 1 nolu  
kilde %7,75 olurken, diğer killerde 2,88 ve 3,51 gibi değerlerde kalmıştır. Bu sonuçlar  
1 nolu kilin plastik suyunun ve tabakalar arasındaki su miktarının diğer killere göre  
daha fazla olduğunu gösterir. Bunun nedeni ise içerdiği kil minerali ve kil olmayan  
maddelerin miktarı ile kil mineral cinsinin özelliğine bağlıdır (28). Yukarıdaki tabloda  
görüldüğü gibi 1 nolu kil en fazla kuru küçülmeye uğrayandır. Küçülme oranının  
yüksek olması bu kilin bağlama özelliğini arttıran bir unsurdur. Bu durumda 1 kilinin  
minerolojisi incelendiğinde bileşiminde kil boyutunda başlıca, kaolinit diğer killere  
göre daha az oranda illit, diğer killere göre daha fazla oranda ise montmorillonit  
içerdiği gözlenmiştir. Küçülmenin nedeni, montmorillonit grubu kil minerallerinin  
yapısal özelliğinden kaynaklanan, ünite tabakaları arasındaki su ve organik maddeler  
gibi polar molekülleri olabilen bir mineral olmasıdır (28). Küçülmeyi arttıran bir başka  
neden de ateş kaybının ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  + organik madde miktarları) yüksek olmasıdır. Bu  
sebeple 1 nolu kilin kimyasal analiz sonuçları (Tablo 5.1) incelendiğinde ateş kaybının,

$Al_2O_3$  yüzde miktarının fazla olduğu gör÷lmektedir. Bu killerden ikinci fazla küç÷lmeye uğrayan 3 nolu örnektir. Çünkü bir kilin gipsit gibi mineralleri içermesi, ateş kaybını yükselten unsurlarıdır. 2 kili ise en az küç÷lmeye uğrayandır. Çünkü diğerkillerin tersine, bu numunede kil mineralleri oranı ve ateş kaybı (Tablo 5.1) düşüktür. Bu kilin küç÷lme miktarlarının da az olmasının sebebi düşük  $Al_2O_3$  yüzde miktarına karşılık yüksek  $SiO_2$  yüzde miktarlarıdır.

Killerde sözkonusu olan bu küç÷lme oranları, kilin kalitesini belirlemesi açısından önemli bir unsurdur. Çünkü pratikte 110 °C'deki kurutma plastik suyunun ve tabakalar arasındaki suyunun uçması ile meydana gelen aşırı küç÷lme ve çatlamalara sebep olur. Bu nedenle seramik ürünlerinde kullanılan kilin küç÷lmesinin istenilen standartlarda olması tercih edilir. (Tuğla için toplam küç÷lme % 7-8 < )

Pişme küç÷lmesi ise, kimyasal bir olaydır. Isının artması ile kristal suyunun açığa çıkması sonucunda yapının bozulmasıdır.

#### 5.4.4. Mukavemetlerin Bulunması

Killerin, kurudukça kırılmaya karşı dayanımları artmaktadır. Bu dayanıklılığın derecesine göre, malzemenin ne şekilde kullanılacağı saptanır. Örneğin yer karosu kilinde kuru mukavemetin minimum 30 kgf/cm<sup>2</sup> üzerinde olması seramik sanayiinde killerde uyulması istenen bir özelliktir.

Bu deneyde kuruma küç÷lmesinden geçen çubuklar “Netsch 401 Bending Strength Tester” mukavemet cihazında kırılmaya alınır. Mukavemet çubukları, kırma aletinin iki tırnağı üzerine yerleştirilir. Orta noktasına artan ağırlıklar konularak belirli aralıkta kırılır. Her çubuk için ayrı ayrı ölçüm yapıp, bu değerlerin ortalaması alınır. Kuru mukavemet aşağıdaki formülle bulunur (1,9).

$$\text{Mukavemet (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{F_b \times L_s}{4 W} : 9,807$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

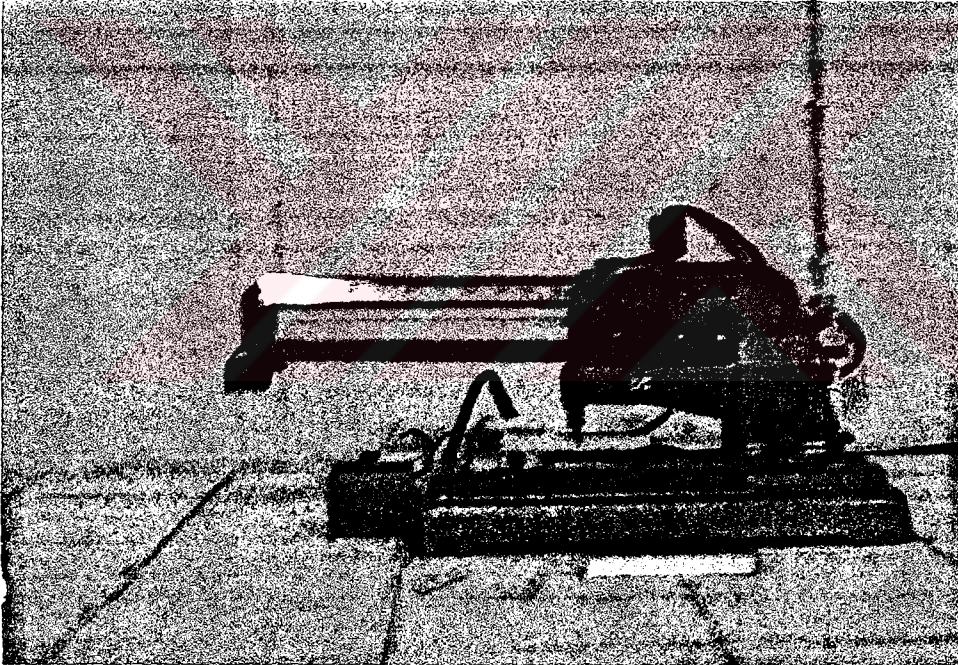
$F_b$  = Kırılma esnasındaki bindirme yükü (Newton)

$L_s$  = Destekler arasındaki mesafe (cm)

$b$  = Kırılma yüzeyinin taban genişliği (cm)

$h$  = Kırılma yüzeyinin yüksekliği (cm)

Pişme mukavemetinin bulunması için ise; 1000 °C’de pişirilen çubuklar aynı kuru mukavemette olduğu gibi mukavemet cihazında kırılır ve ölçüm değerlerinin ortalaması alınır (1,9).



Şekil 5.16. “Netsch 401 Bending Strength Tester” Model Mukavemet Ölçme Cihazı



A = Kuru tablet

B = Islak tablet

Killerin su emme miktarları ile birlikte pişme esnasında meydana gelen küçülmelerin % değerleri Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde pişme küçülmesi ile su emme miktarları arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Çünkü artan sıcaklık miktarı ile su emme miktarı azalır, küçülme miktarı ise artar (1,7,9).

Tablo 5.7. Kil Numunelerinin Su Emme ve Pişme Küçülmesi Değerleri

| Numune No           | 1     | 2     | 3     |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Pişme Küçülmesi (%) | 1.29  | 0.10  | 0.15  |
| Su Emme (%)         | 14.22 | 21.10 | 19.80 |

Ayrıca su emme miktarı ile mineralojik analiz sonuçları incelendiğinde kil hammaddesinin içindeki feldispat, kuvars ve kil mineral oranlarına göre değiştiği görülmektedir. bu sebeple kil hammaddesinde;

1. Alkali oranı arttıkça, su emme miktarı azalır ve küçülme miktarı artar,
2. Kuvars oranı arttıkça, su emme miktarı artar ve küçülme miktarı azalır,
3. Kil miktarı arttıkça, su emme miktarı azalır ve küçülme miktarı artar.

Bu bilgi ışığı altında 900 °C’de 1 nolu kil en fazla küçülmeye (%1,29) sahipken, en az su emme miktarına (%14,22) sahiptir. 2 nolu kil ise 900 °C’de en az küçülmeye (%0,10) sahipken, %21,1 oranı ile en fazla su emme miktarına sahip olduğu görülür.

### 5.5. Uygun Kil Karışımının Bulunması

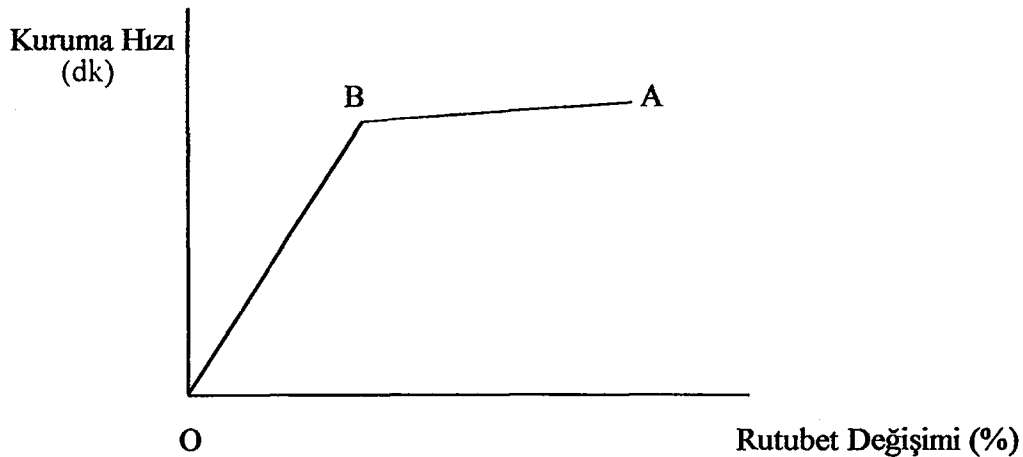
Deneysel çalışmaların bu bölümünde daha önceki bölümlerde mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen üç kil numunesi değişik oranlarda karıştırılarak optimum hammadde bileşimi bulunmaya çalışılmıştır.

