# UÇUCU KÜLÜN TUĞLA KİLLERİNİN SİNTERLEME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem ESİR (ERTEN)

Danışman
Yard.Doç. Dr. İsmail DEMİR

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
2005

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# UÇUCU KÜLÜN TUĞLA KİLLERİNİN SİNTERLEME ÖZELLİKERİNE ETKİSİ

Özlem ESİR (ERTEN)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman
Yard.Doç. Dr. İsmail DEMİR

AFYON
2005

# ÖZET

Bu çalışmada tuğla kiline %30 ile %100 kadar artan oranlarda uçucu kül katılarak deney numuneleri üretilmiştir. Örnekler farklı sıcaklıklarda (950-1000 ve 1100°C) pişirilerek pişmiş örnekler üzerinde porozite, bulk yoğunluk, su emme, basınç mukavemeti, kızdırma kaybı vb. testler uygulanmıştır.

Örneklerin basınç mukavemetleri sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artış göstermiştir. Uçucu külün katkısız örneklere göre basınç mukavemetini arttırdığı belirlenmiştir. Sinterleme sıcaklığındaki artış poroziteyi azaltmıştır. Uçucu kül normal (katkısız) tuğla örneklerine göre bulk yoğunluk değerlerinde dikkate değer bir değişmeye yol açmamıştır. Uçucu külün özellikle 1000-1100 °C aralığında optimum sinterleme eğilimi gösterdiği belirlenmiştir.



**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, tuğla kili, tuğla, sinterleme, mekanik özellikler.

**EFFECT of FLY ASH ADDITION on the SINTERING PROPERTIES of CLAY**


## ABSTRACT

Experimental samples were produced by increasing addition amount of fly ash to brick clay from 30% to 100%. Samples were fired at different temperatures (950, 1000, and 1100 °C). Porosity, bulk density, water, absorption, compressive strength, fire loss etc test were applied to fired samples.

Compressive strength of the samples were increased related to increment of sintering temperatures. Fly ash addition increases the strength as compared to the plan samples. Increasing in the sintering temperature decreased the temperature decreased the porosity. Fly ash addition caused a very little change in bulk density as compared to plan brick sample. Fly ash shows optimum sintering trend between 1000-1100 °C.



**Keywords:** Fly Ash, Sintering, Brick Clay, Brick, Mechanical Properties.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ


Sayfa

ÖZET…….. I

ABSTRACT…… II

ŞEKİLLER DİZİNİ……. VII

ÇİZELGELER DİZİNİ……... VIII

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ……. IX

1. GİRİŞ…….. 1

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ…… …… 4

2.1 Kil Minerallerinin Oluşumu…… 15

2.2 Killerin Sınıflandırılması……. 17

2.2.1 Jeolojik Durumlarına Göre Sınıflandırma…… 17

2.2.2 Jeolojik Oluşumlarına Göre Sınıflandırma…….. 17

2.2.3 Kilin Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırması…… 18

2.2.4 Kil Minerallerinin Yapısal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması. 18

2.2.4.1 Kaolin Grubu Kil Mineralleri..... 19

2.2.4.2 Semektit Grubu Kil Mineralleri ..... 20

2.2.4.3 İllit ve Mika Grubu Kil Mineralleri..... 21

2.2.4.4 Klorit Grubu Kil Mineralleri..... 21

2.2.5. Sanayide Kullanılışlarına Göre Sınıflandırma…… 23

2.2.5.1 Kaolinler (China Clats)..... 22

2.2.5.2 Bağlama Kili (Ball Clays)..... 23

2.2.5.3 Halloysit Türü Kil Grubu..... 23

2.2.5.4 Şamot Killeri (Ateş Kili-Fire Clay)..... 23

2.2.5.5 Bentonitler..... 24

2.2.5.6 Yıkama Killeri (Fuller’s Earth)..... 24

2.2.5.7 Diğer Killer (Adi Killer, Şistler)..... 24

2.3 Killi Toprakların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri…….. 24

2.3.1 Killerin Kimyasal Özellikleri……... 26

2.3.2 Killerin Fiziksel Özellikleri..... 26

2.3.2.1 Killerin Plastisite Özellikleri…… 27

2.3.2.2 Killerin Kuru Bağlama Mukavemeti…… 31
2.3.2.3 Rötre (Hacimce Küçülmesi) ……..... 32
2.3.2.4 Renk……..……... 33
2.3.2.5 Tane Boyutu……. 33
2.4 Killerin ve Tuğlaların Isıl Davranışları..... 34
2.4.1 Kurutma Mekanizması..... 34
2.4.2 Pişirme Sırasında Meydana Çıkan Olaylar..... 37
2.4.2.1 Bünyeden Suyun Uzaklaştırılması..... 37
2.4.2.2 Oksitlenme ve Bozunma Reaksiyonları..... 38
2.4.3 Kilin Isıl Davranışları..... 41
2.4.4 Feldspatların Isıl Davranışları..... 42
2.4.5 Kuvarsın Isıl Davranışları..... 42
2.5 Tuğla Yapımında Kullanılan Kil Hammaddesinde Aranan
Genel Özellikler……... 42
2.6 Uçucu Kül..... 48
2.6.1 Uçucu Küllerin Tanımı ve Elde Edilişi..... 48
2.6.2 Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri..... 48
2.6.3 Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri……... 50
2.6.3.1 Uçucu Külün Tane Boyutu ve Görünüşü..... 50
2.6.4 Uçucu Külün Puzolonik Özellikleri..... 51
2.6.5 Uçucu Külün Morfolojik Özellikleri…… 51
2.6.6 Uçucu Külün Kullanım Alanları..... 51
2.7 Tuğla Hammaddelerinin Aranması ve Değerlendirilmesi…… 52
2.8 Tuğla Killerine ve Numunelerine Uygulanan Test ve Deneyler…….. 55
2.8.1 Doğal Nem Tayini……..... 56
2.8.2 Karbonat Tayini……... 57
2.8.3 Yaş Elek Analizi…….. 59
2.8.4 Plastiklik (Yoğrulma) Suyu Deneyi……. 61
2.8.5 Su Emme Deneyi……. 62
2.8.6 Dona Dayanım Testi…… 63
2.8.7 Kuru Pişme Toplu Küçülme Deneyleri…… 64
2.8.8 Kuru Kırılma Mukavemet Testi……..... 68

2.8.9 Basınç Mukavemeti Testi……. 69
2.8.10 Sertlik Derecesi Tayini Testi Deneyi……..... 70
2.8.11 Zararlı Kireç ve Manyezi Deneyi……... 72
2.8.12 Ateş Zayiatı Testi……... 73
2.9 Tuğlanın Üretim Aşamaları…….. 73
2.9.1 Hammaddenin Hazırlanması…… 76
2.9.2 Şekillendirme……... 82
2.9.3 Şekillendirilen Hammaddenin Kurutulması……. 84
2.9.3.1 Doğal Kurutma Yöntemi..... 86
2.9.3.2 Yapay Kurutma Yöntemi..... 87
2.9.3.3 Kurutma Odaları..... 87
2.9.3.4 Tünel Kurutma Fırını..... 88
2.9.4 Pişirme…… 89
2.9.5 Ambalajlama ve Sevk...…….. 89
2.10 Tuğla Sektörü…… 90
2.10.1 Tuğla Sektörünün Tarihçesi..... 90
2.10.2 Sektörün Tanımı ve Sınıflandırılması…….. 93
2.10.3 Mevcut Durumlar ve Sorunlar……. 94
2.10.3.1 Sorunlar…… 94
3. MATERYAL ve METOT……... 95
3.1 Deney Programı…… 95
3.1.1 Deneylerde Kullanılan Araç ve Cihazlar……. 96
3.1.2 Hammadde Hazırlama ……. 97
3.1.3 Karışım Oranlarının Belirlenmesi…… 98
3.1.4 Çamur Hazırlama……. 98
3.1.5 Şekillendirme……... 98
3.1.6 Kurutma……... 99
3.1.7 Pişirme……. 99
4. BULGULAR……... 100
4.1 Fiziksel Bulgular…….. 100
4.1.1 Porozite Değerleri……..…….. 100
4.1.2 Bulk Yoğunluk Değerleri……. 101

4.1.3 Görünür Yoğunluk Değerleri……... 102
4.2 Su Emme Değeri……... 103
4.3 Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)…… 104
4.4 Ateş Zayiatı Değerleri……... 105
4.5 Karşılaştırmalı Şekiller……. 107
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA……. 109
5.1 Öneriler……. 111
KAYNAKLAR……..... 112
TEŞEKKÜR……
ÖZGEÇMİŞ……

## ŞEKİLLER DİZİNİ


| Şekil | | Sayfa |
|---|---|---|
| 2.1 | Kil Kuruma Mekanizması…… | 34 |
| 2.2 | Tuğla Üretimi Akım Şeması (Kılıçoğlu 2004)…….. | 75 |
| 4.1 | Örneklerin Farlı Sıcaklıklardaki Porozite Değerleri……. | 101 |
| 4.2 | Örneklerin Bulk Yoğunluk Değerleri……... | 102 |
| 4.3 | Örneklerin Görünür Yoğunluk Değerleri……. | 103 |
| 4.4 | Örneklerin Su Emme Değerleri…… | 104 |
| 4.5 | Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri…… | 105 |
| 4.6 | Örneklerin Ateş Zaiyatı Değerleri…… | 106 |
| 4.7 | Örneklerin Porozite ve Su Emme Değerlerinin Karşılaştırılması…. | 107 |
| 4.8 | Örneklerin Bulk Yoğunluk ve Görünür Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması…… | 108 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ


Çizelge Sayfa

2.1 Yapısal Özelliklerine Göre Kil Minerallerinin Sınıflandırılması (Grim 1962)……. 19

2.2 Farklı Tip Killerin Su Plastisitesi Değerleri (Köktürk 1993)…… 29

2.3 Tuğla Killeri İçin Minimum ve Maksimum Kimyasal Yapısı (Özışık 1987)……. 47

2.4 Mohs Sertlik Çizelgesi…….. 71

3.1 Uçucu Kül ve Tuğla Kilinin Tane Boyutu Dağılımı……. 95

3.2 Çalışmada Kullanılan Uçucu Kül ve Tuğla Kilinin Yapısı…….. 96

3.3 Deney Örneklerinin Karışım Oranları……... 98

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simge | Açıklama |
|---|---|
| A | Numunenin kırıldığı yerin alanı, $cm^2$ , ($mm^2$), |
| $A_0$ | Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin alanı, |
| $a_s$ | Tuğlanın ağırlıkça su emme oranı $cm^2$ , ($mm^2$), |
| Fb | Numunenin basınç mukavemeti, $kgf/cm^2$, |
| H | Numunenin kırıldığı yerin yüksekliği, cm, (mm), |
| K | Numunenin biçim katsayısı, |
| L | Mesnetler arasındaki mesafe, cm, (mm), |
| M | Kuru kırılma mukavemeti, $kg/cm^2$, ($N/mm^2$), |
| Mk | Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numune kütlesi, |
| Ms | Suya doymuş tuğla numunesinin, (kg), |
| μ | Mikron, |
| Ph | Bazik/ asidik oranı, |
| P | Kırılma kuvveti,kgf, (N), |
| Pk | Kırılma anındaki yük, kgf, (N), |
| Ps | Plastiklik suyu (%), |

| | |
|---|---|
| XRD | X- Işınları kırınımı, |
| Sd | Doğrusal kuruma küçülmesi yüzdesi (%), |
| SD | Silis dumanı, |
| $SiO_2$ | Silisyum dioksit, |
| St | Toplam doğrusal küçülme (%), |
| Ld | Deney numunesinin kuru uzunluğu, |
| Lf | Deney numunesinin pişmiş uzunluğu, (mm), |
| Lp | Deney numunesinin plastik uzunluğu, (mm), |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|---|---|
| ASTM | American Society for Testing end Materyals (Amerikanstandart), |
| D.T.A. | Diferansiyel Termal Analiz, |
| T.S.E. | Türk Standartları Enstitüsü. |

# 1.GİRİŞ

Nüfusun hızla arttığı yaşanılan tarihi devirler içinde, çeşitli malzemeler zaman zaman önem kazanmış ve sosyal yaşantıyı da etkilemiştir. Yaşama biçimlerine göre toplumlar karşılaştıkları ihtiyaçlarını şekil ve cinsine göre yansıtmaları nispetinde büyük olmuştur.

Malzeme bilimindeki gelişmeler fonksiyonel, dayanıklı ve ekonomik malzeme üretimini hedeflemektedir. İşte bu kentleşmenin ortaya çıkardığı hızlı yapılaşma olgusu, kaliteli malzeme üretiminin önemini ortaya çıkarmaktadır (Demir 1995) .

Hızlı şehirleşme ve nüfus artışı nedeniyle artan ev ihtiyacının seri olarak endüstrileşmiş yapı malzemeleriyle karşılanması, evlerde harcanan ısı enerjisinin, enerji kaynaklarının tükenirliliği sebebiyle minimum seviyeye indirilmesi, ısı yalıtım değeri yüksek malzemelerin kullanımını gerekli kılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, gelişen teknolojiye paralel olarak, yeni yapı malzemeleri üretilmekte ve tuğla gibi geleneksel yapı malzemesinin özellikleri de değiştirilip, geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Türkiye'de kurulu 11 termik santralde yılda yaklaşık 50 milyon ton linyit kömürü yakılmaktadır. Yakılan kömürden 12 milyon ton/yıl uçucu kül atık olarak doğal çevreye bırakılmaktadır. Çok geniş miktarda depolama alanlarında biriken atık malzeme tarım alanlarına, su kaynaklarına ve doğal çevreye önemli zararlar vermektedir. Uçucu külün çok az miktarı yapı malzemesi olarak kullanılabilmektedir (Türker et al. 2003, Bayat 1998). Uçucu külün çevreye duyarlı ve ekonomik şartlarda kullanılması konusunda Türkiye de ve diğer ülkelerde çok sayıda araştırma çalışması yapılmış ve yapılmaktadır (Bayat 1998, Kumar 2003).

Kömürün termik santralde yakılması sonucu ortaya çıkan, yanmayan mineral içerikli malzemenin (külün) yaklaşık %80'i, fırından çıkan uçucu gazlarla fırın dışına taşınır (uçucu kül). Geri kalan %20'lik kısmı ise toprak halinde yanma sisteminin altında toplanır (taban külü). Elektrostatik tutucularla (filtreler) külün atmosfere karışması engellenir. Filtrelerle tutulan bu malzemeye uçucu kül adı

verilir (Wesche 1991). Türkiye'deki termik santrallerden çıkan uçucu külün %1'inden daha azı inşaat uygulamalarında kullanılabilmektedir. 2020 yılına kadar termik santrallerde yıllık 50 milyon ton atık külün ortaya çıkması beklenmektedir (Tütünlü ve Atalay 2001). Uçucu kül puzolonik aktiviteye sahip olup puzolonik aktivitesinin, içinde barındırdığı amorf karakterli silikat ve aluminatlar nedeni ile meydana geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle katkılı çimento üretiminde kullanılır. Bu ise uçucu külün en geniş değerlendirme alanını oluşturur (Lea 1980).

Beş bölümden oluşan bu çalışmada "giriş" bölümünde çalışmanın amacı, kapsamına yer verilmiştir. İkinci bölümde "literatür bilgileri" yer almış, çalışmayla ilgili literatürde verilen kaynaklar ve kullanılan malzeme özellikleri bu bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde "materyal ve metot" yer almıştır. Çalışmada kullanılan materyal özellikleri, uygulanan deneysel metotlar, bu bölümde verilmiştir. Dördüncü bölümde "deneysel bulgular ve tartışma" yer almıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları ve yorumları bu bölümde verilmiştir. Beşinci bölümde "sonuç ve önerilere" yer verilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar öz olarak verilmiş, sonuçlar literatürdeki değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santrali (Kütahya - Türkiye) uçucu külünün sinterleme özelliklerini belirlemek amacı ile deneysel bir çalışma yürütülmüştür.

Uçucu küllerin tuğla üretiminde kullanılması ile inşaat sektörüne ve ülke ekonomisine önemli katkı sağlanabilecektir. Yılda 13 milyon ton olan uçucu külün önemli bir bölümü kullanım alanı bularak geri dönüşümü sağlanacaktır. Tuğla üretiminde halen tamamen kil kullanılmaktadır. Uçucu külün tuğla üretiminde katkı olarak kullanılması ile kil kullanımı azalarak doğal çevrenin ve tarım alanlarının bozulması engellenmiş olacaktır. Uçucu külün kullanım alanı bulması ile yeni depolama alanlarına gerek duyulmayacak, doğal çevreye vermesi muhtemel zararlar engellenmiş olacaktır.

Bu çalışma Seyitömer termik santralinde ortaya çıkan uçucu küllerin yapı tuğlası üretiminde kullanılabilmesine ilişkin deneysel çalışmaları kapsar. Çalışmada kullanılan tuğla kili ve uçucu külün kimyasal ve mineralojik analizler ile fiziksel testler yürütülerek özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada Afyon bölgesinden alınan tuğla kili ve Seyitömer Termik Santralinden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Bu amaçla uçucu küle %0 ile %100 arasında değişen oranlarda tuğla kili katılarak 6 farklı karışımda örnekler üretilmiştir. Deney örneklerinin üretilmesinde çapı 25 mm ve yüksekliği 50 mm olan silindir çelik kalıp kullanılmıştır. Pişmiş örnekler üzerinde fiziksel mekanik testler yürütülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İlk zamanlar, ilkel metotlarla sadece çanak çömlek yapılarak değerlendirilen killer, zaman içerisinde teknolojinin gelişimi ile daha iyi tanınmış ve değişik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Uygun killi toprakların şekillendirilip, kurutulduktan sonra belirli sıcaklıklarda (850 – 1000 °C) pişirilmesiyle elde edilen ve genellikle duvar yapımında kullanılan tuğlanın geçmişi, M.Ö. 2500 – 2000 yıllarına dayanır. İlk örnekleme Mezopotamya'da ve Hindistan'daki İndus Vadi'sinde rastlanır. Tuğla ; çeşitli uygarlıklarda taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanıldığı gibi duvar ve döşeme kaplaması, örtü malzemesi (kubbe ve tonozlar) olarak da kullanılmıştır.

Sinterleşme esnasında kısmen veya tamamen yanabilen, organik veya inorganik katkılar, kil hamuruna eklendiğinde pişme sonrası seramik bünyesinde boşluklar oluşturur. Artan porozite oranı, seramik malzemenin ısı yalıtım değerini arttırarak, yapıların ısı enerjisi tüketimini azaltmaktadır.

Bu sebeple tuğla üretiminde, malzemeyi hafifleştirici özelliği olan organik ve inorganik katkı malzemeleri katılmaktadır (Güzel 1993).

Artık günümüzde çok farklı atık malzemeler katılarak beton kalitesinde tuğlalar üretilmektedir. Çok geniş miktarlarda depolama alanlarında biriken atık malzeme tarım alanları, su kaynakları ve doğal çevreye önemli zararlar vermektedir. Uçucu külün çok az miktarı (yaklaşık %3-4) çimento üretiminde ve beton üretiminde agreganın yerine ya da katkı olarak kullanılabilmektedir. Uçucu külün çevreye duyarlı ve ekonomik şartlarda kullanılması konusunda günümüzde araştırma çalışmaları yoğun şekilde yapılmaktadır.

Uçucu külün en önemli özelliği, kalitesinin bir çok değişkene bağlı olması ve her termik santralin uçucu külünün kendine has özelliklere sahip olmasıdır. Bayat; Türkiye'de kurulu olan 11 adet termik santralde açığa çıkan uçucu küllerin karakterizasyon çalışmasını yaparak olası kullanım alanlarını belirlemiştir. Uçucu külün tuğla ürünlerinde kullanılması ile ilgili çok sayıda çalışma yürütülmüştür

(Tütünlü ve Atalay 2001, Mörtel ve Distler 1991, Pimraksa et al. 2000, Vasic et.al 2002, Schmidt 1990).

Kömürün kalitesi mineralojisi, pulverizasyon sistemi ve ortamı, soğutma sistemi ve etkinliği, toz toplama sisteminin çalışma verimi uçucu külün kimyasını ve mineralojisini ve puzolonik davranışını etkilemektedir. Kumar ise benzer çalışmayı yüksek oranda $P_2O_5$ içeren alçı (Pohospogypsum) ile yapmıştır. Farklı oranlardaki uçucu kül miktarlarına bağlı olarak optimal uçucu kül miktarlarını belirlemiştir.

Her biri 150 MW kapasiteli dört üniteden oluşan Seyitömer kömür kaynaklı elektrik santrali (STS), Kuzeybatı Anadolu'ya enerji sağlamak amacı ile Kütahya ili sınırlarına kurulmuştur. Ünitelerden çıkan uçucu kül santrale 2,5 km uzaklıktaki depolama alanına taşınmaktadır (Hamzaoğlu 1998).

Kille yapılan çalışmalar, katkılı tuğla ve değişik atıklarla üretilen kompozit malzeme araştırmalarına ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Cairns Smith et al. (1985) "mineral bir yaşam var mıdır?" diye yapmış olduğu bir çalışmada hücrelerde mevcut bazı moleküllerin doğada bir aşamada ortaya çıkamayacak denli karışık yapılı olduğunu ileri sürmektedir. Miller'in yaptığı denemelerde özellikle nükleik asitler ve nükleotidler gibi kompleks bileşiklere rastlanılmamıştır. L. Orgel, klasik kimyasal yollar ile ancak nükleotitlerin aktif anologlarını sentezleyebilmiştir. Bu nedenle de günümüzde perebiyotik sentezi hala bir bilmece görünümündedir.

Cairns Smith'e göre organik yaşam, mineral bir yaşamdan doğmuştur. Bir mineral yaşamda en önemli rolde kil minerallerine düşmektedir. Kurama göre; illit, vermiform, kaolinit, imogolit ve allofor gibi kil kristallerinin kendi kendilerine büyüyebilmeleri, hatta doğal seçim baskısı altında evrim geçirebilme özellikleri nedeni ile, başlangıçta oluşan organik moleküllere kalıplık edebilecek yapıdadır (Danchin 1988 ve Laszio 1990).

Killer ile biyolojik makro moleküler arasında birçok ortak noktanın bulunması şeklindedir.Her ikisi de büyük bir değişken moleküler oluşturmaktadırlar.İki tip yapıda su içerisindedir; suya, dolayısıyla su içinde çözünmüş moleküllere önemli bir yüzey oluştururlar.

Kil kristalleri (alüminyum silikat) ve ayrıca oksitler veya metalik sülfürler gibi diğer mikro kristalin bileşikler, çok sayıda organik veya mineral maddeyi apsorbe etmeye uygundur. Bu bakımdan kil mineralleri, bazı reaksiyonlar için oldukça özgün katalizör işlevi görürler. Bu yönüyle yaşamın başlangıcında, küçük organik moleküllerden daha kompleks molekülleri oluşması için katalizatör işlevi görmüş olabilirler. Öte yandan killer, tıpkı bir kontrplak gibi, çok sayıda yapraklardan oluşmuşlardır. Bu yapraklı yapı nedeni ile, 1 kg'lık kilde 500 $km^2$'lik bir yüzey alanı oluşturmaktadır. Bu yaprakların diziliminde de, tıpkı DNA'nın kendi kendini eşlemesinde olduğu gibi, bir sonraki yaprağın konumunu bir önceki yaprak belirlemektedir. Killere ait tüm bu özellikler killerde bir tür mineral yaşamın olabileceğini düşündürmektedir.

Sonuç olarak killere ait bu bulgular ve kuramlar, mineral yaşam için destek verir görünümündedir. Bu çalışmalar için biyolog, biyokimyacı ve kil mineralleri ile çalışanların bu konuda iş birliği şarttır.

Dökmen (1989), yaptığı araştırmasında ön denemeler sırasında HCl (Hidroklorikasit) dökmek şartıyla kabaca belirlenen kalkerin malzeme içerisinde %8'den fazla olmaması gerektiğini, fazla ve serbest olarak bulunan $CaCO_3$'ın 700-800 °C civarında CaO, nemli ortamda ise $Ca(OH)_2$ şekline dönüşerek hacmini genişlettiğini ve çatlamalara neden olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca 900 °C'nin üzerinde kiremidi rengi açık kiremide çevirdiğini açıklamıştır. Araştırmacının yaptığı çalışmada, tuğla toraklarında bulunan kirecin yüzde olarak tam sınırlandırmanın pek mümkün olmayacağını tespit etmiştir. Bazı topraklarda %8 kireç, patlama ve dağılmalara sebep olduğu halde, bazı topraklarda da %15 kirecin zararlı etki göstermediği ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi olarak da kirecin ince taneler halinde dağılmasından ileri geldiği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Çolak (1999), yaptığı çalışmasında Kırka Boraks İşletmesi Konsantratörü atık ürünlerinin seramik yapıda atık malzeme ve seramik üretimi için uygun olabilecek bir malzemenin potansiyel kullanımını araştıran sonuçlar sunmaktadır. Boraks işletmesinin atık malzemesi üzerinde yapılan toplam kayaç X-Ray Difraktometre (XRD) çalışması sonucuna göre ortalama %41-45 dolomit, %24-28 boraks, %10-14 üleksit ve %18-21 kil mineralleri bulunmuştur. Çalışmada %17-21 kuvars, %7-11 kalsit, %56-60 simektit ve %12-16 illit + plajiyoklas+K-feldispat mineral topluluğu içeren Turgutlu tuğla hammaddesi kullanılmış ve 850-900 °C gibi düşük sıcaklıklarda bor atıkları ile üretilen; düşük su emme özelliği ile yüksek sertlik değerine sahip numuneler elde edilmiştir. Bu düşük pişme sıcaklığı endüstriye büyük bir enerji tasarrufu sağlayacaktır. Çalışma sonucunda Kırka Boraks Madeninde gözlenen bor ve kil içermesi sebebi ile, bor atıklarının seramik amaçlı kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Öztürk (1998), perlitli borakslı tuğlalarda, boraksın tuğla içindeki davranışının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Üretilen kompozit malzeme belirlenmiş sıcaklık arasından geçerken, boraksın patlaması ile hacim büyümesi sağlanması amaçlanmış ve bünyede oluşan gözeneklere kilin tutunarak bağlayıcılık özelliğini kazanması, hem boşluklu hem de istenen sağlamlıkta ve ısı yalıtımlı yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır. Boraks 350-550 °C arasında patlama, 600 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda da camlaşma özelliği göstermektedir. Yapılan deneylerde Boraksın bu özelliğinden faydalanılması ve Boraksın 350-550 °C'ler arasında patlayarak hacim genişlemesi sağlanarak, 600°C'den itibaren gözenek oluşturması ve oluşan bu gözeneklerin camlaşan Boraks ile kilin bağlanıp dayanıklı bir yapı oluşturması biçimindedir.

Demir ve Başpınar (2003), bu çalışmalarında tuğla üretiminde kullanılan kile ağırlıkça belli oranlarda ahşap testere talaşı katarak gözenekli, hafif ve izolasyon değerine sahip yapı tuğlası üretimini amaçlamıştır. Bu amaçla tuğla üretiminde kullanılan kile belli oranlarda ahşap testere talaş tozu katılarak plastik şekillendirme yöntemine uygun olarak deney örnekleri üretilmiştir. Testere talaşı üzerine önce su püskürtülerek su emmesi ve hacim genişlemesi sağlanmıştır. Örneklerin plastisite değerleri ve kuruma davranışları incelenerek

değerlendirilmiştir. Örnekler 900 °C'de elektrikli fırında pişirilmiştir. Örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuçta tuğla üretiminde kullanılan kile ağırlıkça %10'a kadar testere talaşı katılarak katkısız tuğla örneklere göre birim hacim ağırlığı düşük, gözenekli hafif yapı tuğlası üretilebileceği belirlenmiştir.