Kullanılan hammaddeler aşağıdaki safhalardan geçirilerek tuğıla numuneleri hazırlanmıştır.

1. Hammaddenin öğütölmesi
2. 0,8 mm elek ile elenmesi
3. Plastisite suyu miktarının bulunması
4. Numunelerin kalıplanması
5. Kurutma
  - a) Kurutma hassasiyetinin bulunması
  - b) Kurutma küçölmesinin ölçölmesi
6. Pişirme (900 °C sıcaklıkta)
  - a) Pişirme küçölmesinin ölçölmesi
  - b) Su emme ölçölümü
  - c) Eğölme mukavemetlerinin ölçölümü

Yukarıda bahsedilen özelliklerin bulunması, daha önceki bölümlerde anlatıldığı şekilde yapılmıştır (Plastisite suyunun bulunması, kuruma ve pişirme küçölmelerinin ölçölümü, su emme ve eğölme mukavemetlerinin ölçölümü). Ancak burada kuruma hassasiyetinden ve bulunma yönteminden bahsetmemiz gerekir.

Kuruma hassasiyeti, kilin rutubet değışimine bağılı olarak kuruma hızıdır. Kilin rutubet değışimine göre büzölme miktarını gösteren eğriye ise Bigot eğrisi denir.



şekil 5.17. Kuruma Hızı-% Rutubet Değışimi Grafiğı

A-B : Kuruma hızı sabit (Yüzeydeki su filmi uzaklaşır.)

B-O : Kuruma hızı sabit değil (Gözeneklerdeki su uzaklaşır.)

Şekil 5.18'de tipik bir Bigot eğrisi verilmiştir. Tehlikeli bölge yüzey alanı büyüdükçe malzemenin kuruma hassasiyeti artar.

$$\text{Kuruma Hassasiyeti Katsayısı (D}_H\text{)} = \frac{M_A - M_B}{M_B}$$

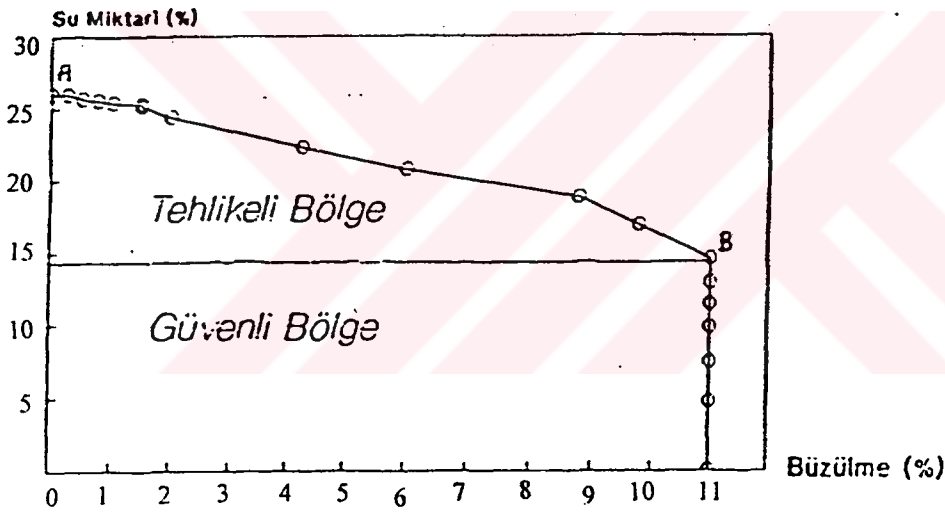
$M_A$ : A noktasındaki ağırlık

$M_B$ : B noktasındaki ağırlık

$D_H < 1$  Malzemenin kurumaya karşı hassasiyeti düşük

$D_H = 1$  Yüksek hassasiyet

$D_H > 2$  Çok yüksek hassasiyet



Şekil 5.18. Tipik Bir BIGOT Eğrisi

Hazırlanan numunelerin kurutma işlemleri sırasında; oda sıcaklığında iki saat süreyle kurutulmaları esnasında her 20 dakikada bir, 105 °C sıcaklığındaki etüvde sabit tartıma ulaşıncaya kadar, kurutulmaları esnasında ise her 10 dakikada bir ağırlıklar ve boyutlar ölçülmüştür.

Etüvde malzemeye ilave edilen plastisite suyu uçacağından, % plastisite sularından başlanarak % su miktarları, tartılan ağırlık kayıplarına oranlanarak bulunmuştur.

% Büzölme değerleri ise, başlangıç boyutlarının (80 mm) her ölçümdeki boyutlara oranı ile bulunmuştur.

Tüm bu bilgiler ışığı altında incelenen hammadde kombinasyonları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5.8. Deneylerde Kullanılan Hammadde Kombinasyonları

| Numune<br>No<br>Karışım<br>No | 1   | 3   | 2   |
|-------------------------------|-----|-----|-----|
| I                             | 100 | 0   | 0   |
| II                            | 90  | 10  | 0   |
| III                           | 90  | 0   | 10  |
| IV                            | 80  | 20  | 0   |
| V                             | 80  | 0   | 20  |
| VI                            | 70  | 30  | 0   |
| VII                           | 70  | 0   | 30  |
| VIII                          | 60  | 40  | 0   |
| IX                            | 50  | 50  | 0   |
| X                             | 50  | 40  | 10  |
| XI                            | 50  | 30  | 20  |
| XII                           | 50  | 20  | 30  |
| XIII                          | 0   | 100 | 0   |
| XIV                           | 0   | 0   | 100 |

Esas hammadde olan 1 nolu kilin içerisine gittikçe artan oranlarda 2 ve 3 nolu killer katılarak en iyi tuğla özelliklerini sağlayacak optimum hammadde bileşimi bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

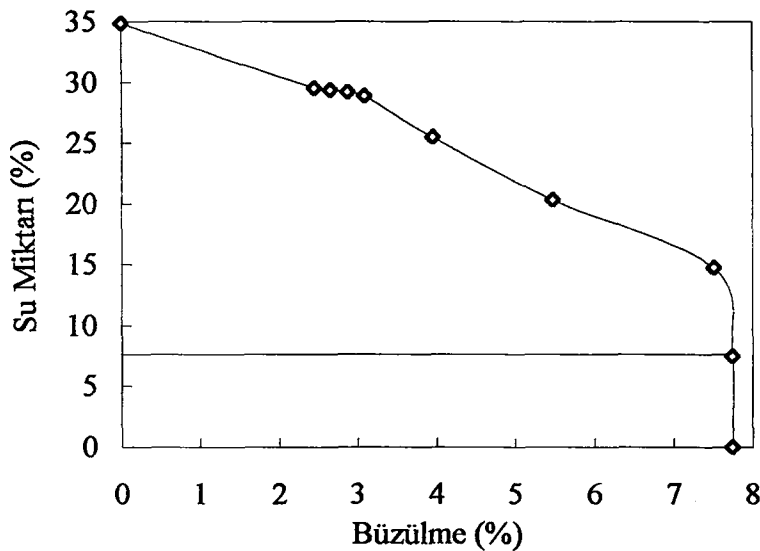
Bu karışımların incelenmesi sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 5.9’da, karışımların Bigot eğrileri ise Şekil 5.19,5.20,5.21 ve 5.22’de verilmiştir. Ancak burada I, X, XII ve XIV nolu karışımların Bigot eğrileri verilmiştir. Diğer karışımların eğrileri de “EKLER” kısmında sunulmuştur.

Tablo 5.9. İncelenen Hammadde Kombinasyonlarının Sonuçları

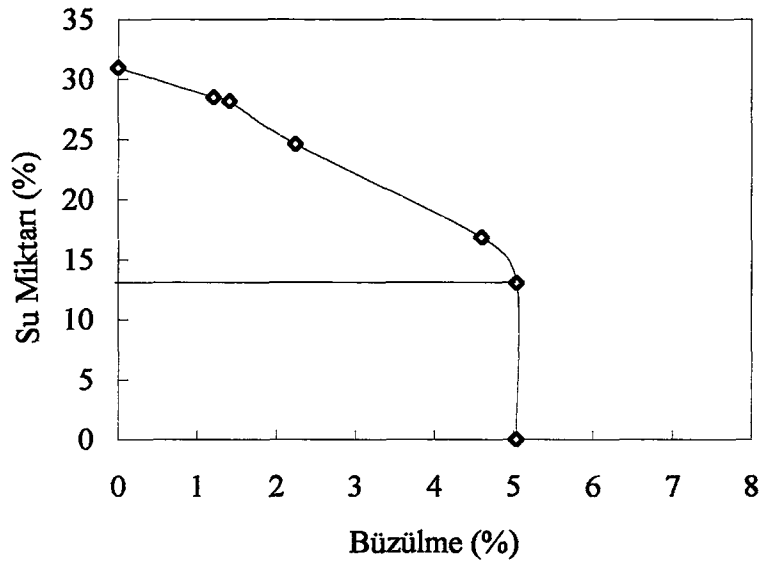
| Karışım No                       | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI    | XII   | XIII  | XIV    |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Numune No                        | 1     | 100   | 90    | 80    | 80    | 70    | 70    | 60    | 50    | 50    | 50    | 50    | 0     | 0      |
|                                  | 3     | 0     | 10    | 20    | 0     | 30    | 0     | 40    | 50    | 40    | 30    | 20    | 100   | 0      |
|                                  | 2     | 0     | 0     | 0     | 20    | 0     | 30    | 0     | 0     | 10    | 20    | 30    | 0     | 100    |
| Plastisite Suyu (%)              | 34.84 | 30.00 | 30.00 | 27.00 | 27.00 | 24.00 | 24.00 | 24.00 | 30.00 | 31.00 | 31.00 | 31.00 | 25.07 | 28.13  |
| Kuru Küçülme(%)                  | 7.75  | 7.29  | 6.15  | 6.38  | 5.48  | 5.48  | 5.04  | 5.26  | 4.16  | 5.04  | 4.82  | 5.26  | 2.88  | 3.51   |
| Kuruma Hassa.(%)                 | 1.84  | 1.71  | 0.98  | 1.42  | 0.92  | 0.83  | 0.59  | 0.8   | 0.3   | 0.3   | 0.5   | 0.32  | 0.3   | 0.41   |
| Pişme Sıcak. (°C)                | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900   | 900    |
| Pişme Küçül. (%)                 | 1.29  | 0.65  | 0.21  | 0.85  | 0.41  | 0.21  | 0.21  | 0.63  | 0.21  | 0.1   | 0.42  | 0.1   | 0.1   | 0.15   |
| Su Emme (%)                      | 14.22 | 22.49 | 23.09 | 23.81 | 21.96 | 24.49 | 21.12 | 23.21 | 23.47 | 22.91 | 25.12 | 24.99 | 21.10 | 19.80  |
| Kur.Eğ.Muk.(kg/cm <sup>2</sup> ) | 124.0 | 112.5 | 120.0 | 97.3  | 105.7 | 95.4  | 76.1  | 89.9  | 91.6  | 98.2  | 87.8  | 80.7  | 69.12 | 101.95 |
| Pişmiş Muk.(kg/cm <sup>2</sup> ) | 214.9 | 196.4 | 202.0 | 186.1 | 189.0 | 191.2 | 143.5 | 168.6 | 177.7 | 193.8 | 180.0 | 164.9 | 122.0 | 190.3  |

Sonuç olarak tablodan görüldüğü üzere en iyi özellikleri sağlayan tuğla bileşimi %50 1 nolu kil + %40 3 nolu kil + %10 2 nolu kil karışımıdır. Bu bileşim diğer bileşimler ile karşılaştırıldığında; örneğin plastisite suyu değeri %31.0'dır. Yani oldukça plastiktir. Kuru küçülme değeri ise %5.04'tir. Bu değer 1 nolu kilin oranca fazla olduğu karışımlara göre daha düşük, 2 nolu kilin oranca fazla olduğu karışımlara göre ise daha yüksektir. Genel olarak gerek 2 nolu kil, gerekse 3 nolu kil ilavesi ile küçülme değerleri düşürülmüştür. Kuruma hassasiyeti değeri de (0.3)'dir. Yani 1'den küçüktür. Bu değer sözkonusu bileşimin hassas bir kurumaya sahip olmadığını gösterir. Genel olarak bakıldığında ise, 1 nolu kilin kuruma hassasiyeti çok yüksektir. Bu ise, kuruma sırasında çatlamalara ve mukavemetin düşmesine sebep olur. 2 ve 3 nolu killerin ilavesi ile bu hassasiyet düşürülmüştür. Pişme küçülmesi değerleri hemen hemen bütün killerde kabul edilebilir değerlerdedir. Bu da pişirme işlemi esnasında çatlama problemlerini büyük oranda azaltır. Su emme değerlerine bakıldığında 2 ve 3 nolu killerin ilavesi ile değerler yükselmektedir. Ancak seçtiğimiz bileşimin su emme değeri uygundur. Yine mukavemet sonuçlarına baktığımızda kuru ve pişmiş mukavemet değerleri yüksektir. (TS 705 – EKLER Bölümü)

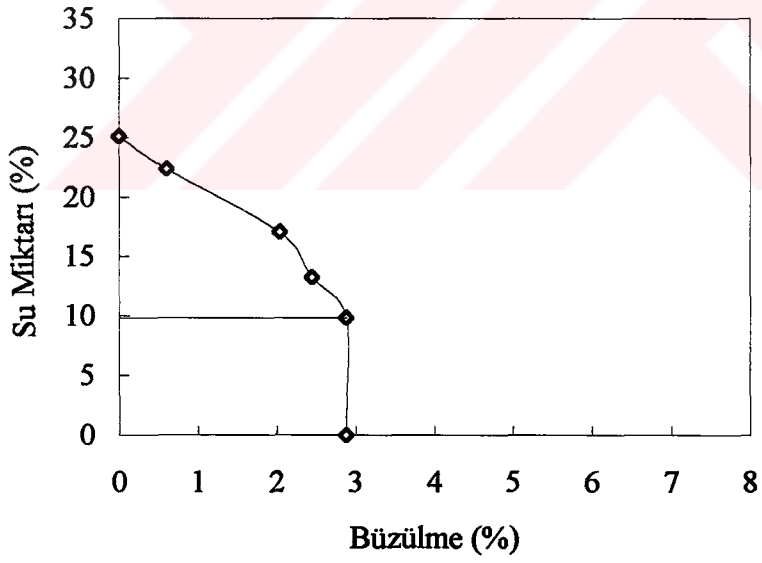
Netice itibariyle yukarıdaki karşılaştırmaların ışığında optimum özellikleri sağlayan tuğla hammaddesi bileşiminin %50 1 nolu + %40 3 nolu + %10 2 nolu kil karışımı olduğu ortaya çıkmaktadır.



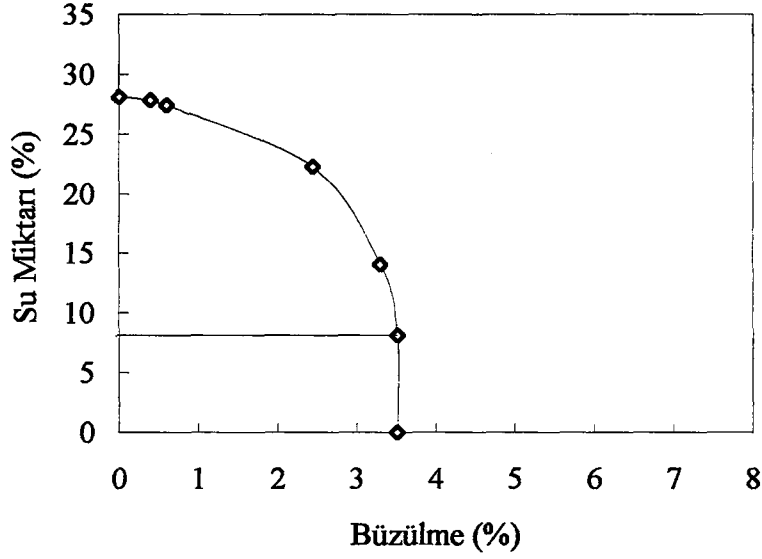
Şekil 5.19. I Nolu Karışımının BİGOT Eğrisi



Şekil 5.20. X Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



Şekil 5.21. XIII Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



Şekil 5.22. XIV Nolu Karışımın BIGOT Eğrisi

Eğriler incelendiğinde, 2 ve 3 nolu kilin kullanım oranı arttıkça ürünlerin kuruma küçülmeleri azalmaktadır. Bununla birlikte kullanım oranı arttıkça güvenli bölge az da olsa artmaktadır.

#### 5.6. Hacim Ağırlığı ve Mukavemet Tayini

Bir önceki bölümde(Bölüm 5.6) en uygun özellikleri sağlayan tuğla bileşimi tespit edilmişti. Deney numuneleri, tespit edilen kil bileşim oranlarına sadık kalınarak, Andreasen denklemindeki n değerine uygun olarak gerekli oranlarda karıştırılmışlardır. Bu karışımlar Tablo 5.10 verilmiştir.

Tablo 5.10. Andreasen Denklemine Göre Hazırlanan Karışımlar

| Boyut Aralığı | A        | B        | C        | D        | E        |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|               | % Miktar | % Miktar | % Miktar | % Miktar | % Miktar |
| -2+1          | 18.8     | 24.2     | 29.3     | 34.1     | 41.6     |
| -1+0.6        | 11.5     | 14.1     | 16.0     | 17.4     | 13.5     |
| -0.6+0.3      | 13.1     | 14.9     | 16.0     | 16.5     | 12.1     |
| -0.3+0.1      | 15.9     | 16.6     | 16.4     | 15.5     | 7.3      |
| -0.1+0.053    | 7.1      | 6.8      | 6.1      | 5.2      | 6.6      |
| -0.053        | 33.6     | 23.4     | 16.2     | 11.3     | 18.9     |
| TOPLAM        | 100.0    | 100.0    | 100.0    | 100.0    | 100.0    |
| n             | 0.3      | 0.4      | 0.5      | 0.6      | 0.7      |

Tablo 5.10'dan da görüldüğü gibi farklı n değerlerinde 5 ayrı deneme tuğlası hazırlanmıştır. Fakat bu 5 ayrı deneme tuğlasında da %50 1 nolu kil, %10 2 nolu kil ve %40 3 nolu kil bulunmaktadır. (Tablo 5.11, 5.12)

Tablo 5.11. A ve B Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri

| Boyut Aralığı | A          |            |            |        | B          |            |            |        |
|---------------|------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|--------|
|               | 1 Nolu Kil | 2 Nolu Kil | 3 Nolu Kil | Toplam | 1 Nolu Kil | 2 Nolu Kil | 3 Nolu Kil | Toplam |
| -2+1          | 9.4        | 1.9        | 7.5        | 18.8   | 12.1       | 2.4        | 9.7        | 24.2   |
| -1+0.6        | 5.7        | 1.1        | 4.6        | 11.5   | 7.1        | 1.4        | 5.6        | 14.1   |
| -0.6+0.3      | 6.6        | 1.3        | 5.2        | 13.1   | 7.4        | 1.5        | 6.0        | 14.9   |
| -0.3+0.1      | 7.9        | 1.6        | 6.4        | 15.9   | 8.3        | 1.6        | 6.6        | 16.6   |
| -0.1+0.053    | 3.6        | 0.7        | 2.8        | 7.1    | 3.4        | 0.7        | 2.8        | 6.8    |
| -0.053        | 16.8       | 3.4        | 13.5       | 33.6   | 11.7       | 2.4        | 9.3        | 23.4   |
| TOPLAM        | 50.0       | 10.0       | 40.0       | 100.0  | 50.0       | 10.0       | 40.0       | 100.0  |