Aksel ve Kalemtaş (2002), bu çalışmada kaolin tozlarından 995-1600 °C aralığında değişen çeşitli sıcaklılarda sinterlenmesiyle müllit fazı elde etmişlerdir. Numunelerin yığınsal yoğunluk ve açık gözenek ölçümleri yapılmış olup ve bu değerlerin sıcaklığa bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Sinterlenen kaolin kompaktların da müllit tanelerinin oluşumu 1100 °C'de başlamaktadır. Pişirme sıcaklığı 1400 °C veya daha yüksek olduğunda ise iğnemsi müllit tanelerinin oluşumu, pişirme sıcaklığı, ısıtma hızı ve sinterleşme süresine bağlı olarak, XRD, SEM ve EDX çalışmalarıyla araştırılmıştır.

Sönmez ve Yorulmaz (1995), Eskişehir Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör ve Bor Türevleri tesislerinden önemli miktarda kil artık olarak atıldığından, bu killerin tuğla hammaddesi olarak kullanılabilmesinin işletmeye büyük yarar sağlayacağı düşüncesiyle, konsantratör ve bor türevleri atık killerinden numuneler alınarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Atık killer, Eskişehir çevresinde tuğla kiremit fabrikalarında kullanılan malzeme ile değişik oranlarda karıştırılmıştır. Bu karışımlar pişme rengi ve pürüzlülük, su emme, küçülme, kırılma yükü ile zararlı manyezi ve kireç deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarından Kırka Boraks İşletmesi atık killerinin diğer killerle karıştırılarak tuğla yapımında kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Çokça (1997), yaptığı çalışmada Türkiye'de bulunan Soma-B Termik Santral küllerinin, donma ve çözülme özellikleri üzerindeki etkisini araştırıp incelemek üzere, örnek üretim ve laboratuar çalışmalarını içermektedir. Örnekler sıkıştırılıp hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler donma-çözülme tekrarından önce nem odasında farklı zaman aralıklarında (1,7,14,28 ve 56 gün) 21 °C'de kür uygulanmıştır. Örnekler donma kabininde (-16 °C'de) 24 saat bekletildikten sonra %100 rölatif nemli bir ortamda (21 °C'de) 24 saat bekletilmiştir. Donma-çözülme

olayı 0,1,5,10 dönüşümlü olarak tekrarlanmıştır. Donma-çözülme tekrarı artışı ile mukavemetin kür arasındaki değişimi, basınç testleri ile tespit edilmiştir. Dayanımdaki artışın ise donma-çözülme artışına paralel olduğu tespit edilmiştir. Buradan da şu sonuca varılmıştır: Soma-B uçucu külü içerisinde bulunan serbest kireç sebebi ile puzolonik davranış göstererek, kür esnasında hidratasyon etkisi ile sertleşerek mukavemeti artmıştır. Soma-B uçucu külü, çevreyi olumsuz etkilememesi sebebi ile, sıkıştırılmış doygun halde dolgu malzemesi olarak kullanılabilecektir.

Kurşun ve İpekoğulu (1995)'nun yaptıkları çalışmalarında; Türkiye'de kuvars kumu potansiyelini incelemişlerdir. Kuvars kumu, pek çok sanayi sektöründe olduğu gibi döküm sanayi, cam sanayi ve refrakter sanayinin en önemli hammaddesi olma özelliğini taşımaktadır. Hammaddenin kaliteli olması ürüne iyi yönde yansımaktadır. Kaliteli bir ürün için, her şarta uygun ve kalitede bir hammaddeye ihtiyaç vardır. Kuvars kumu doğada oldukça fazla miktarda bulunmaktadır. Bu sanayi dallarından başka kimya, filitrasyon ve inşaat sanayinin de kullanılmaktadır. Kuvars kumunun cam ve döküm sanayinin gelişmesine paralel olarak yurt içindeki talebin arttığını belirtmişlerdir. Dünyada bol bulunmasına rağmen dağınık halde olması piyasayı hareketli kılmıştır. Türkiye'de kuvars kumunun üretimi mevcut rezervler ihtiyacı karşılayacak yeterlilikte bulunduğunu tespit edip bu alanlara göre sınıflandırma yapmışlardır.

Tanaçan (2000), yaptığı çalışmasında cam tozu, bor ve perlit kullanarak farklı kompozit tuğla numuneleri üretmiştir. Çalışmasında dayanımın sağlanması için cam tozu ve bor katkısı, sinterleşme etkisi sebebi ile de genleşmiş perlit kullanmayı tercih etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre cam tozu katkısının mekanik dayanımlarda olumlu artışlara sebep olduğu tespit edilmiş fakat cam tozunun elde edilip, öğütülmesinin de ek bir gider olduğu saptanmıştır. Bor içerikli Borik asit ve Boraks Fabrikasının üretim atığı çok düşük sıcaklıklarda camlaşmayı sağlamış, bu nedenle 850°C'de 2 saatlik pişirme süresinde perlitli tanelerin erimesini de engellediği için uygun bir sıcaklık olarak kabul görmüştür. Perlitli katkı oranı arttıkça su emme değeri artmış, bunlara paralel olarak birim hacim ağırlığı da azalmıştır. Bu çalışmada elde edilen basınç dayanımı değerleri

TS 705'deki değerlerle karşılaştırıldığında, üretilen tüm numunelerin standartta belirtilen değerin üzerinde olduğu görülmüştür. Standardın en büyük birim hacim ağırlığı 2.00 kg/m³'tür. Bu deney sonucundaki basınç dayanımı değerleri 17,6-11,8 ve 23,5 N/mm²'dir. Bu çalışmada ise birim hacim ağırlığı 0,96kg/m³ olan %10 cam tozu + %90 perlit katkılı tuğla numunesinin basınç dayanımı 17,49 N/mm², birim hacim ağırlığı 0,92 kg/m³ olan %15 atık + %90 perlit katkılı tuğla numunesinin basınç dayanımı 17,49 N/mm² olarak bulunmuştur.

Satapathy (1986), uçucu kül ve zirkonya katkıları kullanarak farklı tuğla numuneleri üretmiştir. Bu kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyip şu sonuca varmıştır. Artan katkı oranları ile su emme azalmış buna bağlı olarak sertlik dayanımı artmıştır. Üç noktalı eğilme dayanımı ise %10 katkı oranına kadar artmış fakat katkı oranı %10'un üzerine çıktıkça karışımda eğilme dayanımı azalmıştır.

Evcin ve Demir (2001), Afyon tuğla killerinin optimum pişme parametrelerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında Afyon bölgesi tuğla üretiminde kullanılan killere hızlı pişirme tekniği uygulamışlardır. Deneysel çalışmalarında hammaddeye kimyasal analiz, elek analizi, nem tayini yapmışlardır. Bu çalışmada kil, vakumlu laboratuar tipi ekstrüzyon preste şekillendirilerek numuneler farklı sıcaklıklarda (800-900-1000 °C) ve farklı sürelerde (1-2-4-8 saat) elektrikli fırınlarda pişirilmiştir. Pişmiş numuneler üzerine su emme, basınç mukavemeti, dona dayanım, kızdırma kaybı vb. deneyler uygulamışlardır. Elde edilen bu deney sonuçları karşılaştırıldığında TS 705 standardının üzerine çıkmıştır. 900°C' de 1 saat pişen tuğla numunelerinin basınç mukavemet değerleri, 800 °C' de 4 ve 8 saat pişen tuğla numunelerinin basınç mukavemet değerlerinden yüksek olduğu bulunmuştur. Pişirme masrafları düşünüldüğünde sinterleme sıcaklık derecesinin önemi de ortaya çıkmıştır.

Uchida ve Ichikawa (1998), yaptıkları çalışmada; Si ve Al tozlarının yanmamış MgO-C tuğlalarına katılması ile seçilen sıcaklıklardaki üretimde, değişen mikro yapı, mekanik ve termal özellikleri incelemişlerdir. Numuneler ısı etkisiyle 500 °C'de küçülmüş ve görünen porozite pişmemiş örneklere oranla artış göstermiştir.

Elastik modül ve eğilme dayanımı 500 °C de pişmemiş numunelere oranla çok düşmüş ve görünen porozite artmıştır. Mekanik özellikleri 500 °C'deki tekrarlanan her iki pişirmede de düşmüştür. İçerisindeki fenolik reçinenin varlığı sebebi ile bulunan uçucu madde meydana geldiğinde artık mikro yapı rötresinin durduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda mekanik özellikleri değişmez bir hal aldığı tahmin edilmektedir. Statik elastisite modülü ve eğilme dayanımı; üretimindeki bağlayıcı reaksiyon sebebi ile ($Al_4C_3$, SiC ve $MgAl_2O_4$), (800 °C, 1000 °C ve 1300 °C)'ler de, 500 °C'deki numunelerde, daha yüksektir. Tekrarlanan pişirme ve soğutma işleminin sonucunda; oda sıcaklığından 500 °C, 1000 °C ve 1300 °C'ye kadar tüm tuğla numunelerinde, sıcaklığın etkisi ile genleşme oranının azaldığı belirlenmiştir. Ancak üretimdeki reaksiyonda ortaya çıkan manyezi partiküllerindeki çatlaklar ve artış görülen porozite sebebi ile, oda sıcaklığındaki numuneler 500 °C'deki numunelerin özelliklerine benzer özellik gösterirler. 1300 °C sıcaklıkta tuğla numunelerinde kırılmadan önce plastik deformasyon görülmektedir.

Porbaha et al. (2000), yaptıkları çalışmada; termo-elektrik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin makaslama dayanımı ve geçirimliliğini zaman kriterleri ile incelemişlerdir. Makaslama testleri için Mikasa adı verilen aparat kullanılarak geçirimlilik için konvansiyonel testler uygulanmıştır. İki farklı termo-elektrik santrallerinden alınan, düşük kalsiyum içeren uçucu küllere aynı zamanda pekiştirme işlemi yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre her iki santralin de uçucu küllerinin kısa sürede pekiştiği ve bu pekişmenin zamanla değişmediğini göstermiştir. Uçucu küllerin pekişme işlemi 10 dakika ile 3 gün arasında değişmektedir. İki farklı uçucu külde puzolanik reaksiyona bağlı olarak makaslama dayanımının zamanla ayrış oranı değişmektedir. Geçirgenlik test sonuçlarına göre, 12 günlük 49 ve 98 kPa değerindeki gerilimler altında geçirgenlik kat sayısı 10-6 ve 10-7 m/s arasında değişme göstermektedir. Geçirgenlik kat sayısı yüksek kalsiyum içerikli uçucu küllerde az miktarda azalma görülürken, düşük kalsiyumlu uçucu küllerde değişmemiştir. Yapılan bu araştırmada varılan sonuç; düşük kalsiyum içerikli uçucu küllerin yumuşak zeminlerde düşey drenaj elemanı olarak kullanılabileceğidir.

Akın ve Çelik (1993), yaptıkları çalışmada Montmorillonit tipi killerin elektro kinetik davranışını incelemişlerdir. Montmorillonit (Betonit) tipi killer absorban ve kıvamlandırma gibi geniş kullanım alanlarına sahip endüstriyel minerallerdir. Yüksek yüzey alanından dolayı özellikle aktive edilmiş bentonit yağların filtrasyonunda, bunun yanında su içerisinde şişme özelliği gösterdiğinden boya sanayinde kullanılmaktadır. Bentonit süspansiyonlarının elektro kinetik davranışı flokülasyon ve flotasyon gibi işlemlerde önemli gösterge görevi görmektedir. Bentonitte yapılan elektro kinetik ölçümlerde normal minerallere göre farklı davranışlar görülmektedir. Normal şartlar altında NaCl, KCl gibi tuzlar ilave edilirken elektriksel tabakayı bastırması gereken tam tersi davranışla elektriksel yük negatif olmaktadır. Bu olayı açıklamak için tek ve çift değerlikli tuzların sistematik zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Bunun yanında bentonitin sıfır yük noktası ve potansiyel tayin edici iyonları bulunmuştur.

Hilmi ve Aysen (2000), yaptıkları çalışmada, uçucu kül; kimyasal ve mineralojik özellikleri, iç yapısı, termal analiz sonuçları sebebiyle kaldırım malzemesi olarak kullanılıp kullanılmayacağını araştırmışlardır. Uçucu kül kireç ve çimento ile stabilize edilmiştir. Kireç ve çimento ile stabilizasyonun kimyasal karışıma, kristal yapıya ve hidratasyona etkisi test edilmiştir. ASTM F sınıfı düşük kalsiyum içerikli uçucu kül kullanılmış, yanmamış karbon içeriği de %0,90 -1,28 arasında yer almaktadır. Kireç ve çimento stabilizasyonlu uçucu kül aynı şartlarda üretilip, üretimde X- ray difraksiyon analiz sonucu karbonatlaşma olmamıştır. Hepsi aynı basınç dayanım değerlerini vermektedir. Ama kireç stabilizasyonlu örneklerde; yoğunluk, miktar ve hidratasyon gelişim safhası, çimentonunkine göre daha düşük bulunmuştur.

Demir vd. (2002), diyatomit katkının yapı tuğlası üretiminde kullanılması üzerine yaptıkları çalışmada; tuğla üretmek için kullanılan kile belirli oranlarda diyatomit katmak suretiyle plastik şekillendirme yöntemine uygun deney numuneleri üretilmişlerdir. Numunelerin plastisite değerleri ve kuruma davranışları incelenerek değerlendirme yapılmıştır. Numuneler daha sonra 900°C'de elektrikli fırında pişirilmiştir. Pişen numuneler üzerinde basınç mukavemeti, su emme, porozite, kızdırma kaybı, dona dayanım testleri ve kaynaklarda belirtilen mekanik

testler uygulanarak sonuçları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda; bu bölgede tuğla hammaddesi olarak kullanılan kile ağırlıkça %60'a kadar -1mm tane boyutunda diyatomit katılarak katkısız tuğla örneklerine göre birim hacim ağırlığı düşük, hafif, gözenekli ve izolasyon özelliği daha iyi yapı tuğlası üretilebileceği belirlenmiştir.

Özkul ve Koral (1995), yaptıkları çalışmada; Afşin-Elbistan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu küllerin tuğla blok elemanı üretiminde kullanılma olanakları araştırılmışlardır. Uçucu külü stabilize etmek için değişik oranlarda alçı taşı, kireç ve çimento tek başlarına veya bir arada kullanılmıştır. Toplam katı ağırlığının %25'i kadar su katılarak Φ5x10 cm'lik silindir kalıplar içerisine 20N/mm²'lik basınçla sıkıştırılarak örnekler üretilmiştir. Bu örnekler üzerinde basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapılarak suya karşı durabiliteleri araştırılmıştır. Tüm örneklerin su içinde durabiliteleri bozulduğundan karışımların içine ağırlıkça %20, %40 ve %60 oranında agrega ilavesi yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlara göre; çimento ve alçı taşı ile stabilize edilen uçucu küllü örneklerin basınç dayanım değerleri 15 N/mm² değerine çok kolaylıkla ulaşmış bunun yanında 19 N/mm²'lik dayanımlar elde edilmiştir. Karışımlara agrega ilavesi etkisi çimento-kireç karışımında dayanım artışına neden olurken, çimento-alçı taşı karışımında dayanım azalmasına sebep olmuştur. Üretilen örneklerde agrega oranı arttıkça, ağırlıkça su emme değeri azalmış ancak standartlardaki sınır değere varılamamıştır. Karışım içinde agrega bulunmayan hacim sabitliği yeterli olmamış ve ilk 24 saat içerisinde çatlaklar ortaya çıkmıştır. Karışımlara %20 veya daha fazla oranda agrega ilavesi ilk senelerde durabilite sorununu çözmüş fakat ileriki seneler için kesin bir çözüm sunmamıştır.

Yeğinobalı ve Öztok (1997), silis dumanı ve uçucu kül içeren bims betonları ile ilgili çalışmalarında Çayırhan uçucu külü kullanmışlardır. Çalışmalar sonucunda yaklaşık çimento dozajı 500 kg/m³ ve çimentonun %15'i kadar silis dumanı ilavesi ile toplam bağlayıcı malzemenin %2'si kadarda süper akışkanlaştırıcı ilave edilerek 48 MPa'a ulaşabilen 28 günlük beton basınç dayanımları elde edilebilmiştir. Betonlarda kuru birim ağırlık 1950kg/m³ iken, ısı iletkenlik değerleri 0,55 kCal/mh °C gibi göreceli olarak düşük olmuştur. Taşıyıcı hafif

betonlarda yüksek dayanım elde etmek için yapılan çalışmalarda, uçucu kül ilavesi ile betonda ayrışmanın ve su ihtiyacının azaldığı görülmüş aynı zamanda mekanik dayanımda azalan çimento yerine kullanılan uçucu kül aynı görevi görmüş ve az kuruma rötresi ortaya çıkmıştır. Bu tür betonların üretilmesi ile endüstriyel atık olan silis dumanı ve uçucu kül değerlendirilmiştir.

Alataş ve Yıldırım (1997), yaptıkları araştırmada Afşin- Elbistan Termik Santrali uçucu külün yol stabilizasyonun da kireç ile beraber kullanmışlardır. Kireç ve uçucu kül miktarları %0, %5, %10, %15 seçilerek, numunelere 7 ve 28 günlük kürlerden sonra serbest basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda; kireç miktarı sabit tutularak yapılan uygulamada uçucu kül oranı arttıkça basınç dayanım değeri artmış, %10 uçucu kül oranından sonra basınç dayanım değeri azalmıştır. Bu deney sonuçları, Afşin - Elbistan Termik Santrali uçucu külün mineral katkı malzemesi olarak kullanıldığında zemin - kireç karışımlarının özelliklerini iyileştirdiğini aynı zamanda stabilizasyon da kullanılan yapı malzemelerinden az kullanıp tasarruf a gidileceğini ortaya çıkarmıştır.

Özkul ve Koral (1997), çalışmalarında baca gazı desülfürizasyon sistemi kurulan Çayırhan Termik Santrali'nden açığa çıkan atık ürünlerin değerlendirilmesini araştırmışlardır. Santralde açığa çıkan atık iki ürün (alçı taşı ve uçucu kül) ve kireç ile kalsiyum silikat ve kalsiyum sülfo alüminat hidrate ürünleri oluşturarak bağlayıcı malzeme oluşturmaya çalışılmıştır. Desülfojips, uçucu kül ve kireç çeşitli miktarlarda karıştırılarak 40x40x50 mm boyunda örnekler yapılmıştır. Karışımlarda ağırlıkça %10 ve %20 desülfojips kullanılmıştır. %20- %30- %40 kireç ve %80- %70- %60 oranında uçucu kül kullanılarak üretilen örneklere laboratuar şartlarında kür uygulanılarak 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri saptanarak fiziksel deneyler uygulanmıştır. Sonuçta kireç uçucu kül karışımına desülfoalçı (kimyasal alçı) eklemenin aktiviteyi arttırdığı ve en yüksek mukavemeti ise %10-20 alçı taşı ilaveli örnekler sağladığı görülmüştür. Kür sıcaklığının artışı, hidratasyon hızının artmasına sebep olmuş ve buna paralel mukavemet artarak yaklaşık 50 MPa'a ulaşmıştır. Kür sıcaklığının artması, basınç dayanımının ve hacimce su emme değerinin artmasına sebep olurken birim hacim ağırlığının da azalmasına etken olmuştur.

## 2.1 Kil Minerallerinin Oluşumu

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurutuldukları zaman aynı şeklini koruyabilen hammaddeler özlü hammaddeler olarak tanımlanır (Köktürk 1993).

Kil ve kaolinler bu gruba girerler. Granit, gnays, feldspat, syenit ve pegmatit gibi primer kayaçların doğasal ve buna yardımcı fiziksel-kimyasal etkenler ile aşınıp, bozulup, dağılıp, ufalanıp, sürüklenmeleri sonucu kaolin ve killer oluşmuştur. Kayaçların değişikliğe uğramalarında rüzgar, su, buz, sıcaklık-soğukluk değişimleri, yer kabuğu hareketleri, karbondioksit, humus asidi, kükürt asitleri, flor ve hidrojen asitli gazlar rol oynarlar. Bozunan kayaçlar su ve rüzgar gibi etkenlerle uzaklara taşınırlar ve taşınma sırasında az veya çok öğütülürler, organik ve inorganik maddelerle karışırlar (Acarsoy 1983).

Yakın yere taşınabilen veya tane irilikleri nedeni ile yakında çöken oluşumlar (primer oluşum) temiz olarak kalabilmişlerdir. Mesela; kaolin olarak bilinen hammadde türü fazla uzağa taşınmadan erken çöken hammaddedir. Daha uzaklara su ile taşınabilen maddeler (sekonder oluşum) sürtünme ile daha fazla öğütülmüşler, çeşitli organik maddeler ve renk veren oksitler ile karışmışlardır. Çukur veya düz arazilerde taşınma sona erdiğinde tabakalar şeklinde çökelmeler oluşmuş ve kaoline göre daha özlü ve ince taneli olan kil meydana gelmiştir. Ayrıca oluşumları ana kayaçların aşınmasından farklı olan örneğin; volkanik küllerin ayrışması veya nasıl oluştukları kesin bilinmeyen özlü seramik hammaddeleri vardır (Acarsoy 1983).

Özlü hammaddeler, belirgin bazı fiziksel özelliklerden dolayı çok eskiden beri kullanılmaktadır. Aslında yapıları çok karışık olup, bu yapıların anlaşılması, ancak yakın zamanlarda X ışınları, elektron mikroskobu, diferansiyel termik analiz (DTA) ve termal gravimetri (TG) gibi yöntemlerin uygulanması ile başarılmıştır.

Yukarıda saydığımız kayaçların ayrışma reaksiyonları çok karışık ve izlenmesi mümkün olmayan reaksiyonlardır. Ancak varsayımlarla ve kuramsal olarak kimya denklemleri ile açıklanabilir (Doğan 1993).

$$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2+2H_2O \longrightarrow Al_2O_3.6SiO_2.H_2O+2KOH$$

(Hidroliz)

$$Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \longrightarrow Al_2O_3.4SiO_2.H_2O+2SiO_2$$

Pirofillit

$$Al_2O_3.4SiO_2.H_2O+H_2O \longrightarrow Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O+2SiO_2$$

Kaolinit

$$Al_2O_3.2H_2O+H_2O \longrightarrow Al_2O_3.2H_2O+2SiO_2$$

Diaspor

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \longrightarrow Al_2O_3.3H_2O$$

Gibbsite

Bu tanımlar kapsamında içinde kil minerali bulunan, belirli oranda su ile karıştırıldığında çamur haline gelen, şekillendirme özelliğine sahip, 800-1200 °C de pişirildiğinde, çatlamayan topraklar tuğla imaline uygun hammaddeler olarak kabul edilmektedir. Tuğla toprağı genellikle, illit, az montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözünebilen tuzlar ihtiva ederler. Tuğla hammaddesinin en belirgin özelliği; %25-35 oranında su ile karıştırıldığında plastiklik özelliği kazanması, şekillenebilmesi ve kurutulup pişirildikten sonra mukavim bir malzeme özelliği kazanmasıdır (Köktürk 1993).

## 2.2 Killerin Sınıflandırılması

Kil minerallerinin çok büyük ve karmaşık bir mineral dizisine sahip olmaları içeriklerindeki yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin değişik oluşu gibi etmenlerden dolayı killer birçok şekilde sınıflandırılabilirler.

### 2.2.1 Jeolojik Durumlarına Göre Sınıflandırma

Jeolojik oluşumlarına göre killer ikiye ayrılır. Bunlar;

Kimyasal ayrışma ile yerinde oluşan killer (Resudiel killer): Genellikle feldspatların ayrışmasıyla yerli kayaç üzerinde oluşan killerdir. Bu killerin oluşumu için en uygun kayaçlar pegmatitler, granitler ve siyenitlerdir. Bu magma kökenli derinlik ve yarı derinlik kayaçlarının yüzey kayaçları da (Örnek: Riyolit, dasit, andezit vb.), kil ve kaolen oluşumu için uygun kayaç olarak görülürler.

Taşınma ile oluşan killer: Bu killerde bir ayrışma ve bir aşınma, sonraları da uygun bir ortama taşınma söz konusudur. Alterasyon ile oluşan killer olarak da isimlendirilen taşınmış killer organik kökenli tüffit ve küllerin ayrışarak taşınması ve çökelmesi sonucu oluşurlar. Bataklık veya denizlere taşınıp burada yatak haline gelirler. Rüzgarlarla taşınan killerin birikmesiyle oluşan kil yataklarına lös adı verilir. Buzullarla taşınan killerde ise buzulların içinde bulunan yabancı maddelerden dolayı bir ekonomik değer söz konusu değildir (Kibici 2002).

### 2.2.2 Jeolojik Oluşumlarına Göre Sınıflandırma

Kil mineralleri iki şekilde var olur. Bunlar:

Dış etkenlerle oluşan killer: Daha önce var olan kayaçların Dezagregasyonu, yani bu kayaçların parçalanma, ufalanma, yumuşama ve ayrışması sonucu bir takım yeni mineraller oluşur. Bu mineraller köken kayacın mineralojik bileşimine kesinlikle bağlıdır. Kimyasal bir olay meydana gelmediği için yeni oluşan mineralin, kimyasal bileşiminde değişiklik olmaz. Ayrışma olayında en etkin faktör yüzeyden süzülen $CO_2$'li sular ve humus asididir. Dezagregasyon olayını

tamamlayan kayaçlar bir yerde durgun bir ortamda birikebiliyorsa dış etkenlerle bir yatak oluşmuş demektir.

İç etkenlerle oluşan killer: Yüzeyde görünmeyen, yer yüzüne yakın derinliklerde yer alan bir grup kayaçlar gerek yer altı sularının, gerekse hidrotermal eriyiklerin etkisi ile öz biçimlerini korumayarak ayrışabilirler ve böylece kil yataklarını oluşturabilirler. Daha sonraları üst örtünün aşınıp gitmesi sonucu söz konusu yataklar açığa çıkarak işletilebilirler.

### 2.2.3 Kilin Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması

Killer yapılarına göre ya şekilsiz (amorf) veya kristalli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Kristalli killerde atomların iç dizilişleri iki tabaka halindedir. Tabakalardan biri $SiO_2$, diğeri ise $Al_2O_3$ tabakaları şeklindedir. Kristal ve amorf yapıda olan kil mineralleri şu şekildedir (Kibici 2002).

Killer Kimyasal Bileşenlerine Göre Nasıl Sınıflandırılır?

Killerin sınıflandırılabilmeleri için; su alarak şişmeleri, plastik özellikleri, kuruması, gözenekli yapısı, kalsine edilmesi ve sinterleşmesinin bileşen ve mineral içeriklerine bağlı olarak incelenmesi önemli bir mekanik ve termik araştırmalara tabi tutulması gerekmektedir (Thompson et al.1985 ve Barshad 1952).