Tablo 5.12. C ve D Deneme Tuğlalarının % Kil Bileşimleri

| Boyut<br>Aralığı | C             |               |               |        | D             |               |               |        |
|------------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|--------|
|                  | 1 Nolu<br>Kil | 2 Nolu<br>Kil | 3 Nolu<br>Kil | Toplam | 1 Nolu<br>Kil | 2 Nolu<br>Kil | 3 Nolu<br>Kil | Toplam |
| -2+1             | 14.6          | 2.9           | 11.7          | 29.3   | 17.1          | 3.4           | 13.7          | 34.1   |
| -1+0.6           | 8.0           | 1.6           | 6.4           | 16.0   | 8.7           | 1.7           | 7.0           | 17.4   |
| -0.6+0.3         | 8.0           | 1.6           | 6.4           | 16.0   | 8.2           | 1.7           | 6.6           | 16.5   |
| -0.3+0.1         | 8.2           | 1.7           | 6.5           | 16.4   | 7.8           | 1.6           | 6.2           | 15.5   |
| -0.1+0.053       | 3.1           | 0.6           | 2.5           | 6.1    | 2.6           | 0.5           | 2.0           | 5.2    |
| -0.053           | 8.1           | 1.6           | 6.5           | 16.2   | 5.6           | 1.1           | 4.5           | 11.3   |
| TOPLAM           | 50.0          | 10.0          | 40.0          | 100.0  | 50.0          | 10.0          | 40.0          | 100.0  |

Karışımların tümünde en büyük tane boyutunun en küçük tane boyutuna oranı  $S/L \cong 0.038$ 'dir. ayrıca bir üst boyut ile bir alt boyut arasında  $R_1/R_2 \cong 0.5$  gibi bir oran mevcuttur.

Yukarıdaki tabloda karışımları verilen deney numuneleri kuru olarak karıştırılıp, şekillendirme amacıyla %7 su ilavesi yapılmıştır. Daha sonra yaklaşık  $500 \text{ kg/cm}^2$  basınçla sıkıştırılarak tuğla haline getirilmişlerdir. Ancak burada uygulanan kuvvet iyi ayarlanarak tanelerin ezilmesi engellenmiş ve Tablo 5.10'da verilen boyutlar korunmaya özen gösterilmiştir. Üretilen bu tuğlaların hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri tayin edilerek kıyaslamalar yapılmıştır.

#### 5.6.1. Hacim Ağırlığı Tayini

Bu çalışmada hacim ağırlığı tayini DIN 51065'e göre yapılmıştır. Yalnız bu norm kapsamında yer alan 2 farklı yöntemden yararlanılmıştır. Birincisi preslenmiş numunelere uyguladığımız ölçüm yöntemi, ikincisi ise temperlenmiş numunelere uyguladığımız tartım yöntemidir. Ölçüm yönteminde,  $105^\circ\text{C}$ 'de etüvde kurutulmuş numunelerin ilk olarak kuru ağırlıkları tespit edilmiş, daha sonra ise preslenmiş

numunelerin yükseklik ve çapları bir kumpasla ölçölüp hacimleri bulunmuştur. Ölçümler 3 noktadan alınan değerlerin ortalamasıdır. Bulunan ağırlık ve hacim değerlerinden aşağıdaki eşitliğin de yardımıyla hacim ağırlığı (Paketleme Yoğunluğu) hesaplanmıştır.

$$\rho_R = m_k / V_R$$

$$\rho_R = \text{Hacim ağırlığı (g/cm}^3\text{)}$$

$$V_R = \text{Preslenmiş numune hacmi (cm}^3\text{)}$$

$$m_k = \text{Kuru ağırlık (g)}$$

İkinci yöntem olan tartım yönteminde, DIN 51056'e göre yapılan porozite tayininde olduğu gibi kuru tartımları yapılan numuneler, 4 saat suda kaynatılmış ve sudan çıkarılan numunelerin yüzeylerindeki su filmi nemli bir bezle alındıktan sonra havadaki ve su içindeki ağırlıkları tespit edilmiştir. Suda yapılan tartım, askı ağırlığının tespit edilmesi içindir. Yaş ve askı ağırlıkları arasındaki fark numunenin cm<sup>3</sup> olarak hacmine eşittir. Aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak temperlenmiş numunelerin hacim ağırlığı değerleri hesaplanmıştır. (Tablo 5.13)

$$\rho_R = (m_k / (m_d - m_A)) \cdot \rho_s$$

$$m_k = \text{Kuru ağırlık (g)}$$

$$m_D = \text{Suya doymuş ağırlık (g)}$$

$$m_A = \text{Askı ağırlığı (g)}$$

$$\rho_R = \text{Hacim ağırlığı (g/cm}^3\text{)}$$

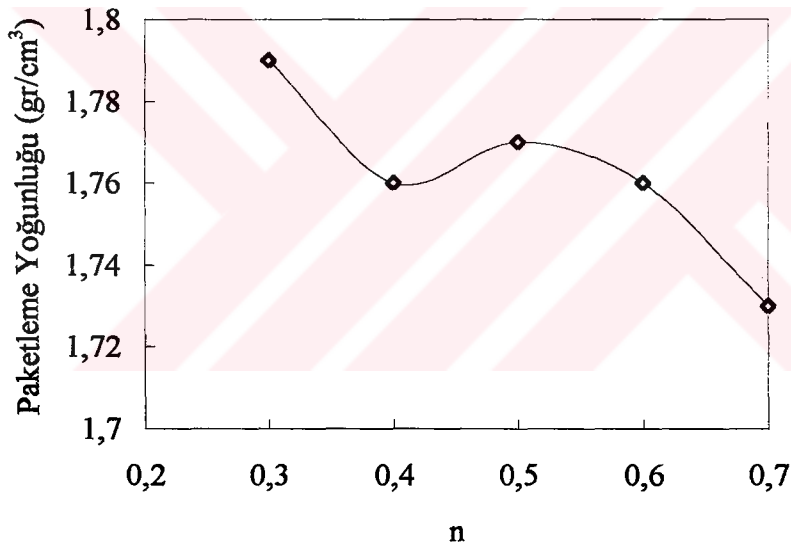
$$\rho_s = \text{Kullanılan sıvının yoğunluğu (g/cm}^3\text{)}$$

$$(\text{su için } 1 \text{ g/cm}^3)$$

Tablo 5.13. Deneme Tuğlalarının Preslenmiş, Sinterlenmiş Hacim Ağırlıkları

| Karışım No                                                 | A    | B    | C    | D    | E    |
|------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Preslenmiş Numunenin Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.79 | 1.76 | 1.77 | 1.76 | 1.73 |
| Sinterlenmiş Numunenin Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.87 | 1.92 | 1.89 | 1.86 | 1.75 |
| n                                                          | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  |

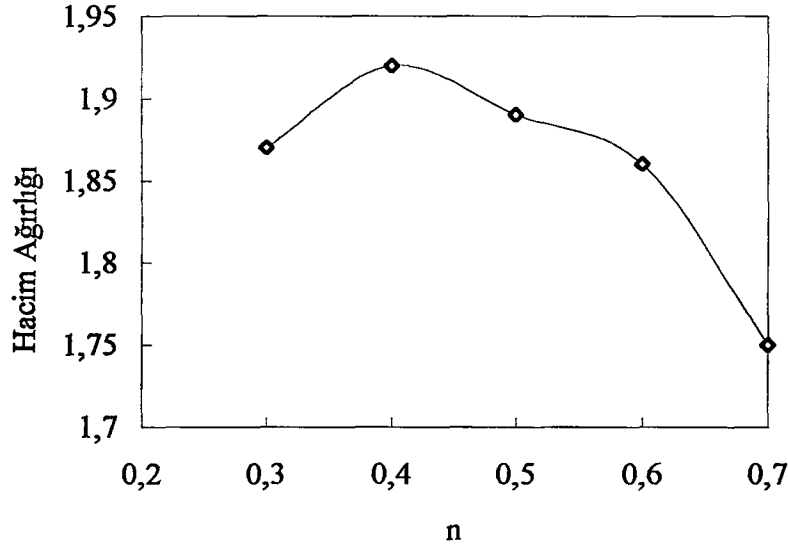
Tablodan da görüldüğü gibi n değeri küçüldükçe hem preslenmiş numunelerin hacim ağırlığı, hem de sinterlenmiş numunelerin hacim ağırlıkları farkedilir derecede artmıştır. Bu durum aşağıdaki şekilde de net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.23. n İle Karakterize Edilen Tane Boyut Dağılımıyla Preslenmiş Numunelerin Hacim Ağırlığı (Paketleme Yoğunluğu) Değişimi

n katsayısının azalması ile paketleme yoğunluklarının artmasının en büyük sebebi n sayısının azalışı ile malzemedeki ince boyut miktarının artmasıdır. Yani A tuğlası E tuğlasından daha ince boyutludur (Tablo 5.10). Bu da daha sıkı bir granülasyon ve paketlemeyi sağlamaktadır.

Aşağıdaki şekilde ise  $n$  katsayısının değişimi ile sinterlenmiş numunelerin hacim ağırlıkları değişimi görülmektedir.