### 2.2.4 Kil Minerallerinin Yapısal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Kil mineralleri yapısal özelliklerine göre genelde aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Yapısal Özelliklerine Göre Kil Minerallerinin Sınıflandırılması (Grim 1962)

| Yapı | Grup | Oktahedral Katmanın Yapısı | Mineral | Kimyasal Formül |
|---|---|---|---|---|
| 2 Katmanlı | Kaolin | Dioktahedral | Kaolinit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| | | | Dikit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| | | | Halloysit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| | | | Nakrit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| | | | Anaksit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ |
| | | | Endellit | $Al_2Si_2O_5(OH)_4\ 2H_2O$ |
| 3 Katmanlı | Smektit | Dioktahedral | Montmorillonit | $5Al2O_3.2MgO.24SiO_2.6H_2O(Na_2O,CaO)$ |
| | | | Beidelit | $13.Al_2O_3.5Al_2O_338SiO_2.12H_2O(Na_2O,CaO)$ |
| | | | Nontronit | $6Fe_2O_3.Al_2O_3.22SiO_2.6H_2O(Na_2O,CaO)$ |
| | | Trioktahedral | Hektorit | $16MgO.Li_2O.24SiO_2.6(F,H_2O)(Na_2O)$ |
| | | | Saponit | $18MgO.Al_2O_3.22SiO_2.6H_2O(Na_2O,CaO)$ |
| | İllit veya Mika | Dioktahedral | İllit | $(Al_4Fe_4Mg_6)O_{20}.(OH).4K_y(Si8\text{-}Yal_y)$ |
| | | | Muskovit | $K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$ |
| | | Trioktahedral | Biyotit | $K(Mg,Fe)3.(Al,Fe).Si_3O_{10}.(OH)_2$ |
| | | | Flogopit | $H_2.K.Mg_3.Al(SiO_4)_3$ |
| 4 Katmanlı | Klorit | | Atapulgit | $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2.4H_2O$ |
| | | | Sepiyolit | $Mg_2Si_3O_82H_2O$ |
| | | | Allofan | $Al.SiO_2.H_2O$ |

### 2.2.4.1 Kaolin Grubu Kil Mineralleri

Genellikle feldspatların bozuşmasından oluşan kaolinler; değişen oranlarda feldspat, mika, kuvars, demir ve titan oksitlerle diğer kil mineralleri içerirler (Malayoğlu ve Akar 1995). Kil çok saf olduğu zaman kaolinitin adı alır (Erdoğan 1994). $Al_2O_3$, $2SiO_2$, $2H_2O$ formülü ile ifade edilir. 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. Elektron mikroskopta ince levhalar halinde görülür. Hegzoganal sistemde kristalleşmiştir. Kuru büzülmesi ve plastisitesi azdır. Çapları 1-5000 mikron arasındadır (1 mikron=0,00001 mm). Mukavemet grubundaki bu kil mineralleri, feldspatların asit ortamlardaki sıcak, soğuk ve hidrotermal eriyiklerin direkt etkisiyle olur (Kibici 2002). Kaolinit içindeki bünye suyunun, kristal yapıdaki (OH) bağlarından geldiği saptanmıştır. Kaolinit grubu mineralleri saf oldukları zaman beyaz renkli olup, mat görünüşlüdürler. Sertliği 2-2,5 özgül ağırlığı 2,61-2,68 gr/cm$^3$'tür

(Yılmaz 1994). Saf kaolinit kristalleri 1750 °C'de erirler. Doğada saf kaolin yataklar demir oksit, silis dioksit, kalsiyum karbonat ve silikat türünden maddeler içerir (Erdoğan 1994). Grubun en önemli üyelerini kaolinit, dikit ve nakrit oluşturur. Dikit ve nakritin kimyasal bileşimi kaolinitinle aynıdır. Ondan farklı olan bu mineraller monoklinal, kaolinit triklinal sistemde kristalleşmektedir (Yılmaz 1994).

Kaolinler kullanım alanlarına göre sınıflandırılabildikleri gibi alüminli, silisli, demirli, kaolin şeklinde mineralojik bileşimine, yağlı, sert, döküm, yumuşak, plastik kaolin, refrakter kaolin şeklinde fiziksel özelliklerine göre de sınıflandırılabilirler (Malayoğlu ve Akar 1995).

### 2.2.4.2 Smektit Grubu Kil Mineralleri

Daha önceleri montmorillonit grubu olarak adlandırılan smektit grubunun mineralleri çok küçük kristal taneciklerden meydana gelmiştir. Bu sebepten 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. Yoğunluğu 2-3, sertlikleri ise 1-2 dir. Smektitlerin göze çarpan yapısal özelliği, ünite tabakaları arasına ve organik maddeler gibi polar moleküler alabilmesidir. Yapıda meydana gelen bazı yer değiştirmeler göz önüne alınmaksızın teorik formülü $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4\ nH_2O$ (tabaka arası su) dur. Tabaka arasında yer alan su ve diğer polar moleküller dikkate alınmaksızın teorik bileşimi %66,7 $SiO_2$, %28,3 $Al_2O_3$ ve %5 $H_2O$' dur. Smektit grubu minerallerin bileşimi yapı ağındaki temel unsurlardan 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 savkonit olarak adlandırılır. Hektorit mineralinde ise alüminyum yoktur ve magnezyumun yerini lityum almasından meydana gelir. Montmorillonitteki alüminyum diğer atomlarla yer değiştirebilir ve yeni türler oluşur. Grubun ana mineralleri Montmorillonit yaprak

şeklinde eş boyutlu çok ince ünitelerden meydana gelir. Nontronit, Saponit, Hektorit ise iğne şeklinde uzun minerallerdir (Yılmaz 1994).

### 2.2.4.3 İllit ve Mika Grubu Kil Mineralleri

İllit mineralleri muskovitin bozulması sonucu oluşurlar (Erdoğan 1994). $(OH)_4K_4(Al_4\ Fe_4\ Mg_4).(Si_8\text{-}4Al)O_{20}$ bileşimindedir. İllit grubu, montmorillonit grubu ile kaolinit grubu arasındadır. Glokonit denizsel ortamlarda oluşan bir kil mineralidir (Kibici 2002). İllit ve mika minerallerinin yapı özellikleri birbirine benzer. Bu yapı iki silis tetrader tabakası arasında yer alan bir alümina oktaeder tabakasından ibarettir. Birim ünitenin tetraderlerinde silis alüminyum ile, oktaderdeki alüminyum ise demir ve magnezyum ile yer değiştirir. Böylece kristal hücresinde birim ünite sayıları ve düzenlemeleri değişerek, değişik mika mineralleri meydana gelir (Yılmaz 1994). İllit mineralleri elektron mikroskopta ufak, yassı ve düzgün olmayan levhalar halinde görülür. Atom yapısı montmorillonite benzer. Yani üç tabakalıdır. Potasyumca zengin ortamlarda oluşurlar (Kibici 2002). İllit kristallerinin tane boyutu 0,1-0,3 mikron arasındadır 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 pembemsidir (Yılmaz 1994).

Plastik özelliğinin uzun bir vitrifikasyon (camlaşma sıcaklığı) aralığına sahip olmasının sağladığı olumlu pişme özelliği nedeniyle tuğla üretiminde en çok tercih edilen kil grubudur (Erdoğan 1994).

### 2.2.4.4 Klorit Grubu Kil Mineralleri

İç yapısı bakımından illite benzer. Atomların iç dizilişi üç tabakalıdır. Bazen iki tabakalı minerallerin miktarı ve cinsi değişebilir. Sekonder mineral grubuna girer (Kibici 2002).

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 brusit tabakalarına benzer tabakaların

ardalanmasından meydana gelir. Mikaya benzer tabakalar trioktahedral olup genel bileşimi $(OH)_4(SiAl)_8(MgFe)_6 O_{20}$'dir. Brusite benzer tabakaların genel bileşimi $(OH)_{12} (MgAl)_6$'dır. Klorit minerallerinin klivajı mükemmel olup, yoğunlukları 2,6-3,3 , sertlikleri 2-3'tür. Renkleri ise yeşil, sarı, beyaz, kırmızı, pembe, kahverengi ve renksizdir (Yılmaz 1994, Worrall 1986).

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 minerallerinin, diğer minerallerden ufak farklılıklarla ayrıldığı ileri sürülmektedir. Sepiyolitin teorik bileşim formülü $Si_{12}Mg_9O_{30}(OH_2)_4 6H_2O$'dur. Ortorombik hücre yapısında olduğu kabul edilmektedir. Minerallerin herhangi bir iyon değiştirme özelliği yoktur. Kuru numuneleri suya atıldığında çok miktarda su emer. Genellikle beyaz renkli olan sepiyolit yaş iken çok yumuşaktır. Kuruyunca bir hayli sertleşir (Yılmaz 1994).

### 2.2.5 Sanayide Kullanılışlarına Göre Sınıflandırma

#### 2.2.5.1 Kaolinler (China Clays)

Kaolinin kullanım alanlarının sınıflandırılması ise en çok tüketilen ve tüketildiği alanda ana girdi teşkil etmesinden dolayı aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür;

Seramik alanında kullanılan kaolinler,

Dolgu alanında kullanılan kaolinler (kağıt, plastik, tekstil, boya, cam),

Diğer sanayi dallarında kullanılan kaolinler (çimento,ilaç,kozmetik, deri,yağ).

#### 2.2.5.2 Bağlama Kili (Ball Clays)

Bağlama killeri kaolinlerden daha ince tane yapısına sahiptirler ve daha fazla safsızlık içermektedirler. Özellikle karbonat içerikleri fazladır. Bu tür killerin içerisindeki safsızlıkların çokluğu ve çeşitliliği özellikle ısı ile renk değişimi özelliğini kazandırdığından, su apsorbe ve plastik özellikleri daha fazladır. Bu tür killerin kullanım alanlarına göre sınıflandırılması ise;

Seramik sanayinde kullanılanlar,

Diğer sanayi dallarında kullanılanlar (yapay abrasifler, emaye, asbest üretimi).

#### 2.2.5.3 Halloysit Türü Kil Grubu

Halloysit, kaolinler oluşurken daha çok hidratasyona uğramış halleridir. Bu kili kaolinlerden ayırmak oldukça zordur. Bu minerali tanımak için ek fiziksel ve kimyasal deneyler yapmak gerekir. Halloysitlerin kullanım alanları;

Seramik ve porselen sanayinde,

Döküm sanayinde,

Petrol ve yağ endüstrisinde katalizör olarak kullanılırlar.

#### 2.2.5.4 Şamot Killeri (Ateş Kili - Fire Clay)

Bu killer genellikle kömür yataklarında, kömür tabakalarının en üstünde bulunur. Çoğu kömür madeninin kazısı sırasında ortaya çıkar. Bu killer genellikle temiz ve saf olarak bir başka deyişle içinde safsızlıklar az bulunur. Bu killerde kendi arasında ayrılırlar. Bunlar; Plastikler, Semiflintler, Filintler, Nodularfilint olarak ayrılır. Bu killerin kullanım alanları ise;

Seramik alanında (fayans, tuğla, kanalizasyon borusu, çanak, çömlek)

Diğer kullanım alanları ise, refrakter sanayi, çimento, sondaj kimya, dolgu vb.

#### 2.2.5.5 Bentonitler

Bu kil grupları Montmorillonit grubundandır. Kimyasal bileşiminden daha çok fiziksel özellikleri önemlidir. Ticari bentonitler sülfürik aside karşı gösterdikleri reaksiyona karşı dörde ayrılır. Bunlar, alkali bentonit, yarı alkali bentonit, toprak alkali bentonit, yarı toprak alkali bentonit. Kullanım alanlarına göre;

Yağ rafineri alanında,

Döküm kumu alanında,

Sondaj alanında,

Diğer alanlarda (dolgu, kimya, deterjan, kağıt, kozmetik, seramik, boya vb.).

#### 2.2.5.6 Yıkama Killeri ( Fuller's Earth)

Diğer killerden farklı en önemli özelliği yağı absorbe etme olayının fazla olmasıdır. Kullanım alanları;

Apsorbans ve yağ rafinasyonunda,

İlaç, sondaj, dolgu sanayinde.

#### 2.2.5.7 Diğer Killer (Adi Killer, Şistler)

Bu killerden adi olanı yüzeyde bulunur. Tuğla ve çimento üretiminde kullanılırlar. Şistler ise genellikle jeolojik evrelerde oluşmuşlardır. Bunlar da en çok çimento ve tuğla imalinde kullanılır.

### 2.3 Killi Toprakların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Temel zemini veya inşaat malzemesi olarak ele alınacak bir kilin, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekir. Killer volkanik kayaçların jeolojik ve günümüzde karşılaşılmayan şartlarda çözülmesinden meydana gelir. Kilin cinsi ana kayacın cinsine ve geçirdiği evrelere bağlıdır. Hiçbir zaman arı (saf) biçimde

bulunmayan kilin içinde alüminyum silikatlarla birlikte ($2SiO_2$. $Al_2O_3$. $2H_2O$) kum, demir, magnezyum, sodyum, kalsiyum ve potasyum bileşikleri gibi diğer yabancı maddeler de içerirler (Köktürk 1993). Killer çapları 0,002 mm' den daha ince olan zemin cinsleridir. Çapları 0,001 mm' den daha küçük olanlara kollodial kil adı verilir. Killi zemin genellikle amorf bir görünüşe sahip olduğu halde kil mineralleri kristal bir yapıya sahiptirler. Kristal olmayan danelerin zeminin plastiklik özelliği üzerinde tesiri yok denilecek kadar azdır. Kuvars gibi kristal bünyeye sahip bazı minerallerde çapları 2 mikrondan ufak olmalarına rağmen zemine plastisite veya kohezyon özellikleri vermezler. Kil minerallerinin kimyasal bileşeni alüminyum silika hidratedir.

Çok miktarda magnezyum ve kalsiyum ihtiva eden killere marn adı verilir. Demir oksit bakımından zengin olan ve içinde kum bulunan killere ise balçık adı verilir. Kil içerisinde bulunan demir oksit kile, kırmızı ve sarı renk verir. Kildeki Kaolinit bileşeni ne kadar fazla ise beyazlığı ve kalitesi de o kadar artar. Kilin içindeki yabancı maddeler çok az ise su ile karıştırıldığı zaman yapışık bir çamur halini alır. Buna plastik kil denir. Killer plastikli oluşları ve şekil alabilen özellikleri dolayısıyla çok işe yararlar. Plastikliğin sebebi kil parçacıklarının pulcuklardan ibaret bulunmasıdır. Bu pulcuklar birbirlerinin aralarında bulunan suyun yüzey gerilmesi ile yapışmış olurlar. Bu suyun içinde eriyik halde bulunan tuzların ve organik maddelerin de büyük önemi vardır. Bir kil ne kadar ince ise kolloidler de ne kadar fazla olursa plastik o derece artar. Kilin su emme derecesi %70 civarındadır ve emdiği suyu kolay kolay bırakmaz (Köktürk 1993). Kuru kil su ile temas edince, kil suyu apsorbe eder. Hacim genişler, şişer, yumuşar, yoğrulabilir, şekillendirilebilir. Bu karakteristikler kil kristalinin yapısı ile yakından ilgilidir. Tabakalar arasında sızan su molekülleri bir taraftan kütleyi kabartıp şişiren diğer taraftan da yağlayıcılık görevi yaparak tabakaların birbiri üzerinde kayması ve böylece kütlenin şekil değiştirmesini ve kendisine verilen biçimi almasını yani plastikleşmesini sağlar.

Killerin bu özellikler yanında başka özellikleri de mevcuttur. Bu özellikler arasında su muhtevası, plastisite, rötre, basınç ve kayma mukavemeti, işlenebilme kabiliyeti, birim hacim ağırlık, kompaksiyon, akustik, termik elektrik geçirimlilik

karakterleri sayılabilir. Normal şartlarda su muhtevası düşük killer bünyelerine su emerler ve hacimleri büyük ölçüde genişler. Suyun etkisi ile meydana gelen bu şişme ve kayganlıktan faydalanarak kilin bünyesine bazı katkı maddeleri katmak ve bu karışıma istenilen şekli vermek mümkündür. Kil kurumaya bırakıldığında su kaybı ile boyutlarında küçülmeler meydana gelir.

### 2.3.1 Killerin Kimyasal Özellikleri

Kil hammaddelerinin kimyasal analizinde genellikle $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$, $SiO_2$, CaO, MgO, $K_2O$, $Na_2O$ yüzdeleri tespit edilir. $Al_2O$ değeri %20-40 arasında değişir. Bu tenör ince seramik killerde düşük, refrakter killerde yüksektir. $Fe_2O_3$ oranı ince seramik killerinde %1'in, diğer killerde ise %3'ün altında olmamalıdır. Aksi halde killerin pişme rengi ve ateşe dayanıklılığı bundan etkilenebilir. Bu konuda en önemli husus $Fe_2O_3$ tenöründen ziyade bunun homojen bir halde bütün kilin bünyesine dağılmış olmasıdır. $Fe_2O_3$ tenörü son derece az beyaz kaolinitik killer içerisinde dağılmış olan az miktarda pirit kristalleri yüzünden kullanılmaz. $SiO_2$ tenörünün çok yüksek olması kilde serbest kuvars olduğunu belirtir. Bu sebeple kilin ince ve iri taneli oluşu önem taşımaktadır. Toprak alkali oksitlerin ve montmorillonit grubu kil minerallerinin bulunduğuna işarettir. Alkali oksitlerin miktarı da %1'in altında da olmamalıdır. Fazlası ise kilerde mika feldspat, alkali toz bulunduğunu gösterir. Bu da ateşe dayanımı azaltır. Killer filtre ve preslerde süzme işlemini güçleştirebilir. Ama kil, mikaların plastisitesini arttırmak için faydalı özellik içerir (Köktürk 1993).

### 2.3.2 Killerin Fiziksel Özellikleri

Yapı tuğlası için kullanılacak kilin mekanik ve fiziksel özellikleri, mamulün üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Önemli fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. Killerin Plastisitesi,

2. Killerin Kuru Bağlama Mukavemeti,

3. Rötre,

4. Renk,

5. Tane Boyutu.

### 2.3.2.1 Killerin Plastisite Özellikleri

Plastisite özelliği killerin işlenebilme ve şekillendirilebilmesi açısından önemli bir özelliktir. Bu özellik, uygun miktarda su ile yoğrulmuş kile şekillendirme ve daha sonra da şekli muhafaza etme imkanı veren özelliktir.

Plastiklik, terimi kile uyarlandığında kilin tanımı, "su emdiğinde plastik olan, basınç uygulandığında şeklini koruyabilen" olarak söylenebilir. Eğer kil bölgesel olarak kurutulursa, şekil değiştirme özelliği geçici olarak ortadan kalkar ve sertleşir. Plastiklik veya plastisite özelliği koloidal boyutlardaki kil taneleri ile su arasında fiziko-kimyasal bağlantılarla sınırlanmıştır. Bu nedenle bir kilin plastik özelliği mineralojik bileşim, tane boyut şekli ve dağılımı, katyon değişim kapasitesi ve Ph değeri gibi faktörlere bağlı olarak değişim gösterir.

Kil mineralleri ile su arasındaki özel ilişki kil-su sistemine önemli özellikler kazandırır. Kil mineralleri sahip oldukları kristal yapı ve tane boyutuna göre bünyelerinde farklı miktarlarda fiziksel su tutabilirler. Buna bağlı olarak fiziksel suyun miktarı ve uzaklaştırma sıcaklığı kil minerallerinin yapısı hakkında bilgi verebilir. Fiziksel olarak bağlı su genelde 100 °C civarında uzaklaştırılır. Her ne kadar fiziksel su güçlü bir biçimde kil taneleri tarafından tutulmasa da montmorillonit gibi bazı kil minerallerinde tabakalar arasınsa su apsorplandığı için bu suyun uzaklaştırılması daha zordur ve daha yüksek sıcaklıklar gerektirir. Çoğu montmorillonit tabakalar arası suyu 150 °C civarında kaybederler, ancak bu sıcaklık montmorillonite apsorblanmış olan katyon cinsine de bağlıdır. Bir kil mineralinin tuttuğu su miktarı ortam nemi ile orantılıdır (Pancar 1997).

Killerin plastik ve kaplayıcılık özelliği kristallerin ince levhalar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisinde bu levhalar paketler halinde birikerek durur. Su ile çamur yapıldığında su levhacıklar arasına girer. Çamur bir taraftan basıldığında levhacıklar birbiri üzerinde kayarak verilen şekli alır. İki cam levha

ısıtıldığında nasıl birbiri üzerinde kayarsa killer de öyle kayar. Islak olan iki cam levhayı birbirinden ayırmak ne kadar güç ise kil levhaları da aynen böyle olup sağlamlık kazanırlar (Yılmaz 1994). Killere plastiklik özelliği sadece ve sadece su ile karıştırılarak verilir. Su dışında hiçbir madde bu özelliği kazandırmaz (Toydemir 1978). Kil çamur oluncaya kadar ne kadar su emerse o kadar plastiktir. Killerin plastisite suyu % 20-40 arasında değişir. Diğer taraftan plastiklik, irili ufaklı taneciklerin yan yana olmasına da bağlıdır. Bir kilin yeteri derecede plastik olabilmesi için taneciklerin % 20'sinin 1μ' dan küçük olması lazımdır. Fakat hepsi de küçük olmaz. Nitekim uzun müddet öğütülmüş killerin plastikliği azalır (Yılmaz 1994).

Plastikliği çok iyi olan killere yağlı killer 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 terk etmekten 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 (Kaytoz 1997).

Farklı tip killerin su plastisitesi aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2 Farklı Tip Killerin Su Plastisitesi Değerleri (Köktürk 1993).

| Kil Tipleri | Plastisite Değerleri |
|---|---|
| Ham Kaolin | 36,69-44,78 |
| Yıkanmış Kaolin | 44,48-47,50 |
| Beyaz Sedimenter Kaolin | 28,60-56,25 |
| Plastik Killer | 25,00-53,30 |
| Kroze Killeri | 26,84-50,85 |
| Refrakter Bağlama Kili | 32,50-37,90 |
| Cam Porselen Killeri | 19,64-36,50 |
| Plastik Ateş Killeri | 12,90-37,40 |
| Filint Ateş Killeri | 8,89-19,04 |
| Koset Killeri | 18,40-28,56 |
| Stoneware Killeri | 19,16-34,80 |
| Dış Cephe Tuğla Killeri | 14,85-37,50 |
| Drenaj Borusu Killeri | 11,60-36,20 |
| Döşeme Tuğlası Killeri | 11,80-19,60 |
| Tuğla Killeri | 13,20-40,70 |

Plastikliği etkileyen faktörler aşağıda sıralanmıştır:

1. Tanecikler üzerinde suyun etkisi,

2. Katı tanelerin boyutu,

3. Katı tanelerin terkibi,

4. Katı tanelerin şekli ve iç bünyesi,

5. Katı tanelerin yüzeysel alanı ve moleküler çekimi,

6. Katı tanelerin uyuşması,

7. Özellikleri etkileyen diğer materyallerin mevcudiyeti,

8. Massedeki taneciklerin oryantyasyonu,

9. Materyalin önceki hali.

Kildeki su miktarının azalması kilin katılaşmasını, su miktarının çoğalması da kilin akıcı ve şekillendirilebilir hale geçmesini sağlar. Buna kil hamurunun kıvamı denir. Kil hamurunun kıvamları, İsveçli toprak bilgini ATTERBERG tarafından ortaya atılan bazı kıvam limitleri ile tarif edilmiştir.

Rötre Limiti: Kilin, artık rötre yapamayacak derecede su ihtiva etmesidir. Toplam rötrenin % 10'u geçmemesi gerekir.

Plastik Limit: Kilden 3mm çapında makarna şeklinde numuneler yapılır. Bu numunelerin kırılmadan yuvarlanabileceği su içeriği plastik limit olarak tanımlanır. Plastik limit %8'den küçük %25'ten büyük olmamalıdır.

Likit Limit: Kilin kendi ağırlığıyla viskoz bir çamur gibi aktığı su muhtevası olarak adlandırılır (Toydemir 1978, 1997).

ATTERBERG, kil- su oranını ise plastiklik endeksi ile belirlemiştir.

$PI = LL - PL$

Plastiklik Endeksi = Likit Limit – Plastik Limit (2.1)

1. $PI < 8$ ise; çok kumlu topraklardır. Kalıplanması güç, yüzeyleri pürüzlüdür. Mamulün su emme yüzdesi yüksek, mukavemeti düşüktür.

2. $8 \leq PI \leq 25$ ise; tuğla yapımına elverişlidir.

3. $PI > 25$ ise; fazla plastik topraklardır. Kuruma esnasında rötresi fazla olacağından çatlama ve deformasyona uğrarlar (Toydemir 1997).

Birbirini çeken partiküller arasındaki suyun fonksiyonu hakkında şu tespit yapılmıştır. Eğer daha yüksek basınç uygulanırsa aynı plastisite daha az su kullanılarak elde edilebilir.

Buradan çıkan sonuç şu olur; daha az su ihtiva eden bünyeler basınçla şekillendirilebilir. Bu nedenle kuruma çekmesi daha küçük değerde oluşacaktır. Ayrıca kuruma sürecinde içte oluşan gerilim daha az ve yaş mukavemet büyüktür (Sümer 1990).

#### 2.3.2.2 Kilin Kuru Bağlama Mukavemeti

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

Yağlı killerin kuru mukavemeti, yağsız killere oranla daha yüksektir.

Killerin tane büyüklükleri belirli oranda karışık olmalıdır. Çünkü aynı büyüklükteki kil taneciklerinin kuru mukavemeti daha azdır.

Kuru mukavemete etki eden başka en önemli etken kilin kuruma zamanı ve sıcaklığıdır. Düşük sıcaklıkta veya yeterli olmayan bir kurutma ile kurutulan killerin dirençleri az olur. Ayrıca kurutmadan sonra beklerken kuru malzemenin havadan aldığı nem mukavemeti azaltır.

Şekillendirme yöntemi de mukavemeti etkiler. Yaş olarak döküm yolu ile şekillendirilen killer, normal şartlarda kurutulduklarında, plastik ve kuru şekillendirilen yani presle basınç altında basılan tabletler halinde bulunan killere oranla daha büyük bir kuru direnç gösterirler.

Bir kil esaslı bünyenin su miktarı azaldıkça kuru bağlama mukavemeti de artar. Oda sıcaklığında su miktarı yaklaşık % 2-3’ e kadar düşebilir. Kuru mukavemeti mamulün şekillendirildiği kalıp, taşıma ve kurutma sorunları ile ilgili bir özelliktir. Çünkü yüksek kuru mukavemet kilin termal şok ve aşınmaya karşı dirençli olmasını sağlar.

#### 2.3.2.3 Rötre (Hacimce Küçülmesi)

Su ile yoğrulan kil, kurumaya bırakılan kilin zamanla hacmi küçülür. Bu olay yeterince kurutulmuş kilin pişirilmesi esnasında bir ölçüde devam eder. Hacimlerde küçülme kilin ebatlarının küçülmesi olayına rötre denir. Kilin kurumasından meydana gelen rötre plastisite özelliğine, pişme sırasında oluşan rötre ise; pişme sıcaklığına ve kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Rötre, gerek boyut tahminini ve standart üretimi zorlaştırdığı için, gerekse büzülme sırasında iç yapıda çatlaklara neden olacağı için istenmeyen bir özelliktir. Kilin gerek kuruma ve gerekse pişme sırasında yapmış olduğu rötre toplam rötre'dir (Toydemir 1978).

Toplam Rötre = Kuruma Kaybı + Pişme Kaybı

(max. % 10) = (max. % 8) + (max. % 2) (2.2)

Bu maksimum değerler aşılırsa çatlama ve deformasyonlar görülür. Eğilme ve kamburlaşma oluşur ve keskin köşelerde kırılma ve çatlamalar meydana gelir (Köktürk 1993).

Kuruma ile oluşan rötre, kilin yeniden ısıtılması ile tersinir bir özellik gösterir. Kil ısınma-kuruma sonucu tekrarlı bir şekilde şişme-büzülme özelliği gösterir. Bu tekrarın sağlanması için kurutma sırasında belli bir sıcaklık derecesinden yukarı çıkılmaması gerekir. Ayrıca yarı mamul tuğlanın çatlamasına sebep olmamak için kurutma sıcaklığının 232 °C'nin üstüne çıkartılması gerekir (Toydemir 1978).

Kilin kuruması sırasında önce dış yüzeyde ve yüzeye yakın bölgelerde buharlaşma başlar. Yüzeyde buharlaşan suyun yerine, yüzeye yakın iç kısmındaki su gelir. Bu şekilde içten dış yüzeylere doğru bir nem akışı başlar. Kildeki nemin giderek azalması ile belirli bir zaman sonra hamur tamamen kurur. Kilin çatlamadan kurumasını sağlamak için, içten dışa doğru olan nem akımının hızı, kil yüzeyinde buharlaşan suya eşit olmalıdır (Toydemir 1997). Böylelikle her yerde aynı kurutma ortamı sağlanır ve kilde oluşacak çatlaklar ve yarılmalar önlenmiş olur.

#### 2.3.2.4 Renk

Killer doğada beyaz, sarı, kırmızı, gri, kahverengi ve siyahımsı renklerde bulunabilir. Ancak bu tabii renkler, killerin fırında pişmesi sırasında tamamen değişir. Mesela; kahverengi, gri, hatta siyah renkli bir kil piştikten sonra beyaz olabilir. Çünkü bu koyuluk içerdiği kömür ve organik maddelerden ileri gelir. Killere pişme esnasında renk veren nokta, içerdikleri yabancı maddelerdir. Bu yabancı maddelerin ilk 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 pişme koyu sarı ise, redüktan atmosferde beyaza yakın açık bir renkte pişer. Mangan ve Titan bileşiklerinin varlığı demirin renk vermesini daha da arttırır. Özellikle Demirin yanında Titan bulunması ile, demir ve Titanın birlikte oluşturacakları çift oksit $Fe_2O_3$-$TiO_2$ (Spinel) rengi Demir oksidin tek başına vereceği renkten daha da koyudur. Ayrıca killerin pişme esnasında sinterleşmesi arttıkça renk şiddeti de artar. Ateş kaybının biraz normalden fazla olması da killeri Karbonat, organik madde ve montmorillonit içermesine bağlıdır (Tolon 1973, Tanışan 1986).

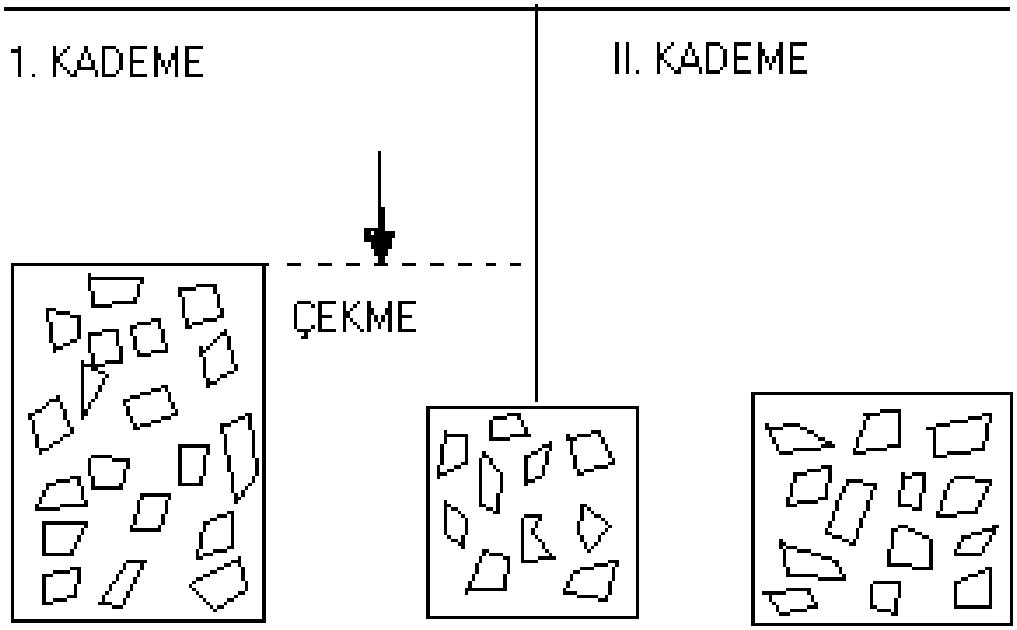
#### 2.3.2.5 Tane Boyutu

Tuğla ve kiremit sanayiinde kullanılan kil hammaddesinin tane boyut dağılımının sağlıklı bir biçimde ölçülmesi için, istenen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip bir ürün elde edilmesi açısından önemlidir. Günümüzde tuğla kiremit sanayisinde genelde ortalama tane boyut dağılımı 2 mm altında kalan kısmı kil, 2-63 µm arasında olan kısmı kumlu kil ve daha büyük tane ebadına sahip olan kısmı ise kum olarak adlandırılır. 2mm tane boyutunun altında bulunan fraksiyon özellikle şekillendirebilme ve kurutma davranışı gibi özellikleri etkilemektedir.

## 2.4 Killerin ve Tuğlaların Isıl Davranışları

### 2.4.1 Kurutma Mekanizması:

Şekillendirilen tuğla numunelere iki etapta kurutma uygulanmıştır. İlki alçı levha üzerinde doğal kurutma, ikincil kurumada etüvde 105 ˚C'de gerçekleşir. Seramik pişirme işleminden önce yapılacak olan en önemli iş kurutmadır. Kurutma fiziksel bir süreçtir ve rutubetli bir numuneden şekillendirme suyunun uzaklaştırılıp kurutulması işlemidir. Su, seramik hamurunun içindeki porlar (gözenekler) aracılığıyla yüzeye ulaşır. Burada porlar, kapiler (kılcal yol) görevi yapar. 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:




Şekil 2.1 Kil Kuruma Mekanizması.

1-Çevre Suyu: Kaolinit, kuvars ve feldspat kristallerinin etrafını çevrelemiş olan sudur. Kristaller bu çevre suyunun içinde yüzerler. Kurutmanın I. evresinde bu su uçar.

2-Por Suyu: Masse içerisindeki porları (gözenekleri) dolduran sudur. Kurutmanın II. evresinde uçar.

3-Higroskopik Su: Kaolonit kristalleri yüzeyinde buluna ve miktarı az olan sudur. Ancak 120 ˚C'de kurutmakla masseden uzaklaşır.

Kurutma esnasında ilk önce çevre suyu uzaklaşmaya başlar. Bu uzaklaşma sırasında çekme olayı başlar. Diğer bir ifadeyle ebatlar küçülür. Çevre suyu buharlaşırken homojen buharlaşmalıdır. Aksi taktirde kütlenin içinde bazı yerler kururken, bazı yerler ıslak kalır. Bu esnada gerilimler meydana gelir. İç gerilimler kütle dayanımını aştığı oranda çatlama görülür. Bu sebeple çevre suyu uzaklaştırılırken çok dikkatli olunmalıdır.

Çevre suyu buharlaştıktan sonra tuğla kütlesinin çekmesi durur ve kristaller birbirine dayanır. Ama bu esnada daha hala bünyede su mevcuttur. Bu birbirine dayanmış kristaller arasındaki boşluklarda kalmış sudur. Yani bu por suyudur. Kütlenin çekmesi durduktan sonra por suyu uzaklaşırken çekme olayı gerçekleşmez ve buna bağlı olarak çatlama tehlikesi yoktur. Por suyu uzaklaştıktan sonra da bir miktar su kalır. Bu da higroskopik sudur. Bu da ancak 120 ˚C'de kurutma işlemi ile uzaklaştırılır.

Denge nemi ve kurutma hızı yönünden kurutma şartlarını incelersek;

Denge Nemi: Kurutma esnasında kurutulacak numune belli bir neme kadar korur. Üzerinden sürekli hava geçse de değişmeyen bir dengede kalır. Maddenin tuttuğu bu su miktarına denge nemi denir. Eğer bu miktar denge haline karşılık gelen miktardan fazla ise, kütle bu duruma gelene kadar kurur. Buna karşılık aynı kütle denge haline karşılık gelen nemden az su içeriyorsa, belirli nem ve sıcaklık şartları altında bulunan hava ile karşılaştığı zaman, dengeye gelinceye kadar rutubet kapar. Olayın yetişmesi için gerekli zaman, şartlara göre uzun veya kısa olabilir. Ama sonuçta daima dengeye varılır. Seramik ürünlerde ise denge nemi sıfıra çok yakındır.

Kurutma Hızı: Kurutulacak maddeler çoğunlukla tabaka veya kütle halinde bulunur ve içerdikleri suyun dışarıya atılma işlemi oldukça karışıktır. Bu olay için birbirini takip eden, bir buharlaşmaya ve bir de difüzyon olayına dayandığı kabul edilir. İki yüzeyi de kurutma işlemine tabi tutulan tabaka halindeki maddeyi göz önüne alırsak ve de suyun madde kütlesine eşit şekilde dağıldığını kabul edip bu tabakayı havaya bırakırsak, yüzeylerinde buharlaşma başlar ve buralardaki su konsantrasyonu düşer. Buharlaşmanın bölgesel kuruttuğu yüzey ile henüz ıslak bulunan iç kısımlar arasında bir konsantrasyon farkı belirir. Bu fark sebebiyle iç taraftan yüzeye doğru difüzyon yolu ile bir miktar su sürüklenir. Suyun buharlaşan kısmının yerini işgal etmek üzere difüzyona uğraması denge haline gelinceye kadar devam eder.

Kurutma işlemi süren katı madde nemini belirli bir noktaya gelinceye kadar, değişmeyen hızla bırakır. Bu andan sonra kuruma yavaşlar. Fakat kurutma düzenli olarak denge nemi değerine kadar gelir. Yavaşlamanın başladığı bu nokta, kritik kurutulacak maddenin özelliklerine ve kurutma şartlarına göre değişir. Kurutmayı etkileyen faktörleri şu şekilde sıralarsak:

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 malzemeleri boyut, şekil, su oranlarındaki uyum (Kaytaz 1997, Özgen 1997, Gökgöz1996).

### 2.4.2 Pişirme Sırasında Meydana Çıkan Olaylar

Pişirme esnasında ürünlerin bünyesinde oldukça karmaşık bazı kimyasal değişmeler ve gelişmeler oluşur.

#### 2.4.2.1 Bünyeden Suyun Uzaklaştırılması

İlk pişirme süresince uzaklaştırılan bünye suyu üç kısımda incelenebilir.

a- Serbest Su: Serbest bulunan su miktarı önce kullanılan minerallere daha sonra kurutma işleminin verimli olmasına bağlıdır. Kurutma sistemleri istenildiği kadar verimli olmadığı zaman pişirme işleminin ilk zamanları da kurutmaya ayrılır. Bununla birlikte çoğu fırın, kurutma mekanizması için uygun değildir. Çünkü uygun bir kurutma için istenilen sıcaklık arttırma hızı pişirme hızına göre çok yavaş kalır. Böylece ortaya çıkacak olan iç gerilmeler düzensiz küçülmeler ve çatlaklar oluşur. Ek olarak sıcak kısımlarda buharlaşan su, soğuk kısımlarda yoğunlaşarak yarı ürünleri nemlendirir.

Yukarıda bahsedilen olumsuz sebeplerden dolayı fırına konacak malzemenin iyice kuruması gerekmektedir. Pişmemiş ürün ne kadar az kuru ise, pişirim sürecinin başlangıcındaki yavaş sıcaklık artırma sürecinin o kadar uzun ve hava akımının da daha çabuk olması gereklidir. Sebebi ise oluşacak fazla su buharının tasfiyesi gerekecektir. 60-80 °C'ye kadar serbest su buharlaşır.

b-Higroskopik Su: Kil minerallerinin ihtiva ettiği higroskopik su kurutma esnasında uzaklaştırılamaz. Uzaklaştırabilmek 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.

c-Kimyasal Bağlı Su: Kil minerallerinin yapılarında bulunan kimyasal su yaklaşık olarak 400°C'den sonra bünyeden uzaklaşmaya başlar. Bu bölgedeki sıcaklık yeterince fazla olduğundan yüzeyinde yoğunlaşma diye bir problem olmaz.

Ayrıca higroskopik suyun uzaklaşması sürecinde bünyesinde oluşan gözenekler sayesinde kimyasal suyun bünyeden ayrılması oldukça kolaydır.

Fakat bir takım kimyasal bağların kırılması gerekli olduğunda bu reaksiyon, ısıtma hızına bağlı olarak yaklaşık 800 °C'ye kadar devam eder. Bu arada kil tabakaları arasında bir yaklaşma olduğu için kil minerallerinde küçülmeler görülür. Bu küçülmeler aynı sıcaklık bölgesinde kuvars dönüşümünden kaynaklanan genleşme ile giderilir.

#### 2.4.2.2 Oksitlenme ve Bozunma Reaksiyonları

Karbon: Bilindiği üzere çoğunlukla kil hammaddeleri bir miktar karbon ihtiva ederler. Bilerek karışıma katılan diğer organik maddelerin yakılarak veya bozuşturularak ortamdan uzaklaştırılması gerekir. Ayrıca pişirme sürecinin başlangıcındaki bünye alevden soğuk olduğu için oksitleyici şartlar altında bile karbon bünye üzerinde birikebilir.

Bu organik safsızlıklar 400 °C'de bozunarak $CO_2$, CO ve $H_2O$ verip bünyesinde serbest halde karbon bırakırlar. Su buharı uzaklaştırılıp, oksijen gözeneklere girmeye başladığı esnada bünyedeki karbonun yanması gerçekleşir. Anlatılan bu yanma bozunma ürünleri, sinterleşmeye başlamadan önce bünyeden ayrılmalıdır. Eğer ki bu ayrılma işlemi gerçekleşmez ise, ya iç kısımlar siyahlaşır (black core) veya kısmen erimiş ve sinterleşmiş bünyeden uzaklaşan gazların oluşturduğu hava kabarcıkları ve kraterler oluşur. Oksitlenme işlemi ise 950 °C'ye kadar bitmelidir. Bu konuda karar verebilmek için en önemli bir nokta da reaksiyonun hızıdır. Genellikle 10 °C'lik bir artış reaksiyon hızını iki katına arttırır.

Düşük sıcaklıkta yanma işleminin gerçekleştirilmesi ile, ürünün bünyesinde güçlü bir yapı oluşur. Diğer bir taraftan seçilen sıcaklık değerinde reaksiyonun uygun bir hızla ilerlemesi gereklidir. Kil ve kuvars bünyenin tamamen oksitlenmesi için 600-650 °C yeterlidir. Yanma hızı yanıcı maddenin miktarından çok, bünyedeki tane büyüklüğüne bağlıdır. Aşağıda verilen kimyasal reaksiyonlar ile 1000 °C'de su buharı ve $CO_2$ içeren bileşiklerde serbest karbonun varlığı önlenmiş olur.

$$C+H_2O \longrightarrow CO+H_2$$

$$C+2H_2O \longrightarrow CO_2+2H_2$$

$$C+CO_2 \longrightarrow 2CO$$

Karbonatlar: Karbonatlar ise 400-1000 °C' ler arası bozunarak gaz ve oksit ürüne dönüşürler. Her sıcaklık değeri için gaz ürünün bir denge basıncı vardır. Eğer bu denge basıncı aşılırsa bozunma tamamlanmadan gözenekler dolmaya başlar. Sıcaklığın etkisi ile birlikte bu gaz basıncı artacağından şişen ve kabaran gözenekler meydana gelir. Magnezyum karbonat 408 °C de, kalsiyum karbonat 894 °C'de karbondioksit açığa çıkarır.

$$MgCO_3 \xrightarrow{408\ °C} MgO+CO_2$$

$$CaCO_3 \xrightarrow{894\ °C} CaO+CO_2$$

Sülfatlar: Seramik hammaddelerinin içinde bulunan $MgSO_4$, Ca $SO_4$, Ka $SO_4$, $Na_2$ $SO_4$, gibi sülfatlar ise 500-1000 °C arasında bozunurlar.

$$MgSO_4 \xrightarrow{500\ °C} MgO+SO_3$$

$$CaSO_4 \xrightarrow{600\ °C} CaO+SO_3$$

$$K_2SO_4 \xrightarrow{700\ °C} K_2O+SO_3$$

$$Na_2SO_4 \xrightarrow{900\ °C} Na_2O+SO_3$$

Bu bozunmalar sonucunda meydana gelen $SO_3$ fırın atmosferinde yoğunlaştığı zaman sırları etkiler ve sırlı yüzeylerin bozulmasına sebep verir. $SO_3$ çalışmaya geçene kadar çamur bünyesinden uzaklaşmaz ise yine karbonatlar gibi şişme ve kabarmalar etken olur.

Prit: Isı etkisi altında yeteri kadar oksijen bulunduğu zaman bozunarak ortama demir oksit ve kükürt dioksit verirler. Oksijen fazlası varsa kükürt dioksit ile birlikte trioksit de oluşur.

$$4FeS_2+11O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 +8SO_2$$

$$4FeS_2+15O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 +8SO_3$$

Eğer yavaş ısıtma, gereğinden fazla ise ve hızlı oksijen akımı ile reaksiyonlar 425°C'de olur. Kükürdün % 95 oranında 510 °C'ye kadar ortamdan uzaklaşmış olur. Eğer ki ısıtma ani yapılırsa kükürdün uzaklaştırılması tamamlanmaz ve farklı reaksiyonlar oluşur. Bunlar ;

$$FeS+2O_2 \longrightarrow FeSO_4$$

$$6FeS+13O_2 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3+2FeO$$

$$4FeS+7O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3+4SO_2$$

$$4FeS+9O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3+4SO_3$$

Karbon-Kükürt: Eğer ki karbon ve kükürt hammaddede de birlikte bulunuyorsa, piritin önce tutuşabilmesine karşın karbon ilk önce yanar. Karbon yanıncaya kadar da kükürt kendi yanması için gerekli olan oksijeni bulamaz. Bulamadığından bu arada sıcaklık ta yükseldiği için demir sülfat oluşma ihtimali artar. Bu da yukarıda açıklanan güçlükleri beraberinde getirir. Bu sebeple bu hallerde fırın artışının çok iyi ayarlanması gerekir.

Demir Oksitler: Genellikle bütün seramik bünyeler az çok demir tri oksit içerirler. Bu sebeple onun getireceği renk değişiklikleri ve pişme süreçlerinde neden olacağı oksijen çıkışı göz önüne alınmalıdır.

Genel olarak içinde bulunan diğer maddelerin cinsine bağlı olarak demir tri oksit 1100 °C üzerinde bulunan farklı sıcaklıklarda bozunarak oksijen verir. Eğer ki bünye demir tri oksitin bozunmasından önce sinterleşirse çıkan gaz bünyeden ayrılmayacağından şişme denilen olaya sebebiyet verir. Bu sebepten eğer fırının çalışma şartları demir oksidi indirgeyecek ise demir tri oksit sinterleşme başlamadan önce mutlaka indirgenmelidir. Nihai ürünün tuğla kırmızısı veya

kahverengi isteniyorsa indirgenen demir tri oksit 1300 °C altında tekrar oksitlenmelidir (Kaytaz 1997, Özgen 1997, Gökgöz 1996, Müdüroğlu 1998).

### 2.4.3 Kilin Isıl Davranışları

Organik maddelerin yanışı ve karbonat ile sülfatların bozunması olayı ekzotermik bir reaksiyondur. Bu sırada seramiği oluşturan kil ve kaolinlerin içerisinde çeşitli reaksiyonlar meydana gelmektedir. Kaolinit 550 °C de kimyasal suyunu uzaklaştırarak metakaolinit haline gelir. Yani :

$$Al_2O_3.2H_2O.2SiO_2 \longrightarrow Al_2O_3.\ 2SiO_2 + 2H_2O$$

Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyondur. Bu sırada fırının sıcaklığı 850 °C'ye yükseldiği zaman;

$$Al_2O_3.2SiO_2 \longrightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$$

Meta Kaolinit $Al_2O_3$ e dönüşür. $Al_2O_3$ asitlerin içerisinde çözünebilir özelliktedir. Isı 900 °C ye yükseldiği zaman $Al_2O_3$ tekrar $SiO_2$ ile birleşir ve silimanit oluşur.

$$Al_2O_3 + SiO_2 \longrightarrow Al_2O_3\ .SiO_2$$

Bunun sonucunda artık $Al_2O_3$ asitlerle reaksiyona giremez hal alır.

Isının yükselmesi ile birlikte 1000 °C' ye ulaştığında mullit oluşur. Reaksiyon yine ekzotermik bir reaksiyondur. Sıcaklık arttıkça mullit oluşumu da artar.1000 °C' lik ısıda artık seramik yapısı kristal yapı oluşturmaya başlar. Sıcaklık arttıkça kil ve kaolin içeriği yüzünden mullit yüzdesi giderek artar. Mullit kristalleri iğnesel bir yapıda olup, birbirlerine girerek ürünün mekanik dayanımını sağlar. Mullit kristallerinin bazı yerlerde esnek yapıda olması, seramiğin baskı ve darbeler karşısında hemen kırılmayacak dayanıma gelmesini sağlar.

### 2.4.4 Feldspatların Isıl Davranışları

Pişme esnasında çamur ve sırda bulunan feldspat 1100 °C'den itibaren erimeye başlar. Eriyen feldspat cam fazı meydana getirir. Camlaşan feldspat, kaolin, kil ve kuvarsın etrafını çevirir ve kendisi erirken eritmeye de başlar. Camsı faz feldspatla oluşurken, killerin içinde bulunan feldspatlar da kilin içerisinde camsı faz oluştururlar. Isı arttıkça feldspatın tamamı erir. Bu erime esnasında kuvars cam faza çok az karışır. Çözünmeden kalabilen $SiO_2$ seramik mamullerde cam faza ulaşan bünyenin deformasyonunu önleyen iskelet görevini alır. Cam faz arttıkça şeffaflık olayı da artar.

### 2.4.5 Kuvarsın Isıl Davranışı

Killerin bileşimine göre safsızlıklar kilin özelliğini bozabilir. Bunların başında serbest silis gelir. Serbest silis plastisiteyi düşürür, kuruma ve pişme sırasında büzülmeyi azaltır. Seramik sanayinde kuvarsın ısıya bağlı olarak kristal dönüşümleri sırasındaki genleşmesi pratikte oluşturduğu sorunlar açısından önemlidir (Arcasoy 1983).

## 2.5. Tuğla Yapımında Kullanılan Kil Hammaddesinde Aranan Genel Özellikler

Tuğla üretiminde kullanılacak kil seçilirken kimyasal yapısından çok mekanik özellikleri daha fazla önem taşımaktadır. Aranan mekanik ve fiziksel özellikler aşağıda verilmiştir:

I. Plastiklik : Plastiklik özelliği killerin işlenebilmesi ve şekillendirilmesi için en önemli özelliktir. Bu özellik, uygun miktarda su ile yoğrulmuş kile şekillendirme ve daha sonraki aşamada da verilmiş şeklini, içindeki suyun büyük bir bölümü uzaklaştırıldıktan sonrada bu halini muhafaza edebilmesini sağlamaktadır. Kilin plastiklik özelliği kazanabilmesi için mutlaka su ile yoğrulmalıdır. Su dışında başka hiçbir sıvıyla killer plastiklik göstermemektedir.

Kilin plastiklik derecesi, plastiklik endeksi ile ölçülür. Toprağın plastiklik limiti demek, plastik durumdaki en düşük nem miktarıdır. Düşük plastikliğe sahip olan killerde ele yapışma sınırında kuru ağırlığa oranla %20 civarında bünyelerine su alırlar. Yüksek plastikliğe sahip killerde ise bu değer %26-27' ye kadar çıkabilir. Plastiklik endeksi 8-25 arasında olan topraklar tuğla yapımı için çok elverişlidir.

II. Hacim kaybı: Su ile yoğrulan kil, kuruma ve pişme esnasında hacmi yani boyutları değişir. Bu olaya kilin rötre yapması denir. Kilin kurumasıyla oluşan rötre de plastiklik özelliği etkilidir. Kurutma sıcaklığı 232 °C' yi geçmemelidir (Özışık 1987).

Hacim kaybı iki aşamada gerçekleşir:

Yaş şekillendirilmiş ürünün kurutma sonrasındaki hacim kaybı (kuruma küçülmesi).

Kurutulmuş ürünün pişirme sonrasındaki hacim kaybı (pişme küçülmesi).

Tuğla ve kiremit üretiminde tercih edilecek killerde hem kurutma esnasında hem de pişme esnasında meydana gelen hacimsel küçülme düşük değerlerde olmalıdır. Aksi taktirde tuğla üretimi için kullanılan standartlardaki boyutları elde edebilmek zor olacağı gibi yüzeyde çatlama ve deformasyonlar, köşelerde çatlamalar ve kırılmalar meydana gelme ihtimali yüksektir. Diğer bir taraftan yüksek sıcaklıklarda pişirme sırasında (1100-1200 °C) bir miktar hacim kaybı olması ürünün yeterli mekanik dayanıma sahip olması açısından gereklidir. Pişirme sırasındaki ideal doğrusal küçülme % 6 civarındadır. Ancak her zaman bu orana erişmek mümkün olmayabilir.

Diğer bir taraftan da havada kuruma rötresi (hacim kaybı) yüksek killerin budinözden hızla geçirilmesi veya basınç altında kalıplanması bu sakıncayı kısmen önler (Demir 1995).

III. Kilin çekme dayanımı: Yoğrularak şekillendirilmiş ve kurutulmaya bırakılmış kilin çekme dayanımı değeri yoktur. Aynı zamanda kurutulmuş ürün şeklini

koruyabilmelidir. Fırına girmeden önce çarpma ve sarsıntılara maruz kaldığında kırılıp dağılmamalıdır. Bu dayanıklılık killerin tane inceliği azaldıkça ve plastisitesi yükseldikçe artar.

IV. Sıcaklıkta ergime özelliği: Kullanılan kil pişirme sırasında sıcaklıklarda (600-900 °C)'de ergiyerek (camsı faz oluşumu) kimyasal ve kristal özelliklerini değiştirmeli ve su ile yumuşamayan, dağılmayan, az gözenekli sağlam bir yapıya sahip olmalıdır. Pişen tuğlada %10-15 su emme özelliği olmalı ve aynı zamanda en az 75 kg/cm²' lik bir basınçta kırılmadan dayanabilmelidir.

V. Renk: Tuğlada renk kiremitteki kadar her zaman önemli değildir. Kaplama tuğlada en önemli özelliklerden birisi olabilir. Mukavemet açısından standartlara uygun olup rengi açık ürünler üretilmektedir.

Tuğla yapımında kullanılan killi toprakların kimyasal yapısı:

Killer kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından farklılık gösteren hammaddeler olduğundan, bu konuda kesinlikle bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir.

Diğer bir taraftan genelleme yapmak gerekirse tuğla imaline en uygun killer illit cinsi killerdir. Montmorillonit ve halloysit grubundan olan killer bünyelerine su aldıklarında yüksek oranda şişme gösterirler. Bu şişmeye bağlı olarak su kaybı ile hacimsel küçülmeleri çok fazla olacağından tuğla üretiminde uygun görülmezler. Fakat daha önceden de belirtildiği üzere dünya üzerindeki killeri standart sınıflardan birine sokmak mümkün değildir. Ayrıca killer saf halde doğada bulunmadıklarından tuğla yapımında elverişli olmaları içerdikleri safsızlıkların miktarına ve cinsine bağlıdır. Fiziksel özelliklerinin deneylerle tespiti kimyasal yapılarında daha önemli bir yer tutar.

Tuğla ve kiremit üretiminde tercih edilecek killerde bulunabilen yararlı ve sakıncalı maddeler (safsızlıklar) aşağıda verilmiştir.

Kum : Tuğla üretiminde tercih edilecek killerde doğal olarak bulunan kum (serbest silika) genellikle küçük tane boyutuna sahiptir ve taneleri 10-40 μ

çapındadır. Bulunma miktarı olarak da %30-40 civarındadır. Kilin bünyeye sağlamış olduğu plastiklik özelliğini dengeleyerek kuruma ve pişme sırasındaki hacim değişikliklerinin kontrolü için dışarıdan kum, pişmiş atık, uçucu kül ve öğütülmüş cüruf gibi dolgu maddelerinin ilave edilmesi mümkün olabilir. Şayet kum ilavesi yapılırsa, kumun %70' inin ortalama tane boyutunun 0.2 ile 0.5 mm arasında olması istenir.

Fazla kum ihtiva eden killerin plastisite indisi azdır. Kalıplanma esnasında dağılma olur ve yüzeyle pürüzlüdür. Dayanım ve sertliğin düşük olmasına neden olur. Bu sebeple tuğla üretiminde %20 ile % 30, kiremit üretiminde %10 ile %20 değerleri arasında kum ilave edilebilir.