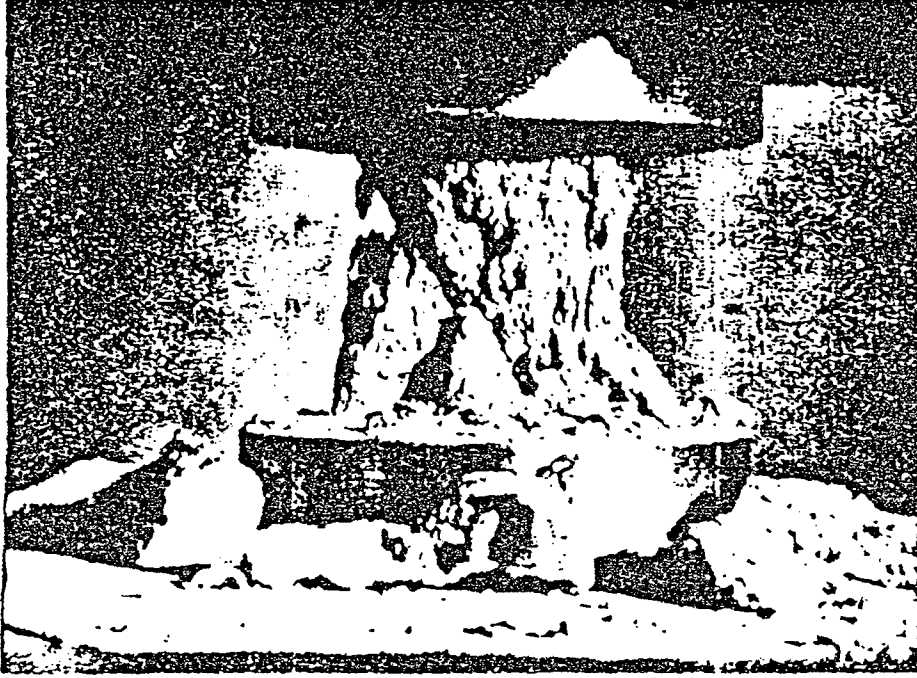
Şekil 5.24.  $n$  İle Karakterize Edilen Tane Boyut Dağılımıyla Sinterlenmiş Numunelerin Hacim Ağırlığı Değişimi

Sinterlenmiş numuneler için de  $n$  değeri azaldıkça hacim ağırlıkları artmaktadır. Ancak burada preslenmiş numunelerde olduğu gibi tek etken ince boyut miktarının artması değildir. Çünkü tuğlaların sinterlenmesi sırasında önceki bölümlerde bahsedilen birçok oksitlenme ve bozunma reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bunun sonucunda ise yeni yapılar oluşmaktadır. Bu da doğal olarak tuğlanın hacim ağırlığını etkilemektedir.

Sonuç olarak en yüksek hacim ağırlıkları  $n$ 'nin 0,3 ve 0,4 olduğu deneme tuğlalarında bulunmuştur.

#### 5.6.2. Soğukta Basma Mukavemeti Tayini

Bir tuğlanın soğukta basma mukavemeti, DIN 51067'e uygun olarak oda sıcaklığında belirlenmekte ve mekanik mukavemet için bir ölçü olmaktadır. Soğukta basma mukavemeti tayini ELLE AUTOTEST 3000 marka pres kullanılarak yapılmış numunelerin tipik konik kırılma şekli Şekil 5.25'te gösterilmiştir



Şekil 5.25. Soğukta Basma Mukavemeti Deneyinden Sonra Başlangıçta Silindirik olan Numunenin Tipik Konik Kırılma Şekli.

Basma mukavemeti tayininde maksimum 20 ton güce sahip ELLE AUTOTEST 3000 marka pres kullanılmıştır. Burada, daha önceden 50 mm çapında ve yaklaşık 50 mm yüksekliğinde preslenmiş ve takiben temperlenmiş standart numuneler, 200 kg/sn presleme hızı ile basınca tabi tutulmuş ve kırılma esnasındaki basınç değerleri, cihazın göstergesinden okunmuştur. Bulunan bu değerler, aşağıdaki formülde yerine konulmak suretiyle de numunelerin soğukta basma mukavemetleri saptanmıştır.

$$\sigma_{SBM} = P_{\max} / F_0$$

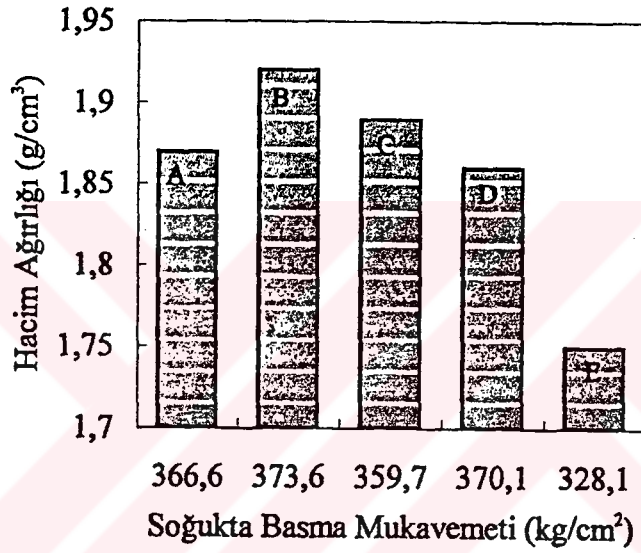
$\sigma_{SBM}$  : Soğukta basma mukavemeti (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_{\max}$  : Kırılma anındaki pres basıncı (kg)

$F_0$  : Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin başlangıç kesiti (cm<sup>2</sup>)

Tablo 5.14. Sinterlenmiş Numunelerin n değerine Bağlı Olarak Soğukta Basma Mukavemeti Değerleri

| Karışım No                                                 | A      | B      | C      | D      | E      |
|------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Soğukta Basma Mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )             | 366.46 | 373.69 | 359.75 | 370.12 | 328.14 |
| Sinterlenmiş Numunenin Hacim Ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.87   | 1.92   | 1.89   | 1.86   | 1.75   |
| n                                                          | 0.3    | 0.4    | 0.5    | 0.6    | 0.7    |



Şekil 5.26. Sinterlenmiş Numunelerin Hacim Ağırlıklarına Göre Soğukta Basma Mukavemeti Değerleri

Gerek tablodan gerekse şekilden anlaşılacağı üzere yüksek hacim ağırlıklarında yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir.

Sonuç olarak paketlenme yoğunluğu, hacim ağırlığı ve soğukta basma mukavemeti değeri en düşük olan tuğla E tuğlasıdır. Çünkü E tuğlasını oluşturan kil numuneleri hiç bir granülasyon işlemine tabi tutulmadan kırıcıdan çıktığı hali ile deneylerde kullanılmıştır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, Tekirdağ-Hayrabolu bölgesinden elde edilen kil numunelerinin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini inceleyerek, optimum özellikleri sağlayan tuğlayı üretmek olmuştur. Bu amaçla killerin mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edildi. Tanımlanan killerle değişik oranlarda karışımlar yapılarak optimum bileşim saptandı. Son olarak da kil numunelerinin boyutları değiştirilerek, mukavemet ve hacim ağırlığı arttırılmaya çalışıldı. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise şunlardır :

1. Kil numuneleri ile yapılan kimyasal analiz sonucunda  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarının, saf kaolinitin oranı olan 1,3'den çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bu da numunelerin kil ve kuvars karışımı olduklarını göstermektedir. Yüksek  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{MgO}$  miktarları ise illit ve montmorillonitin varlığını göstermektedir. Ateş kayıpları incelendiğinde değerler biraz yüksektir. Bunun sebebi, yüksek alkali içerikleri dolayısıyla karbonat varlığı ve organik safsızlıklardır.
2. Kil numuneleri üzerinde yapılan X-ışınları incelemesi sonucunda, killerin mineralojik açıdan birbirlerine çok benzer olduğu ortaya çıkmıştır. İncelemede, numunelerde yüksek miktarlarda karbon ve silis, bununla birlikte montmorillonit, kalsit ve illit mineralleri tespit edilmiştir.
3. Kil numunelerinin DTA ve Dilatometre eğrileri incelendiğinde, DTA eğrilerinde killer yaklaşık  $100^\circ\text{C}$ 'de yüzey sularını,  $450-600^\circ\text{C}$ 'de kristal sularını kaybetmektedirler.  $900^\circ\text{C}$  civarında ise spinel oluşturmaktadırlar. Ayrıca ara sıcaklıklarda ( $600-800^\circ\text{C}$ ) oluşan ekzotermik reaksiyonlardan organik safsızlıkların varlığı anlaşılmaktadır. Dilatometre eğrilerinde ise kristal suyunu kaybedene kadar bir büzülme, daha sonra da sürekli genleşme tespit edilmiştir. Bunun sebebi, özellikle 1 ve 3 nolu numunenin genleşen bir mineral (illit,mika) içermesi ve yapıda bulunan serbest silistir.