Demir: Bazı durumlarda demir (Fe) sülfat formunda bulunmakla birlikte çoğu zamanda demir oksit ve hidratları şeklinde bulunup kilin hacmine dağılmıştır. Pişmiş ürüne kırmızı rengini veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Ayrıca tuğla kiremit yapımında demir bileşiklerinin sertlik ve su emme yüzdesine etkisi büyüktür. Kilin içermiş olduğu fazla demir ve bölgesel olarak toplanmış demir sülfat ve karbonatlar, pişirme esnasında şişme ve çatlamalar yapar. Ayrıca kullanılan tuğlaların yüzeylerinde çiçeklenme (effluorescence) ve yağmur suyuyla akan boyayan lekelere sebep olur. Bu nedenle bünyesinde demir sülfat ve karbonatları mümkün olduğunca düşük miktarlarda olmalı, toplam demir oksit ve hidratların miktarı %8-10 seviyesini aşmamalıdır.

Kalker: Kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri her türlü zeminde yaygın olarak bulunan malzemelerdendir. İnce olarak öğütülmüş ve kilin bünyesine homojen bir şekilde karışmış kalsiyum oksit (CaO) genellikle fazla zararlı olmaz. Ancak yüksek miktarda olduğu zaman pişmiş ürüne sarıya çalan bir renk verir. Pişme esnasında tuğla ve kiremitlerde şekil bozuklukları meydana getirebilir. Büyük granüler haldeki kalsiyum (Ca) tuzları üretilen tuğlanın kullanımında havanın nemi ile reaksiyona girerek $Ca(OH)_2$ (kalsiyum hidroksit) şekline dönüşürken hacim genleşmesi sebebiyle tuğlanın yüzeyinde bölgesel çatlaklar oluşturur. Pişmiş toprak ürünlerinde kullanılacak kilde bulunan ince öğütülmüş CaO (kalsiyum oksit ) miktarı % 8'nin üzerine çıkmamalıdır.

Organik maddeler: Killerin gri, mavi, yeşil ve siyah gibi farklı renklerde bulunması çoğu zaman bünyelerinde mevcut organik maddelerin miktarına ve cinsine bağlıdır. Pişme sırasında bu organik maddeler oksitlenerek gaz halinde bünyeden uzaklaşırlar. Oksitlenmenin hangi sıcaklıkta olacağı organik maddenin cinsine bağlı olarak 200-1000 °C arasında değişmektedir. Genellikle pişme sırasında bu organik maddeler 400°C'den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri bırakır.

Eğer bir bünyede mevcut organikler pişirme esnasında erken kademelerde uzaklaştırılmaz ise porlar camsı faz ile kaplanabilir.bu durumda ortada kirlilik kalabilir. Bu nedenle organik esaslı kirliliklerin mümkün olduğunca az bulunması hem tuğlanın görünümü açısından hem de fiziksel özellikleri (dayanımı) bakımından gerekli bir husustur.

Suda çözünür tuzlar: Genellikle kilin içinde bulunan tuzlar, sülfat ve klorür esaslı tuzlardır. Yüksek miktarda bulunan çözünür tuzlar tuğlanın kullanımı sırasında çiçeklenme (efflorescent) ve yüzeyden dökülmeler (kireç patlağı) gibi daha önce ifade edilen problemlerin ortaya çıkmasında etken olur. Bu nedenle içerikte bu tuzların %1,5 ve altında bulunması iyi kalitede bir tuğla imali için önemlidir.

Tuğla ve kiremit üretiminde killer kesin bir standarda sokulamayacağından ancak yukarıda belirttiğimiz özellikleri çerçevesinde incelendiğinde faydalı olacaktır. Buna bağlı olarak kimyasal analiz sonuçlarına göre tuğla ve kiremit yapımında kullanılan killerde minimum ve maksimum kimyasal yapı Çizelge 2.3 gösterilmiştir. Ancak kesin bir baz oluşturmamaktadır (Özışık 1987).

Çizelge 2.3 Tuğla Killeri İçin Minimum ve Maksimum Kimyasal Yapısı (Özışık 1987)

| Kilin Kimyasal Yapısı | % Min | % Max |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 64,5 | 42,7 |
| TiO | 1,2 | 0,95 |
| $Al_2O_3$ | 20,6 | 16,3 |
| $Fe_2O_3$ | 2,8 | 7,0 |
| CaO | 0,7 | 9,5 |
| MgO | 0,8 | 6,2 |
| $K_2O$ | 1,7 | 3,6 |
| $SO_3$ | 0,3 | - |
| $CO_2$ | 1 | 5,9 |
| Karbonatlardan Kayıplar | 6,3 | 11,05 |
| TOPLAM | 100,0 | 100,0 |

Tuğla yapımında kullanılacak kil esaslı hammaddede aranacak bazı özellikler aşağıda verilmiştir:

Homojen olmalı, içinde öğütülmeyecek büyüklükte ve sertlikte mineraller bulunmamalıdır.

Feldspat, silis ve silt ince kum boyutunda ve %25 civarında bulunmalıdır. 3mm' den büyük tanelerin miktarı %1' i geçmemelidir.

Montmorillonit grubu kil düşük miktarda olmalıdır. Aksi taktirde pişme küçülmesi miktarı yüksek olur ve nihai üründe çatlak oluşabilir.

Yüksek miktarda kaolinit içermemelidir. Kaolinit mineralinin yüksek miktarda varlığı pişme sıcaklığını yükselteceğinde pişme masrafları yüksek olacaktır.

Yüksek oranda demir oksit, alkali ve toprak alkali bulunmamalıdır. Bu tip oksitler pişirme sıcaklığını düşürerek ürünlerin birbirine yapışmasına neden olurlar. Diğer yandan demir bileşikleri tuğla ve kiremit mamulüne istenen rengi verir.

Kalker, jips, dolomit, pirit ve tuz içermemelidir. $CaCO_3$ bileşeninin %25 üzerinde olması istenmez. Aksi taktirde pişirme işlemini zorlaştırır. Sinterleşmeyi sağlamak

için sıcaklık arttırıldığında tuğlada aranan renk kaybolur. Oksitleyici fırın atmosferinde pişirildiğinde pişme rengi yine kiremidi olur. Yüksek kireç içerikli killer kullanılarak üretilen tuğlalarda porozite yüksek olacağından su emme özelliği artar. Ayrıca iri taneli kalker ve dolomit olmamalıdır. Pişme sonrasında emeceği su ile tuğlada çatlama, patlama ve dökülmeye sebebiyet verebilir.

## 2.6 Uçucu Kül

### 2.6.1 Uçucu Küllerin Tanımı ve Elde Edilişi

Uçucu kül, kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde ortaya çıkan bir atık üründür. Termik santrallerde çok ince öğütülerek yakılan kömürden üç farklı külün elde edilmesi mümkündür.

1. Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınmayan ve kazan tabanına düşen ‘ Taban Külü ’

2. Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutularak uzaklaştırılması ile elde edilen ‘ Ham Kül ’

3. Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan ‘ Uçucu Kül ’

Çevreyi olumsuz yönde etkileyeceklerinden, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bu sebeple, küller mekanik ve elektrostatik yöntemle toplanarak santral çevresinde veya uygun başka yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kapsamaya başlar ve santral idaresi için problem olmaya başlar.

### 2.6.2 Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşimleri

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses şartlarına ( kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfirizasyon vb.) bağlıdır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler $Si0_2$, $Al_20_3$, $Fe_20_3$, ve CaO olup, diğerleri $S0_3$, MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca yanmamış karbon ve bunun yanı sıra

titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden bileşenler olarak bulunabilmektedir.

Temel oksitler olan $Si0_2$, $Al_20_3$, $Fe_20_3$, ve CaO' in miktarları, uçucu külün silisli ve kireçsi yapıda olmasına göre, uçucu külde $Si0_2$ %25-60, $Al_20_3$ %10-30, $Fe_20_3$ %1-15, ve CaO %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır (Hewlett 1998, ACI Committee 1987 ).

Diğer oksitlerden MgO en fazla %5.0, alkali oksitlerden ($Na_2O+K_2O$) %5.0 'ın altında bulunmamaktadır. $S0_3$, genellikle %0.2-2.5 arasında değişmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre %10 'a kadar yükselmektedir (TS EN 450 1998).

Kızdırma kaybı, esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekle birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozulması sonucu ortaya çıkan bağlanmamış su veya $Ca0_2$ kaybını da içine almaktadır. Kızdırma kaybı, %1.0-10 arasında değişmektedir.

Uçucu külde reaktif silis ve reaktif kireç, çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan ve dayanım gelişiminde önemli rolü olan kalsiyum silikat hidrat jeli oluşturan silisyum ve kalsiyum oksitleri temsil etmektedir. Özellikle reaktif silis, külün aktif bileşeni olup, puzolanik reaksiyonlara girmek üzere, alkali ortamda çözünen silistir. Bu bileşik, amorf veya camsı faz halinde bulunurken; mullit ve kuvars gibi diğer silisli bileşenler inert olup kristalize halde bulunurlar. Reaktif silis miktarının, uçucu külün tipine bağlı olmaksızın en az % 25 olması gerekmektedir (TS EN 197-1 2002, TS 639 1998). Reaktif kireç ise, düşük kireçli küllerde % 10' un altında olmakta; yüksek kireçli küllerde % 10-15 arasında değişmektedir (TS EN197-1 2002, RILEM Committee 73-SCB 1988).

### 2.6.3 Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

#### 2.6.3.1 Uçucu Külün Tane Boyutu ve Görünüşü

Uçucu külde, büyüklükleri 0.5 µm – 150 µm arasında değişen hem camsı küresel, hem de düzensiz şekilli tanecikler bulunmaktadır. Bu taneciklerin şekil ve büyüklük açısından farklılıkları, uçucu külün tipinden (düşük veya yüksek kireçli) kaynaklanmaktadır.

Camsı küresel şekilli tanecikler, içi boşluksuz küresel yapılar (solid glassy sphere), boşluklu küreler (cenosphere, hollow spheres); büyük bir küre içinde, küçük küreler kümesi içeren yapılar (pleurosphere); yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları bulunan yapılar, yüzeyi kristal ile kaplanmış yapılar (dermasphere) deforme yapılar; yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar gibi çeşitli şekiller halinde bulunabilir.

Küresel olmayan tanecikler, kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldspatlar gibi), düzensiz şekilli ve gözenekli yapılardan (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluşmaktadır.

Düşük kireçli küllerde, çoğunlukla camsı faza karşılık gelen, içi boşluksuz tam küresel tanecikler ve bunun yanı sıra senosfer ve plerosferler bulunmakta olup; bu küller şekil dağılımı açısından genellikle homojen olan mikro yapıya sahiptirler.

Yüksek kireçli küllerde, mikro yapı içinde hem küresel hem de köşeli, düzensiz şekilli taneciklerin bir arada bulunması sonucunda, homojen olmayan şekil dağılımı mevcuttur. Ayrıca küresel taneciklerin yüzeyi de, düşük kireçli küller kadar düzgün değildir.

Taneciklerin şekli ve büyüklük dağılımları, su ihtiyacı ve işlenebilirlik gibi reolojik özelliklerine etki etmektedir. Bu etki özellikle küresel taneciklerin kayganlaştırıcı (lubricant) nitelik taşıması ve dolgu maddesi (microfiller) özelliğine sahip olma; şekilsiz, pürüzlü yüzeye sahip olanların su ihtiyacını arttırma şeklinde olmaktadır. Ayrıca, uçucu külün tane büyüklük dağılımının çok değişken olması halinde de su ihtiyacı artmaktadır.

### 2.6.4 Uçucu Külün Puzolonik Özellikleri

Uçucu külün granülometrik bileşiminin çoğunun 40 µm nin altında olması (10-20 µm) ve şeklinin de genelde küresel olması puzolanik aktiviteye olumlu etki etmektedir. Özellikle yüzeyi pürüzsüz ince küresel tanecikler, büyük yüzey alanına sahip olduğu için kireç - silikat reaksiyonlarına daha hızlı girmektedirler.

Buna bağlı olarak yüksek kireçli külün aktivitesinde kristalize aktif fazlar (anhidrit, kireç) ve az camsı fazı rol oynamakta, düşük kireçlide ise taneciklerin şekli, büyüklük dağılımı ve camsı fazın fazlalığı önem taşımaktadır.

### 2.6.5 Uçucu Külün Morfolojik Özellikleri

Tanecik morfolojisi (şekli) ve büyüklük dağılımında, kömürün orijini ve uniform olması, kömürün pulverizasyon durumu yanma koşulları (sıcaklık ve oksijen seviyesi), yanmanın uniformluğu ve toz toplama sistemi tipi gibi prosese bağlı faktörler etkili olmaktadır.

### 2.6.6 Uçucu Külün Kullanım Alanları

Pişmiş toprak yapı malzemelerinden biri olan tuğla, çok eski çağlardan beri özelliğini kaybetmemiş, günümüz inşaatlarında da en çok kullanılan endüstrileşmiş malzeme olma özelliğini korumuştur. Geçen süreç içinde kullanım amacı değişmemiş, özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların başında da ısı yalıtım değerinin arttırılması gelmiştir. Enerji kaynaklarının azlığı ve tükenirliliği enerji tasarrufunu gerekli kılmaktadır. Bu nedenle konut üretiminde en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan tuğla üretiminde de yalıtım değerinin yükseltilmesi çalışmaları önem kazanmaktadır. Endüstriyel üretimin artması yanında bazı sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar üretim girdisinden geriye kalan atıklardır. Atık yığını yok edilemediği için çevreye zararlı hale gelmektedir gelişmiş ülkelerde bu sorun çok önceden fark edilip, atıkların yeniden üretime kazandırılması çalışmaları önem kazanmıştır.

Türkiye'de de son yıllarda, endüstriyel atıkların değerlendirilmesi ve kompozit malzeme üretiminde performansa olan etkilerinin araştırılması, gündemi oluşturan

önemli konulardan biri olmuştur. Termik santral, demir-çelik, bakır, ferrokrom, gübre, kağıt vb. sanayi alanlarından elde edilen birçok atık malzemeye kullanım olanaklarının yaratılmasının çok yönlü yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle yapı malzemelerinin iyileştirilmesi konvansiyonel malzemelere yeni kullanım alanları bulunabilmesini sağlarken, enerji tasarrufu, ekonomi, çevre koruma ve doğal kaynakların daha akılcı kullanımı gibi avantajları da beraberinde getirmektedir.

## 2.7 Tuğla Hammaddelerinin Aranması ve Değerlendirilmesi

Tuğla kiremit killeri tarafından zengin olan neojen alanlarda ve genellikle nehir kenarlarında bulunan alüvyon (su ile taşınma) ovalarında kısmen de olsa sedimasyon mevcuttur. Çevrede bulunan kayaçlardan gelen iri taneli malzemeler çoğunlukla düzenli bir şekilde sel suları ile taşınabilir. Bu taşınan malzeme olduğu yerde şerit gibi çökelir. Çevrede bulunan kayaçlarda iklim şartlarının etkileri çok fazladır. Çok uzağa taşınırken killerin yapısı bozulabilir. Bu durumda kilin kalitesi düşer ve oluşan yatak değersiz bir hal alır. Taşınan malzeme içerisinde değişik iyonlar, çeşitli anyonlar, tuzlar, katyonlar ve oksitler de taşınırsa ürünün (kilin) kalitesini bozabilir.

Taban morfolojisinin ve akıntı mekaniğinin değişmesi, killerin de yatak değiştirmelerine sebep olabilir. Bu taktirde daha homojen ve daha ince taneli kumlu killer teşekkül edebilir ki, tuğla kiremit imalinde en fazla aranan ve rezervi en geniş olan topraklar bunlardır. Fakat derinde olduklarından işletilme imkanlarından yoksundurlar (Köktürk 1993).

Tuğla hammaddesi aranırken dikkat edilecek hususları şu şekilde sıralayabiliriz:

Araması yapılacak kil yataklarının üretim yerlerine yakın olması maliyet açısından önemli bir husustur.

Aranan hammaddenin düzgün arazide olması ve toprağın yüzeye yakın, en fazla 2-3 m. den fazla olmaması istenir.

Arama yapılacak yerdeki kil havzasının kalın olduğu yerlerde yapılmalıdır.

Bulunan hammaddedeki kumun tane boyutu ve tabakalardaki dağılımı da önemlidir.

Kil yataklarının içinde tuğla imal edilirken hangi safhalarda hangi malzemelerin zarar vereceği bilinip, hammadde içindeki dağılıma bakılmalıdır.

Jeolojik olarak bakıldığında tuğla kiremit yapımında kullanılan hammaddenin belirli özellikleri olması istenir. Bu özellikler, arazi çalışmaları sonucunda elde edilen örneklerin birçok analize tabi tutulması sonucu belirlenir ve çıkan bu sonuçlar yorumlanır. Eğer toprağın istenilen özelliklerde olduğu tespit edilirse, hammadde olarak kullanılır. Günümüzde gelişen yeni tekniklerle bu özelliklere sahip topraklar, uydu görüntüleri ve uçaktan çekilen fotoğrafların yorumu ile belirlenebilmektedir.

Eğer uzaktan algılama yöntemi kullanılacak ise; uzaktan algılama yöntemi ile çalışılacak sahanın sayısal topoğrafik haritasının oluşturulması ile işe başlanır. Sahaya ait hava fotoğrafları çekilir. Tüm bu kaynaklar toplandıktan sonra, sahayı içeren topoğrafik harita ve hava fotoğrafları taranarak bilgisayar ortamına aktarılır. Bilgisayar ortamında harita koordinatları oluşturulur. Reftikiye işlemi olarak tanımlanan bu işlemden sonra, sahanın incelenerek yorumuna geçilir. Uzaktan algılama sistemi enerji kaynağı, enerjinin aldığı yol, hedef ve algılayıcı olarak dört aşamadan oluşur (Avery et al.1985).

Bir kil yatağının ekonomik değer taşıyıp taşımayacağını ortaya çıkarmak için aşağıdaki araştırmalar yapılmalıdır:

I.Kil mineral yatağının oluşum şekli (Yatağın jeolojisi ile ilgili olarak)

Yatağın büyüklüğü (Rezervi),

Dekapaj kısmının kalınlığı,

Yataktaki yer altı ve yerüstü suyunun durumu,

Yataktaki yatay ve düşey değişmeler incelenmelidir.

Yatağın Büyüklüğü: Kil yatağındaki rezervi belirleyebilmek için çeşitli yöntemler uygulanır. Çoğunlukla yarma usulü, kuyu, sondaj ve jeofizik usulleri kullanılır. Yatağın gerçek rezervini tespit etmek ve değişim gösteren özellikleri belirlemek için yarma ve kuyular sık açılmalıdır.

Dekapaj Kısmının Kalınlığı: Yatağın üstünde işe yaramayan bitkisel toprağın kalınlığı az olmalıdır. Bu bölümün atılacağı yer önceden iyi etüt edilerek tespit edilmelidir.

Yataktaki Yeraltı ve Yerüstü Suyunun Durumu: Kullanılacak kil ocağından yeraltı suyu ve yağış suları ayrı ayrı düşünülerek çalışmayı kolaylaştıracak önlemler alınmalıdır.

Yataktaki Yatay ve Düşey Değişimler: Gerek tortul gerekse volkanik karakterli yatakları ayrıntılı haritası yapılarak yatay ve düşey kesitler tespit edilmelidir. Buralardaki jeolojik ve teknolojik değişmeler tespit edilmelidir. Farklı özelliklerin oluşu; ihtiva ettikleri kil mineralleri ve diğer minerallerin miktarına bağlıdır.

II. Kil yatağının teknolojik özelliklerinin tayini:

Bu işlem çoğunlukla laboratuarlarda yapılır. Arazide ise su ile yoğrulmak şartıyla malzemenin plastisitesi, yağlılık derecesi, içindeki kum ve silt miktarı araştırılabilir. Jeologlar yatağın belirli kısımlarından kesitler yapıp numuneler alır. Bunlar laboratuara göndererek istenen özellikler tespit edilir. Tuğla hammaddesini meydana getiren kil yatağının özellikleri yönünden homojen olması veya monoton değişen şekilde olması istenir. Eğer ki ocak farklı özelliklere sahip bir kil yatağı ise çeşitli güçlüklerinin doğması kaçınılmazdır.

Seramik hammaddelerinin araştırma ve işletilmesi üç aşamada gerçekleştirilir.

A- İlk aramalar

B- Detay etütleri

C- İşletme

A- İlk Aramalar: Aranan hammaddenin cinsine göre jenez jeolojik konumları dikkate alınarak bulunmaları gereken bölgeler saptanır. Çalışmalar genellikle 1/500.000 ölçekli jeolojik haritalar ve daha önce yapılmış jeolojik çalışmaların incelenmesi ile başlar. Daha önceden işlenmiş bölgeler ile jeolojik ön çalışmalarla tespit edilen bölgelerde jeolojik, tektonik ve litolojik özelliklerin saptanması gerçekleştirilir. Bölge jeolojisi işlenen haritalarda yataklanma belirtilir. Yapılması gerekli denemeler için örnekler alınır.

B- Detay Etütleri: İlk aramalar olumlu sonuçlanırsa daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulur. Bu evrede ise 1/10.000'den 1/500 ölçeğe kadar, ihtiyaca ve amaca göre jeolojik haritalama yapılır. Yatağın mineralojik yapısının yatay ve düşey değişimleri saptanmalıdır. Bunu için kuyu ve yarmalara gerek duyulursa sondaj ile alınan örnekler üzerinde fiziksel ve kimyasal denemeler yapılmalıdır. Seramik hammaddelerin fiziksel ve kimyasal karakterlerinin saptanması için en az 25-30 kg numune alınmalıdır.

Jeofizik ölçümler ve sondaj çalışmaları ile yatağın rezervi hesaplanır. Yatakta mevcut farklı kaliteli cevherlerin yatay ve düşey dağılımları haritalanır. Yeraltı ve yerüstü su durumu tespit edilir.

C- İşletme: Detay etütleri tamamlanmış rezervi cevherin yatay ve düşey yayılımı hesap edilmiş olan maden yatağından istenen özellikteki hammaddeyi devamlı bir şekilde aynı standart kalitede sağlayacak işletme planı yapılır. İşletme planına göre çıkartılan hammadde stoklanır. Artıklar uygun yerlere atılır (Bozkurt 1992).

### 2.8 Tuğla Killerine ve Numunelerine Uygulanan Test ve Deneyler

Seramik ürünlerinin üretiminde kullanılabilecek kil hammaddelerine, kullanım amaçlarını ve özelliklerini belirleyebilmek için bir dizi test ve deney uygulanır. Hammadde doğadan ilk alındığında bir ön deney uygulanır. Bu deneyler sonucunda hammaddenin tuğla ve kiremit üretimine uygun olup olmadığına yada hangi koşullarda ve şartlarda kullanılacağına karar verilebilir.

Ön deney şöyle uygulanır; doğadan çıkarılıp alınan kil numunesi üzerine HCl (Hidro klorik asit) damla halinde dökülür. Bu işlemle birlikte numune üzerinde köpürme şeklinde gaz çıkışı gözlenirse kilde $CaO_3$ (Karbonat) olduğu tespit edilir. Eğer kil HCl ile reaksiyon vermiyorsa suda açılması kontrol edilir. Genelde killer öğütülmeden kullanıldıkları için, gerektiğinde bu özelliğin olup olmadığının da araştırılması gerekir.

Bu iki araştırmadan sonra olumlu sonuç alındığında, bu numunelerden daha verimli sonuç almak için numunelerin çeşitli sıcaklıklarda pişirilerek en uygun pişme renginde olup olmadığı tespit edilir.

Pişme deneyinden de olumlu sonuç çıktığında laboratuarda ön araştırmalar yapılmaya başlanır.

Bu araştırmalar kızdırma kaybının ve kükürt'ün ($SO_3$) tespit edilmesi amacına yönelik yapılır. Bu araştırmada kükürt oranı %0.5' ten fazla olmamalıdır.

Bu şartlar sağlandığında numune diğer test ve deneylere tabi tutulabilir.

### 2.8.1 Doğal Nem Tayini

**Deneyin Amacı:**

Tuğla yapımında kullanılacak kil hammaddelerinin serbest nem miktarını tespit edebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Kil numunesinin konacağı beher için sabit tartım yapılır. Kuralına uygun (100 gr) nemli (yaş) kil numunesi beher içine alınarak tartım yapılır. Bu numune etüve alınarak 110 °C'de 2 saat kurutulur. Desikatöre alınarak soğutulur ve tartılarak kuru tartım değeri tespit edilir. Numunenin nemli ağırlığı çıkarılarak nem yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Nem}(\%) = \frac{\text{Ya-Ka}}{\text{Ya}} \text{ X } 100 \qquad (2.3)$$

Burada;

N(%) : Numunenin ağırlıkça nem oranı,

Ya : Numunenin yaş (nemli) ağırlığı, (gr),

Ka : Numunenin etüv kurusu ağırlığı, (gr).

### 2.8.2 Karbonat Tayini

**Karbonatın önemi:**

Tuğla üretiminde kullanılan kil hammaddelerinde kireç oranını tam olarak sınırlandırmak pek mümkün olmamaktadır. Bazı topraklarda bu oran %8'de patlama ve dağılma etkisi gösterirken, bazı topraklarda da %15'e kadar pek zararlı etki göstermemektedir. Bu kirecin daha ince taneler halinde dağılmasından ileri gelir.

$CaCO_3$ (Kalsiyum karbonat- kalker) genellikle her türlü zeminde değişik oranlarda bulunan bir malzemedir. Tane iriliği bakımından ince olması ve kilin bünyesine iyice karışmış olması durumunda çok da zararlı değildir. Ancak kil ürünün pişmiş malzeme bünyesinde fazla bulunursa ürüne sarımtırak bir renk verir. Pişme sırasında tuğlalarda şekil bozukluklarına neden olur. İri taneler halinde kalsiyum tuzları tuğlanın bünyesinde bulunması durumunda havanın nemini emip kalsiyum hidroksit şekline dönüşürken hacim genişlemesi yaparak tuğla bünyesinde yer yer çatlamalara yol açabilir. Bu sakıncayı önlemek için kalkerler 1mm iriliğe kadar öğütülürse bu problem önemli ölçüde ortadan kalkar.

Kireç oranı fazla olan topraklardan yapılan mamullerin su emme özellikleri artar, dona karşı dayanımı azalır. Bu durum kiremit üretiminde tuğlaya nazaran daha da önem arz eder.

**Deneyin amacı:**

Hammadde bünyesinde bulunan karbonat miktarını belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

a. Usulüne uygun olarak alınmış numunelerden bir miktar alınarak 1mm' lik elekten geçecek şekilde değirmende öğütülür.

b. Öğütülmüş numuneden bir miktar alınarak etüvde 4 saat 110°C'de kurutulur.

c. Kurutulan numune desikatöre alınarak soğutulduktan sonra uygun bir miktar ayrılarak tartılır. Tartılan miktar karbonatlı numune miktarıdır.

d. Numune üzerine %10'luk HCl damla damla dökülerek işlem yapılır.

e. Köpürme sona erinceye kadar HCl damlatılmaya devam edilir.

f. Reaksiyon bittiğine karar verildikten sonra numune saf su ile üç dört kez yıkanır.

g. Etüve alınan numune 110°C'de 4 saat kurutulduktan sonra desikatörde soğutulup hassas terazide tartılır. Bu tartım karbonatsız numune miktarıdır.

h. Karbonat miktarı=Karbonatlı numune mik.–Karbonatsız numune mik.

ı. Bulunan karbonat miktarı yüzdeye çevrilerek hammaddedeki karbonat yüzdesi bulunur.

### 2.8.3 Yaş Elek Analizi

**Deneyin amacı:**

Ham killer incelenirken; tane büyüklüğüne göre ayırımı ve müteakiben tespiti ana mineral tiplerinin ayrımında oldukça yardımcı olur. Bu ana fonksiyonlarına göre;

| | |
|---|---|
| Taşlar; | > 20mm |
| Çakıl, | 20-2mm |
| Kaba Kum, | 2-0.2mm |
| İnce Kum, | 0.2-0.02mm |
| Humus Kumu, | 0.02-0.002mm |
| Kil, | <0.002mm'dir. |

Bu nedenle en ince tane büyüklüğü ile ilgili bilgi, mevcut aktif kolloid kil hakkında bilgi verir.

Tane büyüklüğü; yoğunluğu, mekanik mukavemeti ve poroziteyi etkilemektedir. Bu nedenle tane büyüklüğünde üç faktör bulunmaktadır.