4. Yapılan mikroskobik incelemelerde 1 ve 2 nolu kilin marn ve silt karakteri taşıdığı tespit edilmiştir. 2 nolu kilde yüksek miktarda sebest silise raslanmıştır. 3 nolu kilde ise, yüksek oranda feldspat tespit edilmiştir. Bunun yanında limonit, hematit mineralleri ile mika olduğu saptanmıştır.
5. Killerin fiziksel özellikleri incelendiğinde, 1 nolu kilin plastikliğinin yüksek (%34,84) , 2 ve 3 nolu kilin ise daha düşük (%25,07-28,13) olduğu saptanmıştır. Buna bağlı olarak %7,75 kuruma küçülmesi ile en fazla büzülen 1 nolu kil olmuştur. 2 nolu kil %2,88 , 3 nolu kil ise %3,51 küçülmüşlerdir. Pişme küçülmeleri ise önemsizdir (< %2).
6. Eğme mukavemetleri incelendiğinde; 1 nolu kil, diğerlerine göre daha plastik olması ve daha yüksek  $Al_2O_3$  içermesi sonucu en yüksek mukavemeti göstermiştir ( $124 \text{ kg/cm}^2$ ). Bunun tersine, 2 nolu kil ise düşük plastikliği ve  $Al_2O_3$  içeriği nedeniyle en düşük mukavemeti göstermiştir ( $69,12 \text{ kg/cm}^2$ ). 3 nolu kil de yüksek mukavemete sahiptir ( $101,95 \text{ kg/cm}^2$ ). Pişme mukavemetleri ise sırasıyla  $214,9 \text{ kg/cm}^2$ ,  $122,0 \text{ kg/cm}^2$ ,  $190,3 \text{ kg/cm}^2$  bulunmuştur. Her üç kilin mukavemet değerleri de standartların üzerindedir. (TS 705 – EKLER Bölümü)
7. Kil numunelerinin su emme değerleri, pişme küçülmeleri ile kıyaslandığında bir orantı çıkmaktadır. Yani pişme küçülmesi en yüksek olan (%1,29) 1 nolu kilin su emme değeri (%14,22) en düşüktür. Tersine, pişme küçülmesi en düşük olan (%0,1) 2 nolu kilin su emme değeri (%21,10) en yüksektir. 3 nolu kil ise, %0,15'lik küçülmeye karşılık %19,80 gibi bir su emme değerine sahiptir.
8. Yukarıdaki yedi maddede tanımlanmaya çalışılan 3 kil numunesinden değişik oranlarda karışımlar yapılarak, uygun kil bileşiminde optimum özellikleri sağlayan tuğla tespit edilmiştir. Yapılan her bir karışımın tüm fiziksel özellikleri (plastisite, kuruma ve pişme küçülmesi, kuru ve pişmiş mukavemet, su emme) tespit edilerek, bir optimum tuğla bulunmuştur. Buna göre optimum tuğla bileşiminde; %50 1 nolu kil, %10 2 nolu kil, %40 3 nolu kil bulunmaktadır. Fiziksel özellikleri ise şöyledir; plastisite %31,0 , kuruma küçülmesi %5,04 , pişme küçülmesi %0,1

kuru mukavemet  $98,2 \text{ kg/cm}^2$ , pişmiş mukavemet  $193,8 \text{ kg/cm}^2$ , su emme %22,91'dir.

9. Çalışmanın son bölümünde optimum kil karışımına (%50 1nolu, %10 2 nolu, %40 3 nolu kil) bağlı kalınarak boyut dağılımı çalışmaları yapılmıştır. Andreasen denklemindeki  $n$  değerine bağlı olarak boyutları belirlenen tuğlaların paketleme yoğunlukları, hacim ağırlıkları ve soğukta basma mukavemetleri belirlenmiştir. Boyut dağılımları belirlenen tuğlalar (A,B,C,D) ile, boyut dağılımı ayarlanmamış (kırıcı çıkışı boyutlar) tuğla (E) kıyaslanmıştır. Burada  $n$  değeri küçüldükçe, malzemedeki ince boyutlu malzeme miktarı artmaktadır. Tuğlaların paketleme yoğunluklarına bakıldığında,  $n$  değeri büyüdükçe yoğunluk azalmaktadır. Burada en düşük paketleme yoğunluğu E tuğlasına aittir ( $1,73 \text{ g/cm}^3$ ). Bu yoğunluk  $n=0,7$ 'ye karşılık gelmektedir. En yüksek paketleme yoğunluğu ise  $1,79 \text{ g/cm}^3$  ile A tuğlasına aittir. Bu yoğunluk ise  $n=0,3$ 'e karşılık gelmektedir.

Sinterlenmiş tuğlaların hacim ağırlıkları incelendiğinde,  $n$  değerine göre boyutları ayarlanan tuğlaların (A,B,C,D) hacim ağırlıkları E tuğlasına göre çok daha yüksektir. Sinterlenmiş tuğlaların soğukta basma mukavemetleri incelendiğinde ise yine boyutları ayarlanmış tuğlaların soğukta basma mukavemetleri E tuğlasının çok üzerindedir.

Sonuç olarak, boyut dağılımı çalışması yapılarak tuğlada bulunan ince malzeme miktarı arttırılmıştır. Bu sayede yapıdaki boşlukların daha iyi dolması sağlanarak sıkı bir yapı elde edilmiştir.

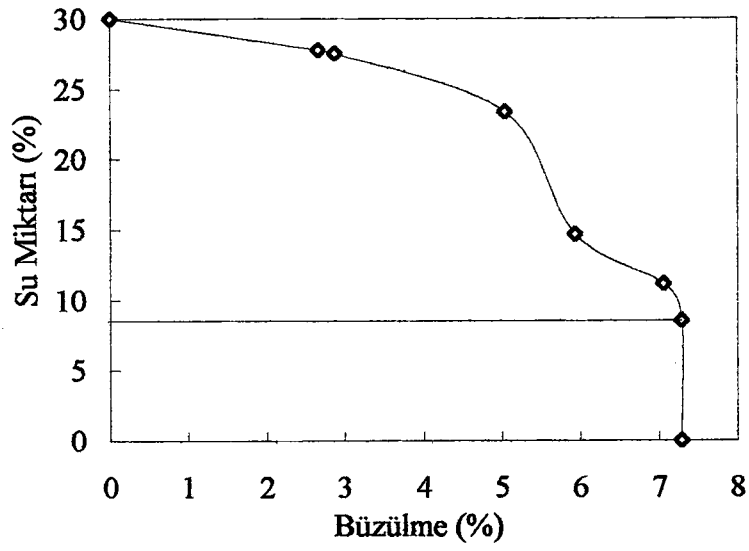
## KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, S.G., 1994. Kılıçlı (Şile-İstanbul) Killerinin Jeokimyasal Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Grim R.E., 1962. Applied Clay Mineralogy, Mc Graw-Hill, New York.
- [3] Stoch, L., 1971. On the Classification and Nomenclature of Clay Minerals, *Mineralogia Polonica* 2, pp. 85-94.
- [4] Acarsoy, A., 1983. Seramik Teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [5] Worrall, W.E., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- [6] Kaytaş, Y., 1997. Seramik ve Tuğla Hammaddelerinin Hazırlanması, Ders Notu, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.
- [7] Özgen, S., 1997. Geleneksel Seramiklerin Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler, Ders Notu, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [8] Tolon, C., 1973. Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerine Katkı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Seramik Laboratuvarı Deney Föyü, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [10] Tanışan, H.H., Mete, Z., 1986. Seramik Teknolojisi ve Uygulaması C.1.

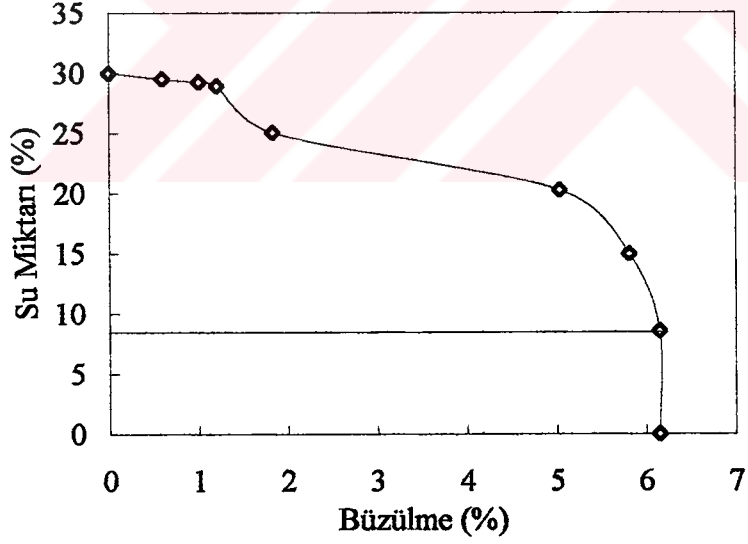
- [11] **Alemdaroğlu, M.**, 1972. Demir Cevherlerinin Direkt Redüksiyonu ve Döner Fırında Redüksiyon Kinetiği, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [12] **Gökgöz, G.**, 1996. Karo Seramik Üretim Teknolojisi, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [13] **Müdüroğlu, M.**, 1998. Yer ve Duvar Karosu Üretim Teknolojisi, Seminer Notu.
- [14] **Hüttig, G.F., Vidmajer, Z.**, 1953. anorg. allg. Chem. Bd. 272, pp. 40.
- [15] **Vlg. Manegold, E.**, 1955. Kapillarsysteme, Bd. 1. Heidelberg.
- [16] **Özen, İ.**, 1992. Magnezit-Karbon Refrakterlerde Granülasyon İncelemesi ve Antioksidan Katkısı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Smith, W.O.**, 1932. Physics Bd. 3. pp. 139.
- [18] **Manegold, E., Solf, K.**, 1931. Kolloid 2, Bd. 55 pp. 273.
- [19] **Westman, A.E.R., Hugill, H.R.**, 1930/1936. J. Amer. Ceramic. Soc. Bd. 13, pp. 767 and Bd. 19, pp. 127.
- [20] **Manegold, E., Hofmann, U.K., Solf, K.**, 1931. Kolloid 2, Bd. 56, pp. 142.
- [21] **Andreasen, A.H.M.**, 1930. Kolloid 2, Bd. 50, pp. 217.  
1928. Kolloidchem. Beih. Bd. 27, pp. 349-458.  
1929. VDI, Forschungsh. Nr. 399.
- [22] **Fuller, W.B., Thompson, S.E.**, 1907. Proc. Amer. Soc. Civil Engr., Bd. 33, pp. 222.

- [23] **Burmester, L., Angew, Z.**, 1924. Math. Mechan. Bd. 4, pp. 33.
- [24] **Litzow, K.**, 1930. Glastechn. Ber. Bd. 8, pp. 149/53.
- [25] **Onoda, G.Y., Larry, L.H.**, 1978. Ceramic Processing Before Firing, Wiley-Interscience Publication.
- [26] **Reed, J.S.**, 1988. Introduction to the Principles of Ceramic Processing, Wiley-Interscience Publication.
- [27] **Olphen, S, Fripiat, V.H.**, 1979. Data Handbook for Clay Materials and Other Non-Metallic Minerals, Pergamon Press.
- [28] **Erdinç, H.**, 1989. Kil Jeolojisi ve Teknolojisi, U.Ü. Balıkesir Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı.
- [29] **Erdoğan, S.**, 1994. İnşaat tuğlası Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Etkilerinin İncelenmesi, *Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.

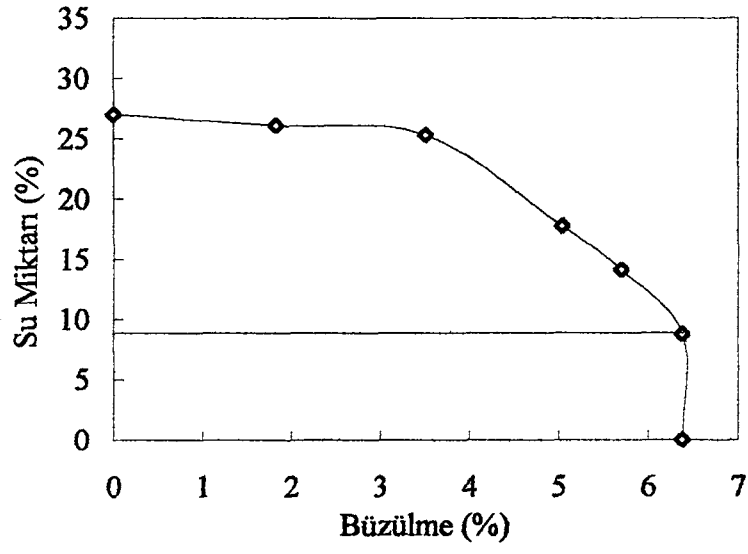
## EKLER



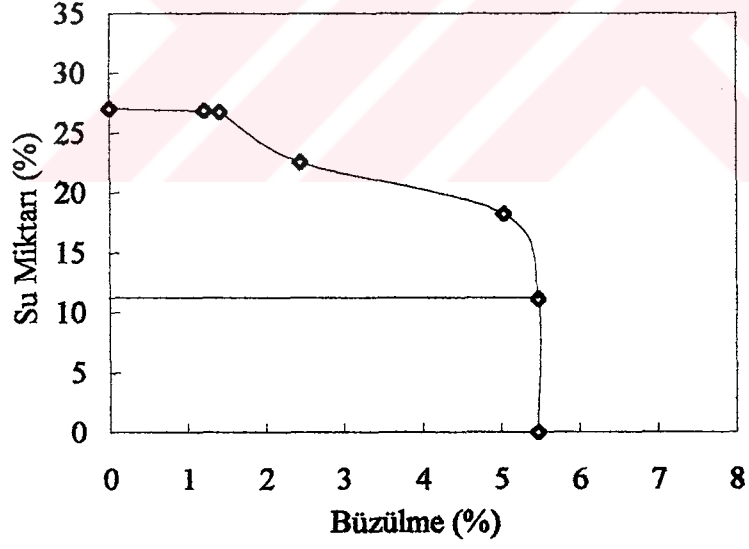
EK 1. II Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



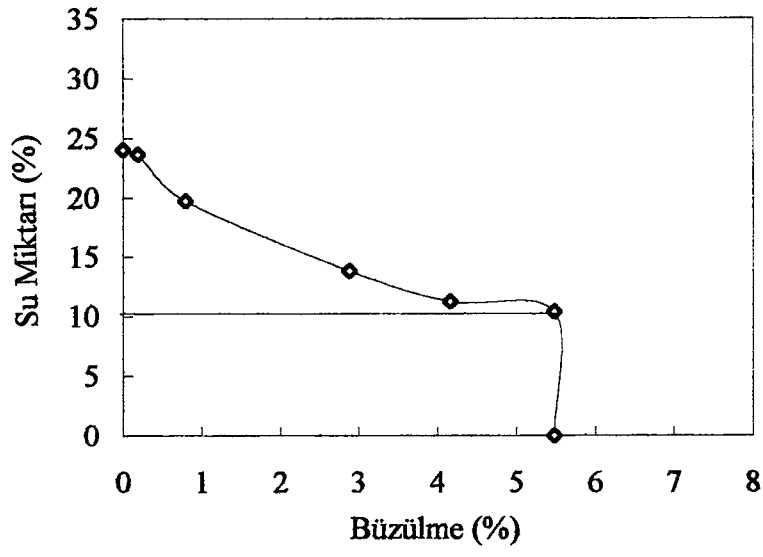
EK 2. III Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



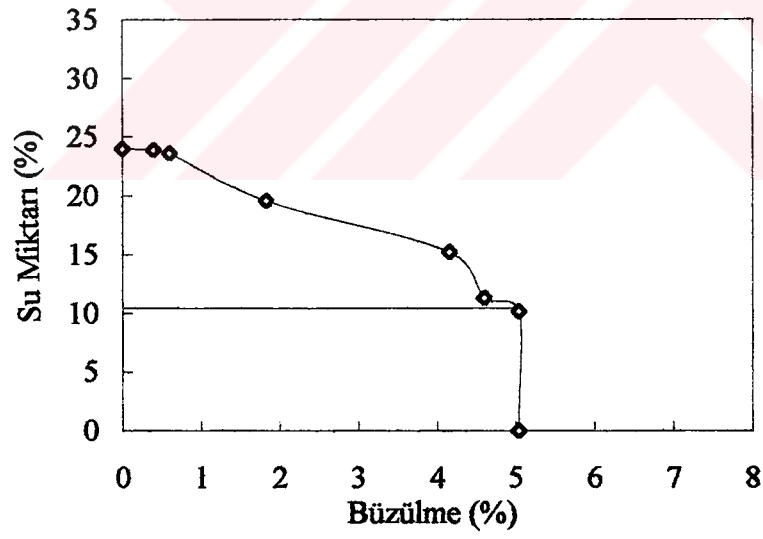
EK 3. IV Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



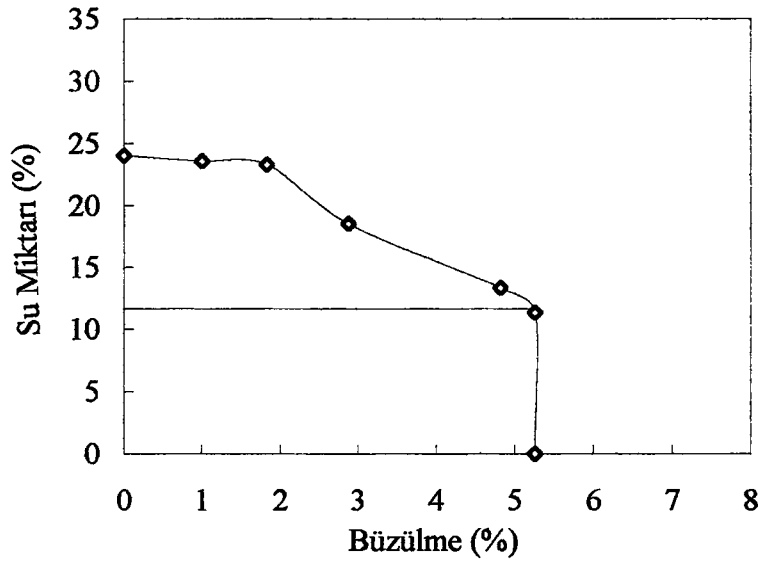
EK 4. V Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



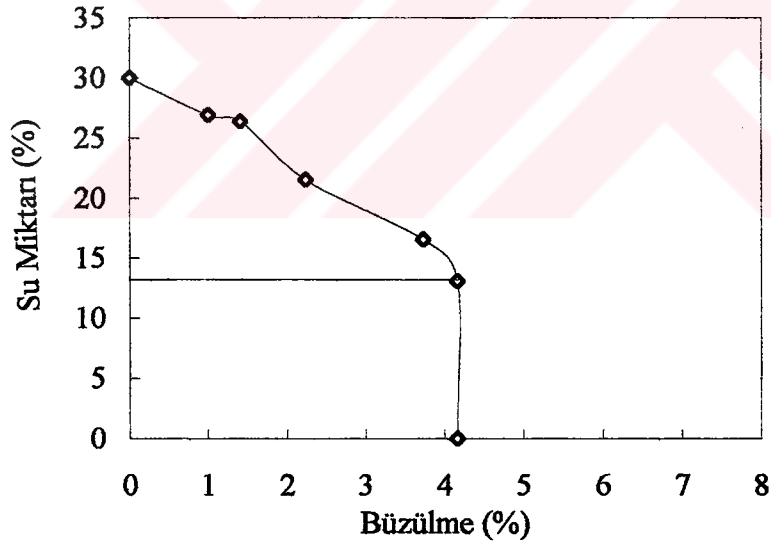
EK 5. VI Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