1. Çap

2. Yüzey alanı

3. Tane büyüklüğü dağılımı.

İri taneli hammaddelerin tane dağılımı bir seri elekten geçirilerek tespit yapılır. Numunenin elekten geçirilme işlemi bir statik işlem olup, bir maddenin verilen bir elek genişliğinden bir elementin geçmesi ve geçmemesi şeklinde tespit yapılır. İnce taneli hammaddelerde yaş elek analizi, kuru elek analizi metodunda tercih edilir. Çünkü kuru elek analizinde çok ince tozların kaybolması söz konusudur.

Tane boyutu imal edilecek ürünün standartlara uyması açısından önem taşır. Yaş elek analizi ile belirlenen 3mm'den büyük tanelerin oranı fazla ise pişme esnasında çatlamalar çok olacağından bu tanelerin topraktan ayrılması gerekir.

Hammadde içinde bulunan kil dışı plastik olmayan minerallerin miktarı ve tane iriliği yaş elek analizi ile tespit edilir. Hammadde içinde bulunan kil dışı plastik olmayan minerallerin miktarı tuğla hammaddesinin plastikliğini, kalıplama tekniğini, kuruma özelliğini, kuru kırılma mukavemetini, kuruma ve pişme küçülmesini olumsuz yönde etkileyebilir.

**Deneyin yapılışı:**

Yaş elek analizi (tane boyutu dağılımı) aşağıdaki şekilde yapılır.

Deneyde kullanılacak hammaddeden numune dörtleme metodu ile uygun miktarda alınan numune etüvde 4 saat süre ile 110°C'de kurutulur. Kurutulmuş numuneden 250gr ağırlıkta 2 ayrı deney numunesi tartılır. Başka tarafta 2 lt hacmindeki 2 ayrı kaba konulur. Deney numunesinin üzerine önce 1lt su dökülür ve suyu emmesi için 2 saat bekletilir. Bu bekleme süresinden sonra kendi kendine akan bir çamur haline gelmezse 500ml daha su katılır.

Çamur haline gelen numune pervaneli açıcıda açılan kil titreşimli elek aygıtından bol su ile süzülür. Bunun için elek analizinde kullanılan elekler üst üste büyükten küçüğe sıralanır. Bu sıralama yukarıdan aşağıya doğru ; 2mm- 1mm- 0.500mm- 0.250mm- 0.090mm- 0.063mm'lik elekler olarak yerleştirilir.

Bu süzme işlemi sürerken titreşimli elek aygıtına, belirli titreşim altında sürekli üstten su vererek en alt elekten berrak su akıncaya kadar eleme işlemine devam edilir.

Berrak su görülünce aygıt durdurulur ve her bir elek üzerinde biriken kalıntılar, önceden tartımı yapılmış olan cam kaplar içerisine alınır. Bu kaplar etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulur. İkinci dolu tartım ile birinci boş tartım

arasındaki fark alınarak yüzdesinden her elek üzerinde kalan kalıntının miktarı hesaplanır. Elde edilen bu analiz sonuçlarına göre tane dağılımı grafiği çizilir.

Bu işlemlerden daha sonra iri tanelerin kontrolleri yapılır. Bunun için belirtilen yaş elek analizi sonucu 2 mm göz açıklıklı elek üstü miktarı, HCl ve göz ile kontrol edilerek kalsit, kayaç, organik madde içerip içermediğine bakılır.

Ayrıca killerin tane boyutu dağılımı "Lazer Tane Boyutu Analiz Cihazı" ile çok hassas olarak yapılabilir.

### 2.8.4 Plastiklik (Yoğrulma) Suyu Deneyi

**Deneyin amacı:**

Etüvde kurutulmuş hammadden alınan bir miktar numune su ile pervaneli açıcıda açılır. İyice açılan numune çamur 0.180 mm'lik elekten süzülür. Bu süzülen çamur alçı plakanın üzerinde bekletilerek plastik bir çamur elde edilir. Bu plastik çamurun yoğrulma kıvamında olduğunu, alçı üzerinde kolaylıkla kaldırılabilmesinden ve aynı zamanda ele yapışmamasından anlaşılır. Genel olarak yoğrulma suyu değeri büyük olan killer, yoğrulma suyu değeri küçük olan killere oranla daha özlüdürler.

**Deneyin yapılışı:**

Test edilecek kil hammaddesinden plastik kıvamda standart ölçülerde (25x25x115mm) şekillendirilerek hazırlanan 10'ar adet numune şekillendirildikten sonra hassas terazide tartılır. Önce 24 saat oda sıcaklığında kurumaya bırakılır. Numuneler bunun sonunda 55 °C'de etüvde 4 saat kurutulur. Daha sonra tekrar etüve yerleştirilerek 110 °C'de 24 saat kurutulur. Sonrada desikatöre alınarak soğutulur ve hassas terazide tekrar tartılır.

Sonra hesaplamaya geçilir. Aşağıdaki bağıntıdan plastiklik suyu (yoğrulma-plastiklik sayısı) hesaplanır.

$$P_s(\%) = \frac{W_y - W_k}{W_k} X\ 100 \qquad (2.4)$$

Ps (%) : Yüzde olarak plastiklik suyu,

Wy : Yaş ağırlık,

Wk : Kuru ağırlık.

Deney aşamalarına bakıldığında plastiklik suyu şöyle tanımlanabilir; kil hammaddesinin plastik kıvamda şekil alabilme niteliğini kazandırıncaya kadar hammaddeye katılan suya plastiklik (yoğrulma suyu), bu suyun yüzde olarak hesaplanmasına da plastiklik suyu yüzdesi denir.

### 2.8.5 Su Emme Deneyi

**Deneyin amacı :**

Üretilen malzemenin kalitesini belirlemeye yöneliktir. Bu deney ile kiremit ve tuğla hammaddelerinin hangi sıcaklık derecelerinde pişirildiğinde daha yüksek verim alınabileceğini belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı :**

Su emme değeri tespit edilecek kil hammaddesinden standart olarak üretilen numuneler (25x25x115 mm) normal pişme düzeyinde belirli sıcaklıklarda pişirilir. Ortamın nemini bünyesine almaması için desikatör içinde soğutulur.Değişmez ağırlıkta hassas terazide tartımları yapılır. Bu numuneler sonra su içine konularak 4 saat kaynatılır. Kaynatmanın sonucunda numuneler kaptaki su içinde 24 saat bekletilir. Sudan çıkarılan numunelerin üzerindeki parlaklık giderilmeden kurulanıp, temizlenir ve hemen hassas terazide yaş tartımları yapılır. Bu tartımlarda numune sayısı birden çok ise elde edilen tartım değerinin ortalaması alınır.

Yaş tartım ile kuru tartım arasındaki fark numunenin emdiği su miktarını verir. Su emme oranı yüzde olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$a_s (\%) = \frac{m_s - m_k}{M_k} X\ 100 \qquad (2.5)$$

Bu bağıntıda;

as (%) : Tuğlanın ağırlıkça su emme oranı (%).,

mk : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numunenin kütlesi (kg),

ms : Suya doymuş tuğla numunesinin kütlesi (kg).

Su emme, pişen kilin açık gözeneklerine alabildiğince suyu emmesidir. Su emmeyi etkileyen sebepler kilin özlülüğü ve pişme sıcaklığıdır. Pişme sıcaklığı arttıkça kilin su emme özelliği azalır.

Bir kilin su emme değerini söylerken hangi sıcaklıklarda piştiğini de söylememiz gerekir. Pişme sıcaklığını söylemeyince tam değerini söylememiş oluruz.

### 2.8.6 Dona Dayanım Testi

**Deneyin amacı :**

Donma sonucunda ve tekrar çözülünce tuğlada meydana gelen hasarı belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı :**

Deneyin yapılacağı su kabına tuğla numunesinin uzunluğunun yaklaşık ¼'ü kadar derinlikte su konularak, tuğlanın uzunluğu düşey olacak durumda su içine yerleştirilir. Bir saat sonunda tuğlanın yarısına kadar, ikinci saatin sonunda ¾'üne

kadar ve 24 saat sonunda tamamı su altında kalacak şekilde kaba su eklenir. Tuğlalar bu şekilde 48 saat su içerisinde bırakıldıktan sonra, sudan çıkarılarak hemen hiç beklemeden soğuk hava dolabına ( derin dondurucuya ) yerleştirilir. Dolabın sıcaklığı 4 saat -15 °C'ye düşecek şekilde ayarlanır. Numuneler bu sıcaklıkta 2 saat bırakıldıktan sonra soğuk hava dolabından çıkarılarak oda sıcaklığındaki su ile dolu su kabına tamamen su altında kalacak şekilde yerleştirilir. Donunun çözülmesi için su içinde 1 saat bekletilir. Bu donma çözdürme olayı 25 kez tekrarlanır. Her seferinde numuneler dikkatle incelenerek çatlama, kopma, pullanma, dağılma ve bunun gibi hasarların meydana gelip gelmediği kayıt edilir.

İnceleme sonunda şüphe edilmesi halinde, dona dayanım deneyinden geçmiş tuğla numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyi de uygulanarak belirtilen değerlere uygun olup olmadığına bakılır.

### 2.8.7 Kuru Pişme Toplu Küçülme Deneyleri

**Deneyin amacı :**

Numunelerin bünyesinden suyun uzaklaşmasını ve küçülmelerini açıklayabilmek.

**Deneyin yapılışı :**

Killer şekillendirilip yada işlendikten sonra kurutulunca bünye yapılarının küçülmesi, şekillendirme suyunun kilden uzaklaşması olarak açıklanmaktadır. Kil tanecikleri arasında yer alan su, kilden uzaklaştıkça tanecikler birbirine yaklaşırlar ve küçülme meydana gelir. Bir kil mamulü ne kadar çok su ile şekillendirildi ise küçülmede buna ters olarak o kadar fazla olur. Genellikle killerin küçülmelerini etkileyen en önemli faktörlerden biriside kilin özlülük derecesidir. Buna göre özlü killer özsüz killere göre daha çok küçülürler.

Bunun yanında yapılan hammaddenin hangi sıcaklıkta ve sıcaklıklarda küçülmesi tespit edilmek isteniyorsa numuneler bu sıcaklıklarda pişirilir. Pişirme sıcaklığı ile

pişme küçülmesi doğrudan ilgilidir. Bu nedenle pişme küçülmesi değeri belirlenirken, pişme sıcaklığı da verilmesi gerekir.

Çeşitli yöntemlerle kurutulan bir kil hammaddesi, yoğrulma suyunu tamamen verinceye kadar küçülür. Bu kuruma küçülmesini takip eden aşamada kil pişirildiğinde de küçülme devam eder. Ancak pişme sırasında süren bu küçülmenin nedeni kilin şekillendirme suyu değildir.

Bu küçülmeyi etkileyen faktörler şunlardır:

a. Numunenin bünyesindeki organik maddelerin yanması,

b. Numunenin bünyesindeki gazların uzaklaşması,

c. Numunenin bünyesindeki kristal suyun ayrılması,

d. Numunenin bünyesindeki kristal yapıdaki değişikler olarak sıralanabilir.

Pişme sıcaklığının artmasına paralel olarak pişme küçülmesi ve buna dayalı olarak da toplu küçülme değerleri artar. Çok özlü killer özsüzlere oranla daha büyük pişme ve toplu küçülme değerleri gösterirler.

Doğrusal kuruma küçülmesi aşağıdaki bağıntıdan, numunenin plastik uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplanır.

$$(\%)\ Sd = \frac{Lp - Ld}{Lp} \times 100 \qquad (2.6)$$

Bu bağıntıda ;

Sd : Doğrusal kuruma küçülmesi yüzdesi (%),

Lp : Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm),

Ld : Deney numunesinin kuru uzunluğu (mm)’ dir.

Pişmeden sonraki toplam doğrusal küçülme ise aşağıda olduğu gibi numunenin plastik uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplanır.

$$(\%)\ St = \frac{Lp-Lf}{Lp} X\ 100 \qquad (2.7)$$

Bu bağıntıda;

St : Toplam doğrusal küçülme (%),

Lp : Deney numunesinin plastik uzunluğu (mm),

Lf : Deney numunesinin pişmiş uzunluğu (mm).

Tuğla üretiminde önemli sorunlarda biriside parçadan parçaya boyutların sabit kalmaması birinden diğerine farklı küçülmeler göstermesidir. TS 705' de "Tuğla gerçek boyutlarının sınır değerleri ve boyutlar arasındaki kabul edilebilecek farklar" verilmiştir. Buna istinaden tuğla üretiminde TSE standartlarında belirtilen boyutlara uygun tuğla üretimi önemli oluyor.

Seramik ürünlerinde farklı küçülmenin sebepleri şunlardır:

a. Kullanılan hammaddelerin tane iriliğinin yada mineral bileşiminin değişmesi,

b. Çamur hazırlamada özelikle su içeriğinde oluşan değişmeler,

c. Kullanılan kalıp hataları,

d. Pişirme bölgesindeki sıcaklık farkları ve atmosferdeki değişmeler sayılabilir.

Pişme sonrasında istenilen boyutlarda numune elde edebilmek için hesaplama aşağıda olduğu gibidir.

$$Md = \frac{100 \times Lf}{100 - St} \qquad (2.8)$$

Bu bağıntıda;

Md :Model (kalıp) ölçüsü (mm),

Lf : Numunenin pişmiş uzunluğu (mm),

St : Toplam doğrusal küçülme yüzdesi (%).

Kalıbın boyunu hesaplamak için uygulama yapmak gerekirse ;

Uygulama: Toplam küçülmesi %5 olan bir tuğla numunesinde pişme sonrası boyu 185 mm olan bir ürün elde etmek için kalıp boyunu hesaplarsak.

**Verilenler:**

Lf =185 mm

St =5

**İstenen:**

Md =?

**Çözüm:**

$$Md = \frac{100 \times Lf}{100 - St}$$

$$Md = \frac{100x185}{100-5} \qquad Md = 194{,}7 \text{ mm}$$

Uygulamadan da anlaşıldığı gibi kalıp ölçüsünün boyu bu malzeme için 194.7 mm olması gerekir.

### 2.8.8 Kuru Kırılma Mukavemet Testi

**Deneyin amacı:**

Numunenin kırıldığı andaki kuvvet miktarını belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Kilin plastik kıvamda çamur haline gelmesi için elle iyice yoğrularak içinde bulunan hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. İstenilen kıvamda hazırlanan çamur (25x25x115 mm) boyutlarındaki standart kalıplara dökülerek her seri için en az 10 adet numune hazırlanır. Bu numuneler etüvde önce 55 °C'de 4 saat kurutulur. Daha sonra numuneler 110 °C'de 24 saat kurumaya bırakılır. Kurutulan numuneler etüvden alınarak desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur. Deney numunesi desikatörden çıkarılır çıkarılmaz deney cihazının mesnetleri arasına yerleştirilir. Bu mesnetler deney cihazı ve kil tipine bağlı olarak 50 mm ve 100 mm'lik açıklıklarından birine ayarlanır. Deney numunesi her bir mesnete yanlardan 6.5 mm çıkıntı olacak şekilde uygulanır. Mesnetlerin ortasından dik açı ile numuneye yükleme parçası aracılığıyla kuvvet uygulanır. Kuvvet uygulamaya numune kırılıncaya kadar devam edilir. Uygulanan kuvvetin hızı 450 gr/dak. (4.5 N/dak.)' yı geçmemelidir. Şayet deneyde kare kesitli numune kullanılmış ise numunenin kırıldığı yerin genişlik ve yüksekliği kumpasla 0.1 mm hassasiyeti ile ölçülür.

Eğer deney sırasında kuvvetin uygulandığı noktadan 100 mm'den fazla bir noktadan kırılma gerçekleşirse; numunede daha önceden bir hasar meydana geldiği düşünülür ve ortalamaya dahil edilmezler. Numunenin kırıldığı yer üzerinde ölçülen en az üç noktanın ölçümünün aritmetik ortalaması alınarak hesaplamada kullanılır.

Aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır:

$$M = \frac{3xpxL}{2xaxh^2} \qquad (2.9)$$

Bu bağıntıda;

M : Kuru kırılma mukavemeti kg/cm², (N/mm²),

P : Kırılma kuvveti (kgf),

L : Mesnetler arasındaki mesafe cm, (mm),

a : Numunenin kesit genişliği cm, (mm),

h : Numunenin kesit yüksekliği cm, (mm)' dir.

Kuru kırılma deneyi sonucunda elde edilen veriler kilin özlülüğü hakkında bilgi verir. Kuru kırılma mukavemeti büyük olan kil, değeri düşük olan killere göre daha özlüdür.

Kuru mukavemetini etkileyen bir diğer faktörde mamulün kuruma süresi ve kuruma sıcaklığıdır. Sıcaklığın düşük olduğu bir ortamda yeteri kadar kurutulmayan kil ürünlerinin kuru mukavemetleri azalır.

Ayrıca ürünün şekillendirilmesinde uygulanan yöntemde kuru mukavemeti etkiler. Buna örnek vermemiz gerekirse; döküm yöntemleriyle şekillendirilen killer normal şartlarda kurutulduklarında plastik ve kuru şekillendirilen killere oranla daha büyük kuru mukavemete sahip olurlar.

### 2.8.9 Basınç Mukavemeti Testi

**Deneyin amacı:**

Standart ölçülerde hazırlanan örneklerin değişik pişirme sıcaklıklarında basınç mukavemetlerini belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Standart (25x25x115 mm) dikdörtgen prizma şeklinde olarak üretilen numuneler kurutulduktan sonra her sıcaklık için en az 10 adet deney numunesi pişirilir.

Pişirilen her bir numuneden, basınç uygulanacak yüzey alan 10-15 cm², yüksekliği 1.5 cm olacak şekilde en az 2 adet numune kesici çarkla kesilerek hazırlanır. Hazırlanan numune deney presinin başlıkları arasına ve tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilir. Sürekli artan bir yük, basınç gerilmesinin saniyede 5-6kgf/cm² artmasını sağlayacak şekilde ve çarpmasız olarak numune kırılana kadar alt ve üst yüzeylere dik olarak uygulanır. Kırılmayı oluşturan yük tespit edilir (TS 4790).

Numunenin basınç mukavemeti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Fb = \frac{Pk}{Ao} X\ k \qquad (2.10)$$

Bu bağıntıda;

Fb : Numunenin basınç mukavemeti kgf/cm², (N/mm²),

Pk : Kırılma anındaki yük kgf, (N),

Ao : Numunenin basınç uygulanan yüzünün alanı cm², (mm²),

k : Numunenin biçim kat sayısı (0.5)' dir.

### 2.8.10 Sertlik Derecesi Tayini Testi Deneyi

**Deneyin amacı:**

Numunenin hangi sertlik derecesinde olduğunu tespit edebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Deney her sıcaklıkta pişen en az 5 adet pişmiş deney numunesi (tuğla, kiremit) üzerinde yapılır. Mohs cetvelinde buluna minerallerin keskin kenarları, numunenin yüzeyine hafifçe bastırılarak sürülür. Mineraller en yumuşağından en sertine doğru sıra ile uygulama yapılır ve denemeye numune çizilene kadar devam edilir. Numuneyi çizen mineralden bir önceki mineralin sertlik derecesi numuneni sertlik derecesine eşit kabul edilir. 5 adet numunenin yüzey sertlik derecelerin aritmetik ortalaması numunenin sertliği olarak ifade edilir.

Çizelge 2.4 Mohs Sertlik Çizelgesi

| **MİNERAL** | **SERTLİK DERECESİ** |
|---|---|
| Talk | 1 |
| Jips | 2 |
| Kalsit | 3 |
| Fluorid | 4 |
| Apatit | 5 |
| Feldspat | 6 |
| Kuvars | 7 |
| Topaz | 8 |
| Korund | 9 |
| Elmas | 10 |

Seramik ürünlerinde "sertlik" terimi konusunda ayrıntılı bir tanımı bulunmamaktadır. Sertlik terimi kazınmaya karşı dayanım olmakla birlikte aşınmaya karşı dayanım olarak da anlaşılır.

Seramik ürünlerinin aşınmaya karşı dayanımı aşağıda belirtilen özelliklere bağlıdır.

a. Malzemenin yapısı, bünyesi ve sertliği,

b. Hazırlama yöntemi (sulu, plastik, pres, yarı kuru pres vb.),

c. Bağ şekli (seramik bağı, kimyasal bağ vb., bağlayıcı ile yapılan bağ),

d. Bağ miktarı,

e. Vitrifikasyon kapsamı ( camlaşma özelliği),

f. Materyalin incelendiği pişirme sıcaklığı.

950-1050 °C' de pişirildiğinde pişirme rengi kiremidi olan, tuğla ürünlerin sertliği en az 3-5 arasında bulunması gerekir.

### 2.8.11 Zararlı Kireç ve Manyezi Deneyi

**Deneyin amacı:**

Numunenin çatlama, kopma, pullanma, dağılma vb. hasarlarını belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Deney uygulanacak tuğlalar, içinde oda sıcaklığında su buluna su kabına ve tamamen su altında kalacak şekilde yerleştirilir. Bu şekilde 24 saat bekletildikten sonra, kap bir ısı kaynağının üzerine konularak kaynatılır. Tuğla numuneleri kaynamakta olan su içinde 2 saat tutulur. Sonra su kabı, içindeki su ve tuğlalar ile birlikte oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılır.

Soğuyan tuğlalar, sudan çıkarılarak gözle muayene edilir. Çatlama, kopma, pullanma, dağılma vb. hasarların oluşup oluşmadığına bakılır. İnceleme sonuçlarından şüphe edildiği hallerde zararlı kireç ve manyezi deneyinden çıkmış numuneler ayrıca basınç dayanımından geçirilir. Kullanma sırasında zararlı olabilecek çatlak, kopma, pullanma ve dağılma gibi hasarlar görülmemelidir. Bu hasarların görülmesine rağmen inceleme sonuçlarından şüphe edilmesi halinde deneyden geçmiş, tuğlaların basınç dayanımları ve bunların aritmetik ortalamaları, standartlarda belirtilenleri %85' inden küçük olmamalıdır (TS 705).

### 2.8.12 Ateş Zayiatı Testi

**Deneyin amacı:**

Pişme sonucunda numunede meydana gelen ağırlık kaybını belirleyebilmek.

**Deneyin yapılışı:**

Standart şekillerde hazırlanan numuneler (25x25x115 mm), 110 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra desikatöre alınarak soğutulur. Oda sıcaklığına kadar soğuyan numuneler desikatörden alınarak zaman kaybetmeden hassas terazide tartımları yapılarak kaydedilir.

Numuneler pişirme fırınına konularak normal pişirme şartlarında 800-900-1000-1100 °C'ler de pişirilir. Pişirme sonunda fırından alınan numuneler desikatöre konularak oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılır. Desikatörden alınan numuneler zaman kaybetmeden tekrar hassas terazide tartılarak pişmiş ağırlıkları belirlenir.

## 2.9 Tuğlanın Üretim Aşamaları

Tuğla doğada bol miktarda bulunan killi toprağın küçük tanecikler halinde öğütüldükten sonra kurutulup 800-950 °C'de pişirilmesi ile elde edilir. Tuğlanın hammaddesi içine kum, öğütülmüş tuğla-kiremit tozu ve benzeri maddeler katılabilir (Fulle et al. 1907). Son zamanlarda değişik doğal hammaddeler yada atık malzemeler katılarak tuğla üretim projeleri uygulanmaktadır.

Üretimde kullanılacak olan killi toprağın, tuğla haline gelmesi için başlıca 5 aşamadan geçer. Bu aşamalar:

1. Hammaddenin hazırlanması,

2. Şekillendirilmesi,

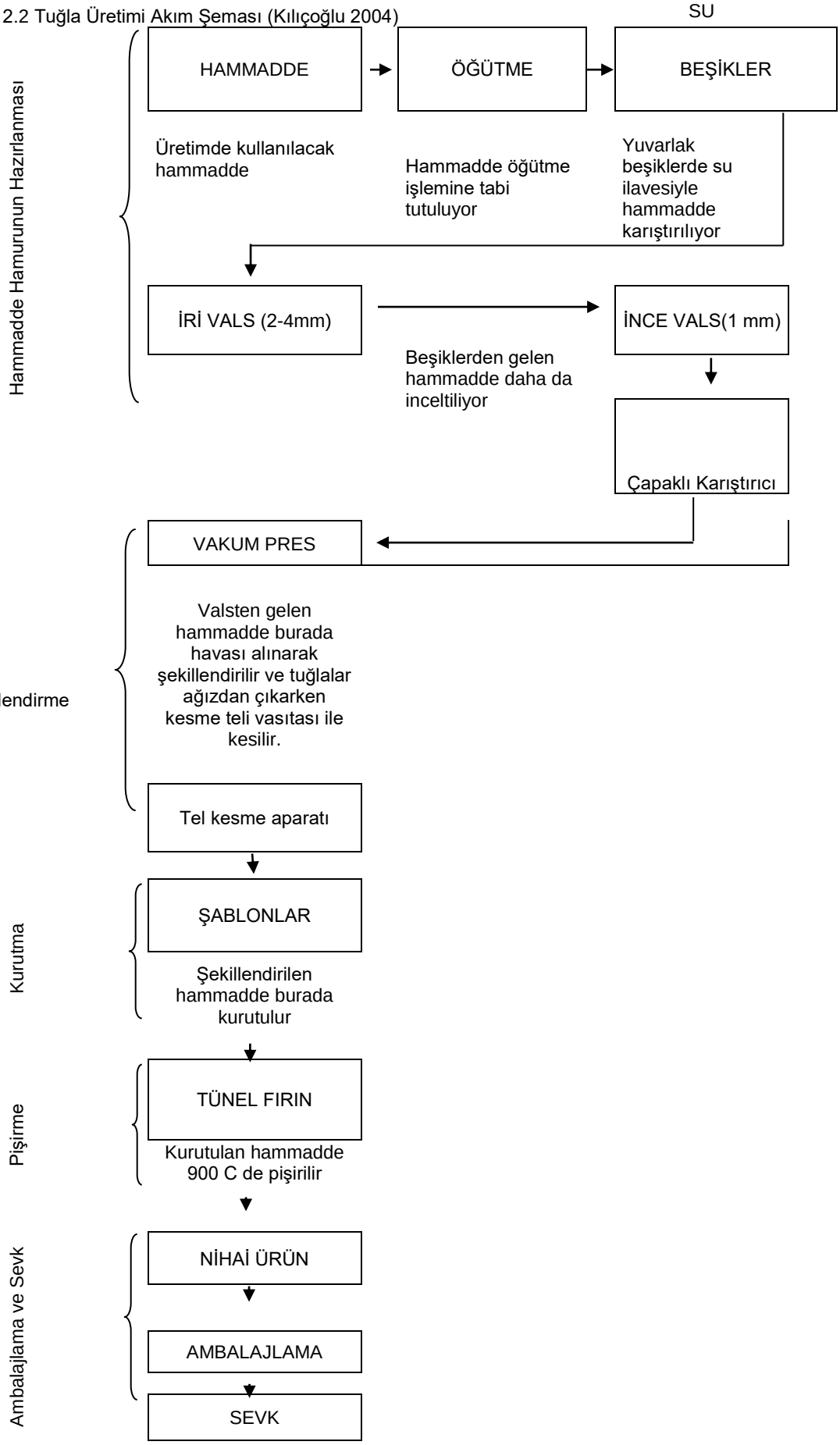
3. Şekillendirilen hammaddenin kurutulması,

4. Kurutulan hammaddenin pişirilmesi,

5. Pişirilen tuğlanın ambalajlanması ve sevki,

Tuğla üretim şemasına ait proses akım şeması ve bu şema üzerindeki şekillendirme yöntemi aşağıda verilmiştir (Kılıçoğlu 2004)

Şekil 2.2 Tuğla Üretimi Akım Şeması (Kılıçoğlu 2004)



### 2.9.1 Hammaddenin Hazırlanması

Tuğla üretiminde kullanılan killer değişik testler uygulandıktan sonra üretilecek olan malzemenin cinsine göre yerinden çıkartılır. Tuğla üretiminde kullanılan killer, doğada genellikle rutubetli ve plastik bir kıvamda, bazen kuru ve toz hale getirilebilir bir şekilde, bazen de kaya menşeli olarak bulunur ve çıkarılır (Toydemir 1991). Doğadan elde edilen toprak gerek boyutları olarak gerekse bileşimi olarak uygun özellikleri sağlaması için birtakım ön hazırlıktan geçirilmesi gerekir.