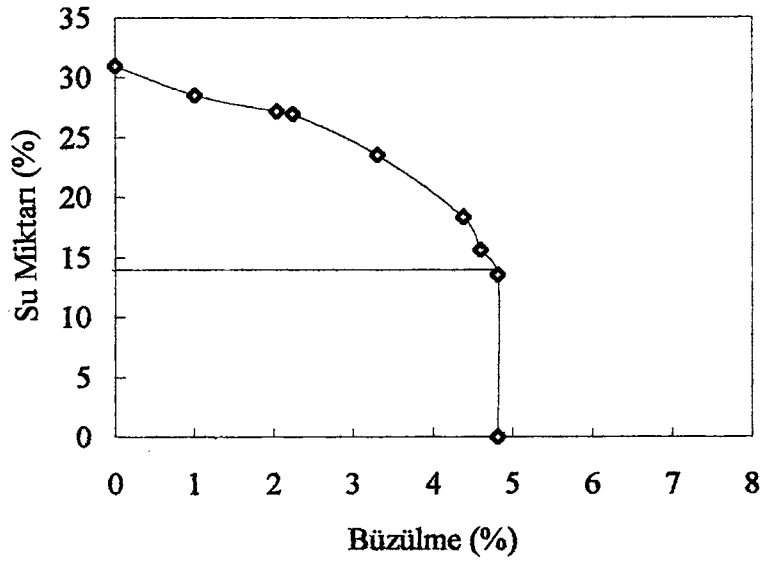
EK 6. VII Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



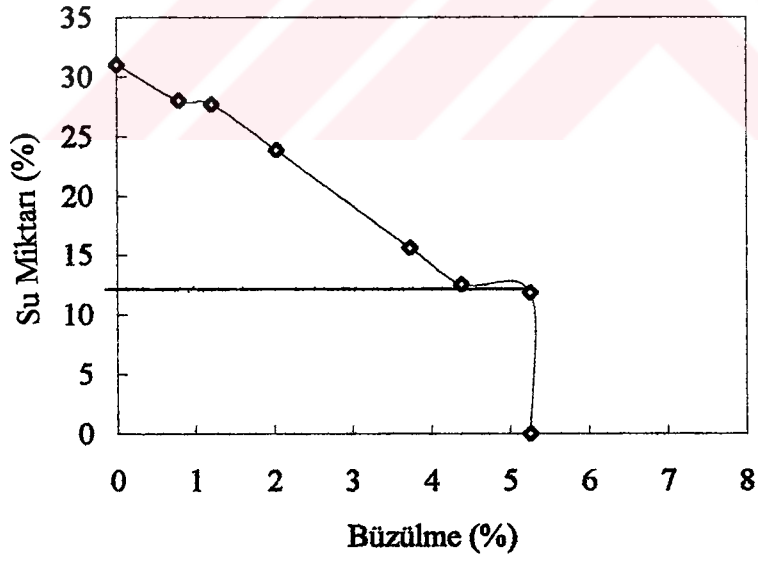
EK 7. VIII Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



EK 8. IX Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



EK 9. XI Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi



EK 9. XII Nolu Karışımın BİGOT Eğrisi

**TÜRK STANDARTLARI (TS 705)**

**Tablo 5.15. TS'ye Göre Fabrika Tuğlarının Hacim Ağırlığı ve Basınç Dayanım Değerleri**

| Tuğla Sınıfları         | Tuğla Tipleri          | Tür No. | Tuğla Sembolleri (1) | En Büyük Ortalama Hacim Ağırlığı kg/dm <sup>3</sup> | En Küçük Ortalama Basınç Dayanımı kg/cm <sup>2</sup> (3) | En Küçük Basınç Dayanımı kg/cm <sup>2</sup> (3) | En Büyük Delik Alanı Toplamı % | Tuğlada Bulunacak İşaretler |
|-------------------------|------------------------|---------|----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Sinterleşmemiş Tuğlalar | Dolu Tuğlalar          | 1       | DOT 1,8/200          | 1,80                                                | 200                                                      | 160                                             | 15                             | 1                           |
|                         |                        | 2       | DOT 1,8/120          | 1,80                                                | 120                                                      | 95                                              | 15                             | 2                           |
|                         |                        | 3       | DOT 1,8/80           | 1,80                                                | 80                                                       | 65                                              | 15                             | 3                           |
|                         | Seyrek Delikli Tuğla   | 4       | SDT 1,4/200          | 1,40                                                | 200                                                      | 160                                             | 25                             | 4                           |
|                         |                        | 5       | SDT 1,4/120          | 1,40                                                | 120                                                      | 95                                              | 25                             | 5                           |
|                         |                        | 6       | SDT 1,4/80           | 1,40                                                | 80                                                       | 65                                              | 25                             | 6                           |
|                         | Düşey Delikli Tuğlalar | 7       | ADT 1,2/150          | 1,20                                                | 150                                                      | 120                                             | 35                             | 7                           |
|                         |                        | 8       | ADT 1,2/100          | 1,20                                                | 100                                                      | 80                                              | 35                             | 8                           |
|                         |                        | 9       | ADT 1,2/60           | 1,20                                                | 60                                                       | 45                                              | 35                             | 9                           |
|                         | Çok Delikli Tuğla      | 10      | ÇDT 1,0/80           | 1,00                                                | 80                                                       | 65                                              | 45                             | 10                          |
|                         |                        | 11      | ÇDT 1,0/50           | 1,00                                                | 50                                                       | 40                                              | 45                             | 11                          |
|                         | Yatay Delikli Tuğlalar | 12      | YDT 0,8/36           | 0,80                                                | 36                                                       | 30                                              | Sınırlanmamıştır.              | 12                          |
|                         |                        | 13      | YDT 0,5/24           | 0,50                                                | 24                                                       | 20                                              | Sınırlanmamıştır.              | 13                          |
| Klinker Tuğlaları       | Dolu                   | 14      | DOK 1,8/300          | 1,80(2)                                             | 300                                                      | 250                                             | —                              | 14                          |
|                         | Delikli                | 15      | DEK 1,8/300          | 1,80(2)                                             | 300                                                      | 250                                             | Sınırlanmamıştır.              | 15                          |

(1) Dona dayanıklılık aranan tuğlaların sembolleri sonlarına (—C) harfi eklenerek gösterilir.

(2) En küçük birim ağırlığı

(3) En küçük ortalama basınç dayanımı ve en küçük basınç dayanımı için verilen değerler normal tuğla ve modüler tuğla için aynen blok tuğla için ise % 25 azaltılarak uygulanır.

Tablo 5.16. TS'de Boyutlarına Göre Fabrika Tuğlası Sınıfları

| Sınıf         | Semboller                               |                                          | Boyutlar (mm) |          |           |
|---------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|---------------|----------|-----------|
|               | Kernal Tuğ-<br>la Boyutla-<br>rına Göre | Modüler Tuğ-<br>la Boyutla-<br>rına Göre | Uzunluk       | Geniçlik | Yükseklik |
| Kernal Tuğla  | NT                                      | 2/3MT                                    | 190           | 90       | 50        |
| Modüler Tuğla | 3,7NT                                   | MT                                       | 190           | 90       | 85        |
| Blok<br>Tuğla | 3,6NT                                   | 2MT                                      | 190           | 190      | 85        |
|               | 5,7NT                                   | 3MT                                      | 190           | 190      | 135       |
|               | 7,6NT                                   | 4MT                                      | 190           | 190      | 185       |
|               | 5,5NT                                   | 6/2MT                                    | 290           | 190      | 85        |
|               | 8,7NT                                   | 4.1/2MT                                  | 290           | 190      | 135       |
|               | 11,9NT                                  | 6MT                                      | 290           | 190      | 185       |
|               | 13,3NT                                  | 6.3/4MT                                  | 290           | 290      | 135       |
|               | 18,2NT                                  | 9MT                                      | 290           | 290      | 185       |

Tablo 5.17. TS'ye Göre Tuğla Gerçek Boyutlarında Kabul Edilebilecek Sınır Değerler

| Yapım Ölçüsü | Sınır Değerler (mm) |       |
|--------------|---------------------|-------|
|              | En Çek              | En Az |
| 50           | 52                  | 48    |
| 85           | 88                  | 82    |
| 90           | 93                  | 86    |
| 135          | 139                 | 130   |
| 185          | 188                 | 174   |
| 190          | 193                 | 178   |
| 290          | 294                 | 274   |

## AMERİKAN (ASTM) STANDARTLARI

Tablo 5.18. ASTM Standartlarına Göre Fiziksel Özellikler

|                                 | En Düşük Basma Muk. Değeri<br>psi (Mpa) |                               | En Yüksek Su Emme<br>Miktarı (%) |                               |
|---------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                                 | 5 Adet<br>Tuğlanın Ort.                 | Herbir Tuğla<br>İçin Bağımsız | 5 Adet<br>Tuğlanın<br>Ort.       | Herbir Tuğla<br>İçin Bağımsız |
| Bölgelere<br>Göre Tuğla<br>Kodu |                                         |                               |                                  |                               |
| SW                              | 3000 (20.7)                             | 2500 (17.2)                   | 17.0                             | 20.0                          |
| MW                              | 2500 (17.2)                             | 2200 (15.2)                   | 22.0                             | 25.0                          |
| NW                              | 1500 (10.3)                             | 1250 (8.6)                    | sınırı yok                       | sınırı yok                    |

Not : Su Emme Miktarları 5 Saat Kaynatma Sonucu Bulunan Değerlerdir.

Tablo 5.19. ASTM Standartlarında Kabul Edilebilir Tuğla Boyutları

| Belirlenen Boyutlar (mm) | Belirlenen Boyutlarda Olabilecek<br>Maksimum Sapmalar (+/-) |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 76                       | 3/32 (2.4)                                                  |
| 76'dan 102'ye            | 1/8 (3.2)                                                   |
| 102'den 152'ye           | 3/16 (4.8)                                                  |
| 152'den 203'e            | 1 /4 (6.4)                                                  |
| 203'den 305'e            | 5/16 (7.9)                                                  |
| 305'ten 406'ya           | 3/8 (9.5)                                                   |

## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladıktan sonra 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1997 yılında bu fakülteden mezun olup aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde.Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