Killerin tuğla üretimine uygun hale gelmesi için kullanılan makinelerle boyutlar düzenlenir. Bunun yanı sıra bazı katkı malzemelerinin de ilave edilmesi gerekebilir. Bu katkı maddelerinden en önemlisi rötreyi kontrol etmek amacı ile ilave edilen kumdur. Eğer toprağın içerisinde kil miktarı fazla ise bu kil yağlı olarak kabul edilir. Böyle toprağın işlenmesi zordur. Bunun yanında kuruma ve pişme esnasında fazla hacim değişikliği yapacağından çatlamaya sebep olur. İçinde safsızlıkları az olan toprağın ergime sıcaklığı yüksek olur. Bu nedenle pişirme maliyeti daha yüksek olur. Saf kilin ergime sıcaklığı 1550 °C iken, içindeki safsızlıkların artması durumunda kilin ergime sıcaklığı 800 °C'ye iner.

Safsızlıklar pişme sırasında yanarak gaz haline geçtiklerinden, tuğlanın içerisinde gözle görünmeyen küçük kapalı boşluklar oluşturduğundan hafiflik ve izolasyon açısından fayda sağlar. Bu sebeple tuğla üretiminde yeterli miktarda kum ve safsızlıklar içeren yüzey killeri kullanılır. Fakat bu safsızlıkların diğer bir dezavantajı da vardır. Fazla boşluk oluşan tuğlanın da basınç mukavemeti azalır. İzolasyon tuğlalarında ise hava boşluğunu istenilen düzeyde oluşturabilmek için ayrıca katkı maddeleri de ilave edilir.

Tuğla üretimine uygun kilin taşıması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir (Yiğit 1997).

Toprağın $CaCO_3$ muhtevası %35 'in altında olmalıdır.

Plastisite sınırı %25 civarında bulunmalıdır.

3 mm den iri tanelerin oranı %1' i geçmemelidir.

100 °C sıcaklıkta pişirildiğinde, sertliği MOHS cetvelinde 2.'nin üzerine çıkmamalı, kuruma küçülmesi %10'dan az olmalıdır.

Tuğla toprakları 800-1000 °C de patlama ve çatlaklar olmadan pişmelidir. Kullanıcı tercihi olarak pişmiş ürünün (kırmızı tonlarında kiremidi renkte) olması istenir.

Plastisite indisi %8-25 arasında olmalıdır (Toydemir 1991). Kildeki $CaCO_3$ oranı %15' i geçmemelidir (Yiğit 1997).

Bu özellikleri taşıyan kil, tuğla üretim akışına başlamadan önce parçalanıp, ufalanır daha sonrada nemlendirilir. Gerekiyorsa kum vb. iyileştirici maddeler eklenerek, üstün homojenlikte bir hamur elde edilebilecek şekilde karıştırılır.

Kil minerallerinin ince partiküller halinde olması plastiklik ve kohezyon özelliği bakımından önemlidir. Ayrıca hammaddenin işlem sırasında homojen hale gelebilmesi için kilin ufalanıp parçalanması gerekmektedir (Toydemir 1991). Parçalanma ve ufalanma aşamasında yağmur, kar, güneş ve bunun gibi atmosfer olaylarından faydalanılabildiği gibi mekanik aletlerden de yararlanılabilir. Kilin içinde istenmeyen sert ve yabancı maddeler bulunabilir. Kil, taş ayıklayıcı makinelerde taş ve iri parçalar ayıklanır (Toydemir 1978).

Toprak öğütme ve hazırlama amacı ile günümüzde çeşitli makineler kullanılmaktadır. Bu makinelerin tamamı veya bir bölümü, toprağın özellikleri ve tesisin üretim kapasitesin göre çeşitli sayılarda kullanılmaktadır (Toydemir 1991). Hazırlama makineleri ve görevleri aşağıda belirtilmiştir (Kılıçoğlu 2004).

**1.Beşigerler:**

Hammaddeyi ilk hazırlama makinesidir. Aşağıdaki resimde görüldüğü gibi üç temel görevi mevcuttur.

Resim 2.1 Beşiger

Beşigerlerin ilk görevi; sahadan iş makineleri yardımı ile alınan toprak beşiger haznesine yüklenen toprağı imalata istenilen ölçüde vermektedir. Beşiger palet devrini ayarlayan varyatör sistemleri ve ayarlı çıkış kapağı ile toprak ölçüsü (debisi) kontrol edilmektedir.

Üretimin sürekli olarak yapılabilmesi için birkaç saatlik hammadde ara stoku görevini yapmaktadır.

Beşigerin diğer bir görevi de; ağızdan kontrollü olarak çıkan hammaddeye parçalayıcı çapalarla ufalamak ve bu esnada da toprağa suyu püskürtmektedir. Bu sayede toprakta bulunan büyük parçalar parçalama işlemine tabi tutulmakta ve toprağa karışmış iri taş parçaları geldiğinde de çapa tamburu emniyet pimini keserek durdurmaktadır. Alınan bu sinyal üzerine taş beşikerden alınmakta ve diğer makinelere hasar vermesi de önlenmektedir.

Bu birinci aşamadan sonra beşiger aracılığı ile taş ayırıcı makinede temizlenen kil, taşıyıcı konveyör bantlar ile kollergang ve valslerden geçerek 10-15 gün dinlendirildikten sonra imalata hazır hale getirilir.

**2.Kollergang:**

Hazırlama bölümünün ana makinesidir.

Genellikle 6 ve 8 tonluk merdane, ana mile monteli mafsallı krank sistemi ile hareket etmektedir. Bu sistemin sayesinde merdaneler toprak içindeki sert maddeleri fark etmeyebilmektedir. Sert maddeler daha sonra günlük yapılan temizlik esnasında ayıklanır. Merdanelerden birinin ufaladığı toprak, sıyırıcılar ile kazınarak diğer merdanenin altına sürülür. Bu karıştırma ve ufalama işlemi sırasında su verildiğinden tam homojen ve iyi işlenmiş çamur elde edilir. İstenildiği ölçüde ufalanan ve gerekli niteliğe gelen toprak, taban yüzeyi üzerindeki deliklerden süzülerek aşağı dökülür. Filtrelenen bu toprak döner bir disk yardımı ile toplanarak hareketli bantlarla diğer makinelere sevk edilir. Kollergangın üç belli başlı görevi vardır. Bunlar :

Birincisi ezme ve kırma görevidir. Burada hammadde 6-18 defa ezme işlemine tabi tutulmaktadır.

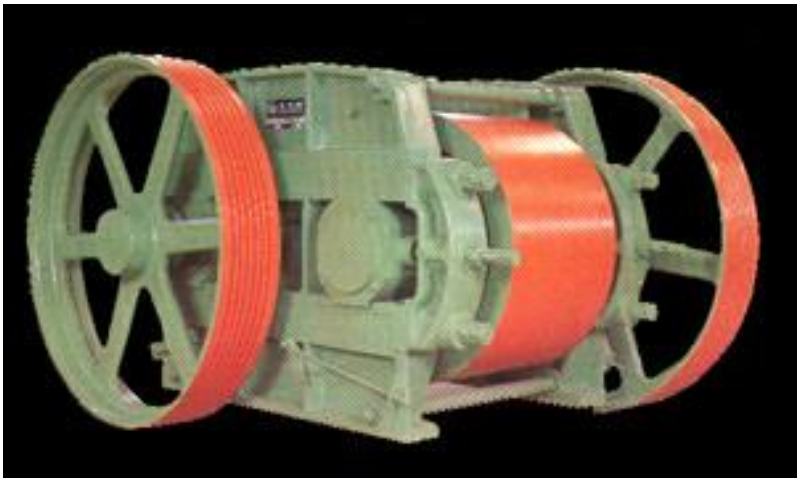
İkincisi karıştırma görevidir. Ezme işleminde sulandırılan toprağa birçok kez uygulanırken, bir yandan da toprak kazıyıcılar aracılığıyla kazınarak karıştırılmakta ve merdaneler altına sürülmektedir. Kuru toprağın tabanda bulunan ince deliklerden aşağı akması mümkün olmayacağından kili, akıcı ve plastik kıvama gelinceye kadar karıştırma işlemine tabi tutar.

Üçüncü görevi ise filtreleme görevidir. Toprak istenilen akıcı, plastik kıvama getirilip filtresindeki küçük deliklerden aşağı preslendiği için, hammadde içindeki yabancı maddeler filtre edilmektedir. Toprak içinde buluna kök, ot, demir vb. maddeler kollergang içinde kalmakta ve günlük bakım ve temizlikte çıkartılmaktadır. Kil hamuru istenirse ayrıca bir filtreleme işlemine daha tabi tutulabilir.

Resim 2.2 Kollergang

**3.Vals:**

Kollergangdan 10-12 mm olarak gelen toprak, valslerde birkaç mm ye (1~2mm) kadar indirgenmektedir.İki yatay ve paralel eksen etrafında farklı devirlerde dönen vals adı verilen, aşınmaya dayanıklı, çalıştıkça sertleşen ostenitik manganez çeliğinden yapılmış silindirik gömleklerden oluşur (Şekil 2.3). Ani darbe ve çarpmalara karşı (taş ve çelik parçalarının gömlekler arasına girmesi ile oluşan) pik dökümden üretilmiş mekanik sigortalar vardır. Ayarlı açıklık fazlalaştığı zaman bu sigortalar atar ve aralık ayarları tekrar yapılır. Valsin görevi ise; iri taneleri ezerek ufalamak (toz) haline getirmektir. Eğer çok taşlı dağ toprağı kullanılacak ise bir valse aşırı yük geleceğinden ikinci bir vals ilave etmek gerekir. Eğer iki vals kurulursa; ilk valsin gömlekleri arası 3-4 mm, ikinci valsin gömlekleri arası ise 1-2 mm olarak ayarlanmalıdır. Aşınma nedeni ile paralelliğini kaybeden gömlekler belirli periyot aralıkları ile taşlanma işlemine tabi tutulmalıdır.



Resim 2.3 Vals

### 2.9.2 Şekillendirme

Tuğla üretiminde ikinci evre şekillendirme safhasıdır. Hammadde hamurunun hazırlanması aşamasının sonunda, şekillendirmeye hazır bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntem biçimleri ile şekillendirilerek istenilen biçim ve boyuta getirilir. Tuğlayı şekillendirme yöntemleri şu şekilde uygulanır:

Kalıplama: Bu yöntemde hamur bir kalıp vasıtası ile tuğlanın şekillendirilmesinde kullanılır. Çamur, kalıbın içerisine doldurulmak sureti ile şekillendirilir. Çamurun kalıba doldurulması elle ve el presleri ile yapılabilir. Kalıptan çıkarılan çamur kurutulur ve pişirilir. Bu yöntem daha çok şu anda üretimi çok fazla yapılmayan genellikle kırsal bölgelerde kullanılmaktadır.

Presleme: Üretilecek tuğlanın, şeklini veren bir kalıp içerisinde kil çamurunun preslenerek doldurulması ile yapılan şekillendirme metodudur. Bu işlemde değişik tür presler kullanılır. Bunlar el presi, motor gücü ile çalışan presler ve aletler profil olarak üretilmesi mümkün olmayan ürünler bu yöntemlerle şekillendirilir. Kullanılan kil hamurunun kıvamı, plastik kıvamda olmalıdır. Ülkemizde tuğla üretiminde de kullanılmaktadır. Kiremit endüstrisinde hala şekillendirme aşaması; presleme yöntemi ile yapılmaktadır.

Extrude (sonsuz bant) yöntemi: Fabrikasyon üretiminde kullanılan en önemli yöntemdir. Yöntemin aslı hazırlanmış olan çamurun sonsuz vida yardımı ile verilen belirli bir basınçla filiyer ismi verilen bir kalıptan, istenilen şekilde sonsuz bant olarak çıkarılmak sureti ile uygulanmasıdır.

Filiyer, kil hamurunu istediğimiz şekilde biçimlendiren ve şekillendirilmiş hamurun tersi olan bir kalıptır. Mesela; delikli tuğlada boşluklara gelen kısım filiyerde dolu halde, tuğlada dolu kısımlara karşı gelen yer filiyerde boştur. Bu yöntemde kil hamuru hazırlama işleminden sonra havası alınarak belirli biçimde sonsuz bant olarak şekillendirilmek üzere vakum pres denilen makineye gönderilir. Makineden çıkan ürün ise belirli boyutlarda tel kesme yardımı ile kesilerek şekillendirme işlemi tamamlanmış olur. Bu yöntemleri ayrıntılı olarak verecek olursak;

Hazırlama aşamalarında tane inceliği sağlanmış, bileşimleri, rutubet yüzdeleri ayarlanmış ve filtrelenip homojen bir karışım haline gelmiş toprak hamuru vakum pres haznesinin ağzından verilir. Su halkalı ve kademeli vakum pompası aracılığı ile sistem içindeki hava sürekli emilir. Hazneye giren toprak hamuru bastırıcılar tarafından harmanlanır ve vakumun toprağa ulaşması sağlanır. Makinenin ön kısmında bulunan kamalı mil üzerine, kare veya dairesel kesitli pres helezonları dizilmiştir. Yaklaşık olarak 14-16 atü basınçla vakumlanmış ve plastik kıvama gelmiş toprak, sonsuz vida yardımı ile itilerek filiyerden şekillendirilmiş olarak çıkar ve makineye kesintisiz olarak devam eder. Bu yöntemde en önemli husus, üretilecek olan malzemenin profil (iki boyutlu) malzeme olmasıdır. Filiyer kil hamurunu iki boyutlu olarak belirlediğinden, üçüncü boyut vakum presten sonsuz bant olarak çıkar. Çıkan kil hamuru ince tellerle kesilerek ürünün üçüncü boyutu ortaya çıkarılır. Doğru imal edilmiş ve doğru ayarlanmış bir filiyerden çıkan kil hamurunda aşağıdaki özellikler olmalıdır.

a-) Vakum Pres (Extruder):

Resim 2.3 Vakum Pres

Kil hamuru herhangi bir yöne dönmeden düzgün olarak çıkmalıdır.

Hamurun yüzeyleri gayet düzgün ve pürüzsüz çatlaklar olmamalıdır.

Hamur kompakt olmalı ve filiyerden kesintisiz olarak çıkmalıdır.

b-) Kesici Makineler:

Filiyerden belirli ebatlarda çıkan tuğla hamurunun istenilen boyutlarda kesilmesini sağlayan makinelerdir.

Döner telli kesici veya hidrolik kesici makineler kullanılır. Hidrolik veya döner kesicilerde balata mekanizmaları vardır ve vakum presin sürüm hızına göre otomatik olarak ayarlanır. Bu ayarlama ile kesim boylarının sabit kalması sağlanır.

### 2.9.3 Şekillendirilen Hammaddenin Kurutulması

Hamurun kurutulması demek, kil içine şekillendirebilmek için verilen suyun değişik yöntemlerle hamurdan uzaklaştırılmasıdır.

Kurutma işlemi, doğadan faydalanılarak açık havada doğal koşullarda yapılabilir. Ayrıca önceden ısıtılan havanın kurutulacak olan hamur üzerine verilerek de kurutma işlemi yapılabilir. Kurutma işleminin sonucunda, kile şekillendirmek için verilen (yoğurma) suyu buharlaştığı için kil katılaşarak kuruma rötresi yapar. Ama açık havada yapılan kurutma işleminin bir dezavantajı vardır. Bu dezavantaj şöyledir; kurutucu hava, kil hamurunun yüzeylerine eşit etki yapmadığından homojen bir kurutma yapmaz. Homojen olamayan kurutmada ise tuğla yüzeyinde, istenmeyen çatlaklar ve yarılmalar oluşabilir. Mümkün olduğunca homojen kurutmanın sağlanması için, kurutma şartlarının iyi ayarlanıp denetlenmesi gerekmektedir.

Kurutucu havanın üç olumsuz özelliğini değiştirerek istenilen kurutma şartlarını elde edebiliriz. Bunlar :

Kurutucu havanın sıcaklığını,

Rölatif nem derecesini,

Hareket hızını, ayarlamamız gerekir.

Açık alanda yapılan kurutma işlemlerinde şartlar kontrol altında tutulamadığından, kurutma istenen düzeyde olmaz. Kurutmanın kalitesi aynı zamanda iklim şartlarına bağlıdır. Bu şekilde kurutmaya doğal kurutma denir. Eğer doğal kurutma şartları ideal kurutma şartlarına uyarsa ürün kalitesi daha iyi olur. Havanın sıcaklığı, rutubet ve hızının kontrol edildiği kapalı ortamlarda kurutma yapılırsa her zaman iyi kalitede ürünler üretilebilir. Bu tür kurutma sistemine suni (yapay) kurutma denir. Aşağıda doğal ve suni kurutma şekilleri açıklanmıştır.

### 2.9.3.1 Doğal Kurutma Yöntemi

Çok eskiden bu güne kadar gelen bir sistemdir. Şekillendirilmiş tuğlalar önce üzeri kapalı çardaklarda kurumaya bırakılır. Bu işlem tamamlandıktan sonra güneşli üzeri açık alana çıkarılır.

Resim 2.4 Doğal Kurutma

Kurutma sehpalarının rüzgarlı bir yere kurulması gerekir. Aynı zamanda uzunluğu boyunca rüzgara hakim doğrultuda olması gerekir. Kurutma sehpalarının da aralarından rüzgar akımı geçebilecek şekilde ölçülü aralıklarla yerleştirilmelidir. Kurutma süresi bu kurutma şeklinde havanın sıcaklığına ve iklim şartlarına bağlıdır. Bu sistem iklimin sıcak ve kuru olduğu yerlerde uygulanabilir. Ancak kuru hava ve sıcaklığın etkisi ile hızlı buharlaşma sebebi ile içeriden dışarı olan

nem akımı hızının üstüne çıkarsa, tuğlalarda çatlaklar oluşması ihtimali ortaya çıkar.

Bu doğal kurutma yöntemi ekonomik görünmesine karşın kurutmanın iklim şartlarına ve hava koşullarına bağlı olması uzun sürede kurutmanın gerçekleşmesine neden olur. ( Mesela; dolu tuğlalar 15 günde kururlar (Toydemir 1997)). Bu nedenle maliyet artar.

### 2.9.3.2 Yapay Kurutma Yöntemi

Yapay kurutma yönteminin doğal kurutma yönteminde farkları şunlardır.

Doğal atmosferde yapılan kurutma şartlarına bağlı olumsuz şartları ortadan kaldırır.

Kurutma işlemi, yakıt yakılması sonucu elde edilen sıcak havanın kurutulacak hamurun üzerine verilmesiyle yapılır.

Kurutma süresi de yakıt ısısı etkisiyle kısalır.

Yapay kurutmada, genellikle pişirme fırınında elde edilen sıcak hava, kanallarla kurutma odalarına gönderilir. Kurutulacak hamur üzerine sıcaklığı ve rölatif rutubet derecesi ayarlanmış hava verilir. Verilen bu havanın başlangıçtaki sıcaklığı düşük ve rölatif rutubet derecesi yüksektir. Daha sonra verilen havanın sıcaklığı yükseltilir ve rutubeti azaltılır. Böylece tuğla yüzeyinde çatlamalar oluşmadan yavaş ve kaliteli bir kurutma sağlanır (Toydemir 1978). Havanı ısısı, nemi ve hareket hızının ideal değeri hammaddenin özelliğine göre değişebilir. Bu ısı hesaplanamaz, sadece araştırmalarda ve deneylerde yapılan tespitlere göre sıcaklık ve saat hesapları yapılır. Yapay kurutma sisteminde genellikle kurutma odalarında kamera sistemi ile tünel kurutma fırınları kullanılır.

### 2.9.3.3 Kurutma Odaları

Şekillendirilmiş kil, üzerinde çok sayıda raf bulunan dekovillere yerleştirilerek kurutma odalarına yerleştirilir. Kurutma odaları yaklaşık olarak 1,36 m genişlikte

ve 33m boyundadır. Yan duvarlarında, dekovilleri raflara yerleştirebilmek için tuğlalardan yapılmış çıkıntılar mevcuttur. Şekillendirilmiş tuğla hamuru raflara yerleştirilir ve dekoviller dışarı alınarak kurutma işlemine başlanır. Ayrıca rafların altları da hava girecek şekilde olmalıdır. Kurutma işlemi iki evrede tamamlanır. Bunlardan birincisi terletme, ikincisi ise kurutma işlemidir. Terletme ; kurutulacak olan tuğla hamurunun üzerine sıcak hava verilerek yapılır. Kurutma ise; kurutulacak tuğla hamurunun üzerine sıcak hava ile soğuk hava beraber verilirken aynı zamanda rutubeti de azaltılarak verilir. Terletme ve kurutma işlemleri yapılırken süreler kilin özelliğine göre ayarlanır. Genellikle sıcaklık 70-80 °C arasında değişir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra içerideki kurutulan tuğla hamurları dekoviller yardımı ile dışarı alınır. Bu kurutma işlemi sonucunda kısmen mukavemet kazanmış tuğlalar işçiler tarafından vagonlara yüklenerek fırına verilir.

#### 2.9.3.4 Tünel Kurutma Fırını

Kurutulacak şekillendirilmiş kil hamuru vagonetlere istif edilmiş olarak tünelin ağzından içeri sokulur. Tünel içinde belirli bir hızla ilerleyen şekillenmiş malzeme, kendi ilerleme yönüne ters yönde hareket eden hava akımı ile karşılaşır. Hava tünelin diğer ağzından içeri girdiği veya bu ağza verildiği zaman yüksek sıcaklıkta ve düşük rutubettedir. Tünel kurutucunun giriş kısmından giren havanın sıcaklığı 120 °C'dir ve rölatif rutubet derecesi çok düşüktür (Erdoğan 1994). Bu sebeple başlangıçtaki havanın büyük ölçüde rutubet alabilme özelliği vardır. Bu hava, vagonetlerin girdiği fırın ağzına geldiğinde hemen hemen doymuş haldedir. (Rölatif rutubet derecesi %98'dir.) (Toydemir 1997). Bu ısı çıkış ağzında daha düşük seyreder. Yine fırındaki kurutma süresi kilin cinsine göre değişir. Kurutma fırınına girerken içinde bulunan nemin çoğunu kaybeder ve yaklaşık %2-3 nemle dışarı çıkar. Böylece doğal koşullarda yaşanan olumsuz şartlar yaşanmaz. Rutubet ve sıcaklık ayarlı olduğundan yavaş ve homojen kurur.

Otomatik tesislerde otomatik fırınlar da mevcuttur. Bu tesislerde kurutma fırınından çıkan tuğlalar otomatik makinelerle kurutma arabalarına alınarak

pişirme vagonlarına otomatik dizilir. Vagonlara dizilen tuğlalar hidrolik sistemle tünel pişirme fırınlarına götürülür.

### 2.9.4 Pişirme

Tuğla üretiminin en önemli safhalarından biri de pişirmedir. Şekillendirilen tuğla içinde kullanılan kil; şekillendirmek için bünyesine aldığı suyun kurutma aşamasında büyük bir bölümünü kaybeder. Bu kaybetme sırasında boyutlarında küçülme meydana gelir. Yine pişme esnasında kil, kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. Yaklaşık 300 °C civarında içerisindeki organik maddeler yanar, 450-650 °C arasında kil, molekülünde bulunan suyu kaybeder.

Sıcaklık derecesinin artması neticesinde kaolinitin silis ve alümin olarak ayrışması, $2Al_2O_34SiO_2$ halinde sinterleşmesi, karbonlu bileşenlerin yanarak kaybolması ve demirli gayrı saflıkların $Fe_2$ $O_3$' e dönüşmesi gerekir silikat bileşikleri halinde yeni bir malzeme oluşur. 850-950 °C arasında kil hamurunun pişmesi ile oluşan bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli mukavemet ve renge sahip bir üründür (Toydemir 1997).

Pişirme sırasında amaca uygun değişik fırınlar da kullanılabilir.

### 2.9.5 Ambalajlama ve Sevk

Pişerek fırından çıkan tuğlalar, elle dokunulabilecek hale gelene kadar soğumaya bırakılır. Piştikten sonra tuğlalar standartlara ve sınıflara uygun paketlenmesi de önemli yer tutmaktadır. Kırılan, çatlayan, şekil değiştiren, dayanıklılığını yitirmiş, kusurlu tuğlaların bu evrede ayıklanması gerekir. Tuğlanın bu özelliklerinin yanında rengi de önemlidir. Renklerinden ürünün kaliteli olduğuna kanaat getirilir. Ayrılan tuğlanın özelliklerine ve piyasada tüketim şekillerine göre, belirli adetlerde yada tonlarda havası alınmış paletli halde açık veya poşetlerde istiflenir. Bu paletleme ve poşetleme işlemleri sevkıyat esnasında büyük kolaylık sağlar.

## 2.10 Tuğla Sektörü

### 2.10.1 Tuğla Sektörünün Tarihçesi

İnsanlar çağlar boyu çeşitli ihtiyaçları için ağaç taş gibi doğal malzemeleri kullanmışlardır. Bunların bulunmadığı veya az bulunduğu yörelerde toprağa yönelmişlerdir. Önceleri toprak şekillendirilip kurutularak ilk kerpiç evler yapılmış, daha sonra da pişirilerek kullanılmaya başlamıştır.

Genel bir inşaat malzemesi olmasına rağmen tuğla, inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin en önemlisidir. Tarihi, teknik ve sanat bakımından mükemmel olan tuğlanın sosyal bakımdan da mükemmel olduğunu düşünmek yanlış olmaz.

Tuğlanın tarihi, medeniyetin en eski çağlarına kadar uzanır. Tuğladan yapılmış eser ve abideler, eski devirler hakkında bize bilgi vermesi açısından da büyük önem taşımaktadır.

Tuğlanın pişirilerek kullanımı M.Ö. 4000 yıllarına kadar gitmektedir. Tuğla doğanın dört elemanının katkılarıyla oluşur. Toprak ham maddedir. Su toprağı şekillendirilme ve hazırlanma evresinde bağlayıcı rol oynar. Çünkü yalnızca nemli toprak kolayca şekillenebilir ve tuğla ortaya çıkar. Hava tuğlayı kurutarak nemini alır. Ateş tuğlaya gözenekli kılcal yapısını ve dayanıklılığı kazandırır. Bundan dolayı tuğla kendisi için zararlı tüm etkenlere (güneş, yağmur, kar, buz ve zaman) dayanıklılık gösterir. Çünkü tuğla geçmişten geleceğe kalır.

Tuğla dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Çamurun kendine ait bir biçimi olmadığı için, yapım tekniği, biçim ve boyutsal strüktürlerin kullanılması insanoğlunun yapıcılığını geliştirdiği en önemli deney alanı olmuştur. Çağdaş malzemenin kullanıldığı günlere gelene kadar, geleneksel büyük örtü sistemlerinin esas öğelerini oluşturan kemer, kubbe ve tonoz, kerpiç ve tuğlanın ana yapı malzemesi olduğu bölgelerde ortaya çıkmıştır (Kurban 1992).

İlk insanlar başlangıçta kili pişirmesini bilmedikleri için, şekillendirdikten sonra kullanım alanını genişlettiler. Yapılarını tabiatta hazır halde buldukları taş ile yaparken tuğlayı da kullanmaya başladılar. Böylece, aynı ölçülerdeki tuğla

birimleri yan yana getirerek oluşturdukları yapı elemanları ile, ilk defa prefabrike yapı malzemesi kavramını oluşturdular (Toydemir 1991).

Kaldelilere ait Ur şehrinde yapılan kazılarda çıkarılan tuğlalar ve topraktan eşyalar üzerindeki yazılar bize (M.Ö. 3500) sene evvel yaşamış insanların tarzı hayatlar hakkında malumat vermektedir (T.T.O. 1958).

M.Ö. 4000 yıllarında inşa edilen Babil kulesinde yapılan araştırmalar, kulenin inşaatında seksen beş milyon adet tuğlanın kullanıldığını göstermiştir. Bugünün şartlarında düşünülürse ful kapasiteli 6-7 fabrikanın 1 yıllık üretiminin birleşmesi anlamına gelmektedir. O tarihlerde bu üretimde endüstriyel çalışma olduğu varsayılmaktadır.

1877-1917 yılları arasında Alman Arkeolog Robert Koldwey tarafından Babil şehrinde yapılan kazı ve araştırmalarda halen modern binalarda günümüzde de kullanılan düzgün şekilli, keskin kenarlı, çok teknik olarak üretilmiş tuğlalar bulunmuştur. Bu nedenle dünyanın 7 harikasından biri olan bu tarihi yapı, pişmiş tuğlanın sistemli ve düzenli olarak kullanıldığı ilk yapı olarak kabul edilmektedir.

Mezopotamya kavimlerinden Sümer (M.Ö. 40.yy.), Akad ve Babilliler duvar yapımında, kanalazizasyon sisteminde ve yazı tabletlerinde pişmiş toprak malzemeyi geniş anlamıyla kullanmışlardır.

Hindistan ve İran da tuğla, sivil ve dini mimari örneklerinde en çok kullanılan yapı malzemesi olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

Roma uygarlığının sembolü olan taş bu uygarlığın son dönemlerinde yerini tuğlaya bırakmış ve tuğla ile birçok yapı inşa edilmiştir. Özellikle İtalya'nın güneyinde, pişmiş tuğla malzemenin avantajları erken fark edilerek taş sütunlar tuğladan yapılmıştır. Bunun en gelişmiş ve eski örneklerinden biri M.Ö. 120 yıllarında yapılan Pompeii Bazilikasının kolonlarında görülmüştür (Adam 1994).

Tuğlada ilk standartlar Romalılar tarafından uygulamaya sokularak geliştirilmiştir. Kalınlık sebebi ile oluşan kurutma ve pişirme sorunlarını çözmeye çalışmışlardır. Böylelikle ilk araştırma etkinlikleri başlamıştır. Bu çalışmalar neticesinde

mümkün olabildiğince ince fakat eskisine göre dayanıklı (mukavemetli) malzemeler üretilmiştir. Bu tuğlalara Romalıların işgal ettiği Avrupa memleketlerinde ve İngiltere'de rastlanmaktadır.

Anadolu uygarlıklarında da diğer uygarlıklardaki gelişmeler görülmüştür. Verilere bakıldığında Anadolu'da da ilk pişmiş tuğlanın sanayi anlamda üretim ve kullanımının M.Ö. 4. yy.'da Lidyalılar tarafından başladığı görülmektedir. Yunanlıların tuğlayı kullanımı Bizanslılarla devam etmiş ve sonrada Selçuklular Bizanslılardan devir alıp ilerletmişlerdir. Selçuklu mimarisinde tuğla, taş ile duvarlarda birlikte yer almış ve değişik kullanım imkanları yaratılmıştır.

Anadolu'da tuğlaya ilk standart Osmanlılar döneminde geliştirilmiştir. Fatih Sultan Mehmet dönemi tuğlaları 4,5x28x28 cm ebatlarında, hatıllarda kullanılanlar ise daha ince üretilmiştir. Kullanılan standartlar dışına çıkan tuğlalar inşaatlarda kullanılmaz hatta satışına izin verilmezdi (Görçiz 2000).

Bundan sonraki dönemde 18. yy.' a kadar tuğla sanayinde kayda değer bir gelişme görülmemiştir. Günümüzde modern Batı uygarlığının hemen her yönü 18.yy.' da başlayan kapsamlı kültürel gelişmelerden etkilenmiştir. Bu değişikliklerin en önemli olanı, modern bilime uygun olarak gelişen insan ve evrenle ilişkisine dair yeni algılama şeklinin ortaya çıkmasıydı. İnsanoğlunun araştırma etkinliklerine yön veren en soylu amacın fiziksel dünyayı değiştirip geliştirmek olan fikrinin geç 17. yy.'a egemen olmasıyla birlikte, toplumsal ve ekonomik değişim hızında büyük bir artış görülmüştür.

Gıda üretimindeki artış, yüzyılın sonuna doğru tıbbi bakım alanındaki gelişmeler sayesinde ölüm oranındaki düşüşle birlikte Avrupa nüfusunun katlanarak artmasına neden oldu. Bu sebeple gelecek neslin karşılaştığı ana mimari sorunlar, sürekli artan kentsel nüfusun barınma, ulaşım, eğlenme biçimlerini öğrenmek ve yönetsel kurumlarına alışmak olmuştur.

Bu geç 18. yy. endüstrileşme ve ekonomik gelişme sürecinin mimari karşılığı şuydu: Bir süre sonra yapı yapma işleminin en önemli ödevi, en büyük sayıda insanın en yüksek düzeyde kullanabileceği, topluluklara en yüksek kamusal

hizmeti sunabilecek yapılar olmak oldu. 18. yy. sona ererken seri üretim tekniklerinin olanaklı kıldığı ve biçimlendiği burjuva orta sınıf kültürü yaratıldı ( Roth 2000).

Rönesans sonrasında da sanayi devrimi başlamıştır. Tuğla endüstrisi de gelişmeye başlayarak standardizasyon çalışmaları yapılmış ve az emek harcanması üzerinde çalışılmıştır. Endüstri döneminden bu güne kadar üretim teknikleri geliştirilerek elektronik sistemlerle yeni bir çığır açılmıştır.

### 2.10.2 Sektörün Tanımı ve Sınıflandırılması

Pişmiş kilden yapı malzemeleri ve çimento gereçleri sanayisi'nin bir alt kolu olan tuğla ve kiremit sektöründe hammadde olarak kullanılan kil ve irice milin ocaklardan çıkartılarak fabrikada kullanıma hazır hale getirilmesi işlemidir. Bu işlem sonunda inşaat sektöründe kullanılan ve aşağıda standartları verilmiş malzemeler üretilmektedir. Üretim alanına çeşitli yapı tuğlaları ve kiremitleri de girmektedir.

Üretimin ana malları aşağıdaki kalemlerden oluşmaktadır:

TS 704 Harman Tuğlası (Duvarlar için)

TS 705 Fabrika Tuğlaları (Duvarlar için Dolu ve Düşey Delikli)

TS 1260 Taşıyıcı Döşeme Tuğlaları (Statik Çalışmaya Katılan)

TS 1261 Taşıyıcı Döşeme Tuğlaları (Statik Çalışmaya Katılmayan)

TS 4262 Fabrika Tuğlaları (Duvarlar için-Klinker Tuğla)

TS 4563 Fabrika Tuğlaları (Duvarlar için-Yatay Delikli)

TS 4377 Fabrika Tuğlaları (Duvarlar için-Düşey Delikli Hafif Tuğla)

TS 562 Oluklu Kiremitler ve Mahya Kiremitleri-Akdeniz Tipi, Marsilya Tipi

TS 3457 Kiremit-Pişmiş Topraktan

TSEK Asmolen Döşeme Kiriş Tuğlaları

Baca Tuğlaları

Dekoratif Tuğlalar

Döşeme Tuğlaları

Cephe Kaplama Tuğlaları

Sektörün gümrük istatistik tarife pozisyon numaraları:

690410 İnşaat Tuğlaları

690510 Kiremitler

### 2.10.3 Mevcut Durumlar ve Sorunlar

Tuğla ve kiremit imaline uygun olan topraklar bütün dünya ülkelerinde yaygındır ve sınırsız rezervlere sahiptir. Ülkeler arasında tuğla kiremit ithalatı ve ihracatı söz konusu olmasına rağmen toprakların dış ticareti hiç yok denilecek kadar azdır. Çünkü bunlar ulusal ve uluslararası değil iç pazarların hammaddeleridir. Belki bazı gelişmiş üst düzey ülkeler arasında sınır ticaretine konu olmaktadır.

#### 2.10.3.1 Sorunlar

Tuğla ve kiremit işletmelerinin bir takım sorunları vardır. Enerjinin pahalı olması ve uygulanan voltaj düşüklüğü işletmeleri etkileyen bir husustur. Tuğla ve kiremit işletmecisinin bir başka sorunu ise sanayisinin ana hammaddesi toprakta da birçok sorunla karşılaşmasıdır. Taş ocakları nizamnamesi uygulamaları sorunlara neden olmaktadır. Bir toprak ocağı ruhsatı için 15-18 yerden onay alınması gerekmektedir. Ayrıca yerel yönetimler de ruhsatlardan fahiş rakamlar talep etmektedir. Tarım dışı arazilerden toprak alınarak bu alanlar kullanıma açılmakta bu durumda da çevre baskısı ortaya çıkmaktadır (Başoğlu 1996).

## 3.MATERYAL ve METOT

"Uçucu Külün Tuğla Killerinin Sinterleme Özelliklerine Etkisi" üzerine yapılan bu araştırmada kullanılan materyal ve uygulanan metotlar bu bölümde açıklanmıştır.

### 3.1. Deney Programı

Yapılan çalışmadaki tuğla üretiminde kullanılan kil ve uçucu kül kullanılmıştır. Tuğla kili Afyon'da bir tuğla fabrikasından ve uçucu kül Seyitömer Termik Santralinden alınarak yapı tuğlası üretiminde kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile yapılan deneysel çalışmalar bu bölümde verilmiştir.

Çalışmada kullanılan uçucu kül ve tuğla kilinin tane boyutu dağılımları Çizelge 3.1'de, kimyasal yapıları Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2'de verilen literatür değerleri ile karşılaştırıldığında $Al_2O_3$, $SiO_2$, $Na_2O$, CaO, MgO ve kızdırma kaybı değerlerinin uygun olduğu, 0,3 olarak verilen $SO_3$ değerinin %1,27 max 3,6 olarak verilen $K_2O$ değeri 4,00 ve max 7,0 olarak verilen $Fe_2O_3$ değeri 7,08 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre $SiO_2$, $Fe_2O_3$ ve $K_2O$ değerlerinin literatür değerlerden bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Ancak kil hammaddesinin kimyasal yapısından ziyade fiziksel davranışı daha da önemli kabul edilmektedir.

Çizelge 3.1 Uçucu Kül ve Tuğla Kilinin Tane Boyutu Dağılımı.

| Tane Boyutu (µm) | Uçucu Kül % | Kil % |
|---|---|---|
| <2 | 4 | 17 |
| 2-10 | 18 | 49 |
| 10-20 | 22 | 19 |
| 20-40 | 21 | 10 |
| 40-100 | 17 | 4 |
| 100> | 18 | 1 |
| TOPLAM | 100 | 100 |

Uçucu külde 5-35 µm arasında taneler yer almaktadır. Buna göre uçucu kül TS 639 ve ASTMC 618' e göre F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül gurubuna girmektedir. Uçucu külün %82'si 100µm daha küçük tane boyutuna sahiptir. 400µm elekten %100'ü geçmiştir. Uçucu külün RD analizinde kuvars, mullit, hematit, albit mineralleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 Çalışmada Kullanılan Uçucu Kül ve Tuğla Kiline Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

| Oksit (%) | Kil | Uçucu Kül |
|---|---|---|
| $Al_2O_3$ | 20,80 | 20,58 |
| $SiO_2$ | 50,86 | 54,49 |
| NaO | 0,56 | 0,68 |
| $K_2O$ | 4,00 | 2,1 |
| CaO | 3,62 | 4,26 |
| $FeO_3$ | 7,08 | 9,27 |
| MgO | 1,98 | 4,48 |
| $SO_3$ | 1,27 | 0,52 |
| A.Kay. | 8,76 | 3,01 |

### 3.1.1 Deneylerde Kullanılan Araç ve Cihazlar

Test ve deneylerde kullanılan araç ve cihazlar ile test ve deneylerin tanıtılmasına bu bölümde yer verilmiştir. Test ve deneylerin uygulanmasında kullanılan cihaz ve araçlar aşağıda açıklanmıştır.

Öğütme İşleminde: Hammaddelerin öğütülmesinde açıklığı ayarlanabilen laboratuar tipi merdaneli ezici (vals), analizler için hazırlanacak numunelerin ince şekilde öğütülmesinde "havanlı seramik değirmeni" ve "jet seramik değirmeni" kullanılmıştır.

Yaş Elek Analizi İşleminde: Mikron altı elek sistemi kullanılmıştır.

Kuru Eleme İşleminde: “Matest A-60” model elek sarsma cihazı ve elek seti kullanılmıştır.

Kurutma İşleminde: Deneylerde kullanılan hammaddenin ve üretilen deney örneklerinin kurutulması işlemlerinde “Nüve marka FN 500 model”, otomatik termostatlı, dijital göstergeli, max 250ºC sıcaklıkta, monofaze, 100lt hacimli etüv kullanılmıştır.

Şekillendirme İşleminde: Deney örneklerinin üretilmesinde çapı 25 mm ve yüksekliği 50mm olan silindir çelik kalıp kullanılmıştır.

Tartım İşleminde: Hammaddenin kaba tartım işlerinde “Tarsan” marka maksimum 30kg kadar kapasiteli 10 gr hassasiyetli dijital göstergeli terazi kullanılmıştır. Hammaddenin hazırlanması esnasında; şekillendirilen, kurutulan örneklerin tartılmasında ve hassas tartım işlerinde “Shimadzu” marka bx 320H tip, 0,0001 gr hassasiyetli, dijital göstergeli “hassas terazi” kullanılmıştır.

Pişirme İşlemlerinde: Üretilen deney numunelerinin pişirilmesinde “Protherm” marka, 1300ºC sıcaklık ve 9 litre hacim kapasiteli, otomatik termostatlı, $\pm$ 5 ºC hassasiyetli, dijital göstergeli kül fırını kullanılmıştır.

Boyut Ölçüm İşlemlerinde: Numunelerin boyutlarını ölçmek için dijital göstergeli, 0,01 mm hassasiyetli “kumpas” kullanılmıştır.

Mikroskop İncelemelerde (SEM): Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde 250-300A’da ince altın filmle kaplanıp LEO VP-1431 model elektron mikroskobunda yapılmıştır.

Kil ve Uçucu Külün Tane Boyutu Analiz İşlemlerinde: “Lazer Tane Boyutu Analiz” cihazı kullanılmıştır.

### 3.1.2 Hammadde Hazırlama

Numune üretiminde kullanılacak kil Afyon’daki bir tuğla fabrikasından alınarak laboratuar tipi ezici ile ezildikten sonra 1mm’lik elekten geçirilerek hazırlanmıştır.

Deney örneklerinin üretiminde kullanılan tuğla kili ve uçucu külün kimyasal yapıları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Uçucu kül ise Kütahya'da bulunan Seyit Ömer Santralinden getirilerek hazırlanmıştır.

### 3.1.3 Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Deney numuneleri üretiminde tuğla kili çeyrekleme yöntemi ile gerekli miktarda alınarak 1mm açıklıklı valsli kırıcıda ezildikten sonra 1 mm' lik elekten elenerek hazırlanmıştır. Uçucu kül çeyrekleme yöntemi ile gerekli miktarda alınarak karışıma katılmıştır. Deneylerden karşılaştırmalı sonuçlar alabilmek amacı ile kil ve uçucu kül %0 ile %100 arasında değişen oranlarda karıştırılarak 6 farklı karışımda örnekler üretilmiştir (Çizelge 3.3 ).

Çizelge 3.3 Deney Örneklerinin Karışım Oranları.

| Numune Kodu | Kil | Uçucu Kül |
|---|---|---|
| N | 100 | - |
| A | 70 | 30 |
| B | 60 | 40 |
| C | 50 | 50 |
| D | 10 | 90 |
| E | - | 100 |

### 3.1.4 Çamur Hazırlama

Belirlenen oranlarda uçucu kül ve kil karışımlar etüv kurusu ağırlık esasına göre alınmıştır. Örnekler homojen kuru karışım haline getirildikten sonra üzerine su sprey edilerek nemlendirilmiştir. Örnek üretiminde gerekli nem oranı %8-10 arasında değişmiştir.

### 3.1.5 Şekillendirme

Örnek üretiminde çelik silindir kalıpta 25 mm çapında, 50 mm yüksekliğinde ve 100 kg/cm$^2$ pres basınç uygulanarak üretilmiştir. Her örnek serisinden yeterli sayıda örnek üretilmiştir.

### 3.1.6 Kurutma

Örnekler ortam sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra değişmez ağırlığa gelinceye kadar (ortalama 8 saat) 110ºC de etüvde kurutulmuştur. Kurutma sonunda örnekler ortam koşullarından etkilenmeden oda sıcaklığına (21 ºC) getirilmiş ve etüv kurusu ağırlıkları hassas terazide kaydedilmiştir.

### 3.1.7 Pişirme

Deney örnekleri 950-1000 ve 1100 ºC sıcaklıklarda dijital göstergeli kül fırınında normal atmosfer koşullarında ve 150ºC/saat pişirme hızı ile pişirilmiş ve son sıcaklıklarda 1 saat tutulmuştur. Her bir karışım ve sıcaklık için ortalama 15 er adet deney örneği belirtilen sıcaklıklarda pişirilmiştir. Pişirme sonunda numuneler ortam şartlarından etkilenmeden oda sıcaklığında (21 ºC) getirildikten sonra 0,0001 gr hassasiyetli terazide tartıları yapılmıştır.

# 4. BULGULAR

Bölüm 3'te belirtilen ve çalışmada kullanılan kil ve uçucu kül hammaddesi karışımı ile üretilen altı farklı örnek üzerinde uygulanan porozite, bulk yoğunluk, görünür yoğunluk, su emme, basınç dayanımı,ve zararlı kireç manyezi analiz ve testleri yürütülmüştür. Here bir test için ortalama 10 adet örnek kullanılmıştır. Fiziksel testler Arşimet Prensibi esasına göre yürütülmüş, basınç dayanımını ölçülmesinde bilgisayar kontrollü basınç presi kullanılmıştır.

## 4.1 Fiziksel Bulgular

Elde edilen fiziksel sonuçlar Şekil 1-2-3 ve 4'te verilmiştir. Bu çizelgelerde serilerin; Porozite, bulk yoğunluk, görünür yoğunluk ve su emme değerleri verilmiştir.

Bu hesaplamaların yapılmasında aşağıdaki metot uygulanmıştır.

**1.** Numuneler suya konularak 24 saat su emmesi için su içinde bekletildi. Basit düzenek oluşturularak Arşimet Prensibine göre numuneler su dolu bir kaba yerleştirilerek sudaki ağırlıkları ölçüldü. **(W2)**

**2.** Daha sonra bu numuneler sudan çıkartıldı ve bünyesi su doluyken havadaki ağırlıkları ölçülerek kaydedildi. **(W3)**

**3. N**umuneler kurutulmak üzere etüve konuldu. Etüvde etüv kurusu haline getirilen numuneler tartılarak etüv kurusu ağırlıkları elde edildi. **(W1)**

Bu değerler 950-1000-1100ºC sıcaklıklar için tekrarlandı. Bulunan değerler formüllere yerleştirilerek porozite, bulk yoğunluk,görünür yoğunluk ve su emme değerleri hesaplandı.

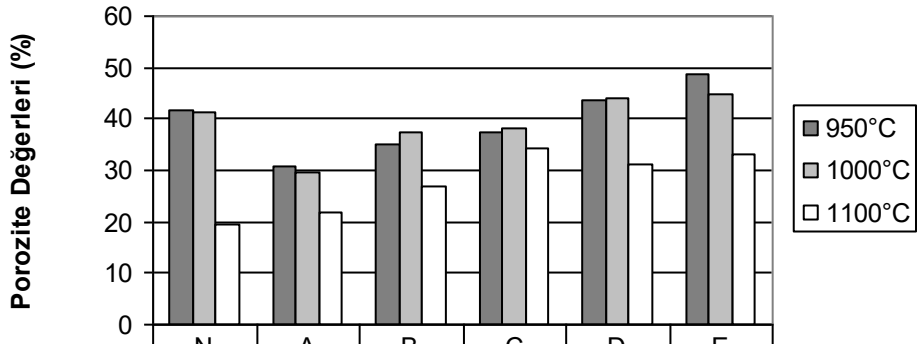
### 4.1.1 Porozite Değerleri

Örneklerin porozite değerlerinin bulunmasında aşağıdaki formül uygulanmıştır:

$$(\%)\,\text{Porozite} = \frac{(W3 - W1)}{(W3 - W2)} x100 \qquad (4.1)$$

Farklı yüzde oranlarına göre karıştırılarak, hazırlanarak, üretilen ve 950, 1000 ve 1100ºC 'de pişirilen deney numunelerine uygulanan porozite değerleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre; 950 ºC deki porozite değerleri %30,71 ile % 48,60 arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkta porozitenin yüksek değerlerde olması pişmiş bünyede yeterli sinterlenmenin gerçekleşmediğinden kaynaklanmaktadır. 1000 ºC de ise porozite değerleri 950 ºC ye göre nispeten küçülmüş ve en küçük % 29,74 ve en yüksek porozite değeri % 44,69 olarak elde edilmiştir. 1100 ºC de ise porozite değerleri diğer sıcaklık değerlerine göre belirgin olarak azalmış, en küçük % 19,61 ve en yüksek % 33,2 olarak gerçekleşmiştir. 1100 $^{0}$C'de bünyede daha fazla miktarda camsı faz oluştuğu SEM resimlerinde görülmektedir (EK 1c ve d). 1100 ºC de bünyede daha fazla miktarda camsı faz oluşması ve açık gözeneklerin kapanması sonucu porozite değerlerinde azalma gerçekleştiği düşünülmektedir. Benzer sonuçlar başka araştırmalarda da gözlenmiştir ( Evcin vd. 2001, Demir vd. 2002 ).

Şekil.4.1 Örneklerin Farklı Sıcaklıklardaki Porozite Değerleri (%)




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 41,76 | 30,71 | 35,01 | 37,31 | 43,73 | 48,6 |
| 1000°C | 41,39 | 29,79 | 37,49 | 38,1 | 43,9 | 44,69 |
| 1100°C | 19,61 | 21,93 | 27 | 34,3 | 31,1 | 33,2 |

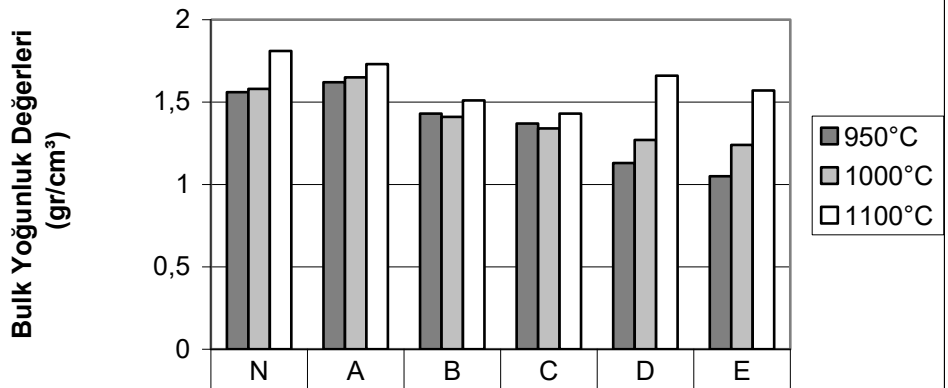
### 4.1.2.Bulk Yoğunluk Değerleri

Örneklerin bulk yoğunluk değerlerinin bulunmasında aşağıdaki formül uygulanmıştır:

$$\text{Bulk Yoğunluk} = \frac{W1}{W3 - W2} \tag{4.2}$$

Bulk yoğunluk değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Buna göre; bu değerler 950 ºC de 1,05 gr/cm³ ile 1,62 gr/cm³ arasında değişmektedir. 1000 ºC de ısının artması ile sinterlenmenin artması ile birlikte gözeneklerin 950 ºC ye göre nispeten kapanması sonucu bulk yoğunluk değerlerinde artış gözlenmiştir. 1100 ºC de ise bu değerler belirgin olarak artmış ve en küçük 1,43 ve en yüksek 1,81 olarak gerçekleşmiştir. Uçucu kül bulk yoğunluk değerinde nispi bir azalmaya sebep olmuştur. Buna uçucu kül tane yapısının gözenekli yapısının neden olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.2 Örneklerin Bulk Yoğunluk Değerleri (gr/cm³)




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 1,56 | 1,62 | 1,43 | 1,37 | 1,13 | 1,05 |
| 1000°C | 1,58 | 1,65 | 1,41 | 1,34 | 1,27 | 1,24 |
| 1100°C | 1,81 | 1,73 | 1,51 | 1,43 | 1,66 | 1,57 |

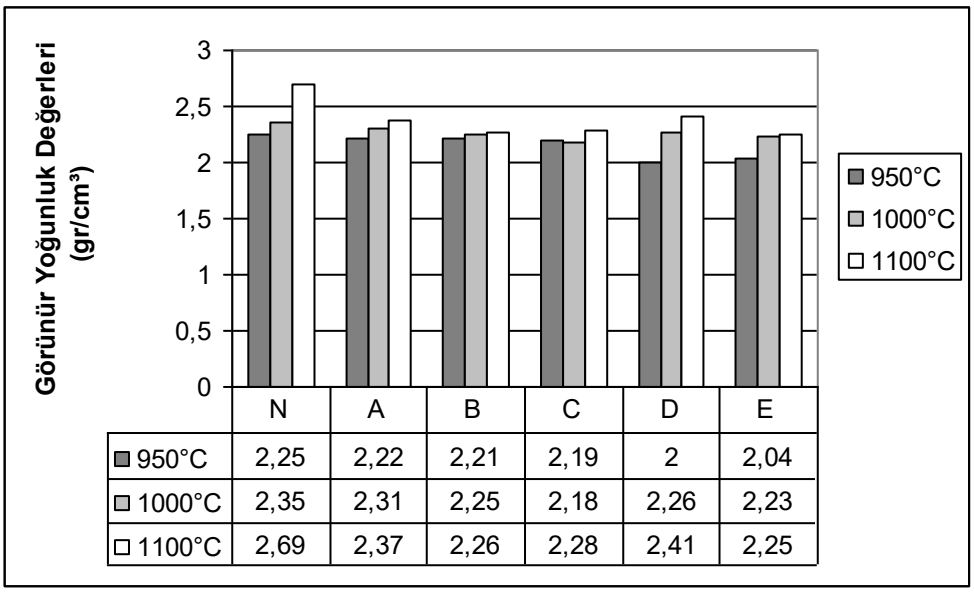
### 4.1.3 Görünür Yoğunluk Değerleri

Örneklerin görünür yoğunluk değerlerinin bulunmasında aşağıdaki formül uygulanmıştır:

$$\text{Görünür Yoğunluk} = \frac{W1}{W1 - W2} \tag{4.3}$$

Görünür yoğunluk değerleri de aşağıda Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre; bu değerlerin ortaya çıkmasında iki parametre etkili olmuştur. Buna göre karışıma giren uçucu kül miktarındaki artış görünür yoğunluk değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. İkinci etken de pişirme sıcaklığı olup, sıcaklık artışı görünür yoğunluk değerlerini arttırmıştır. Buna artan pişirme sıcaklığı ile birlikte bünyede kapalı gözeneklerin küçülerek toplam katı hacminin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Benzer başak çalışmada da buna paralel sonuçlar elde edilmiştir (Demir vd. 2005).

Şekil.4.3 Örneklerin Görünür Yoğunluk Değerleri (gr/cm³)




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 2,25 | 2,22 | 2,21 | 2,19 | 2 | 2,04 |
| 1000°C | 2,35 | 2,31 | 2,25 | 2,18 | 2,26 | 2,23 |
| 1100°C | 2,69 | 2,37 | 2,26 | 2,28 | 2,41 | 2,25 |

## 4.2 Su Emme Değeri

Örneklerin su emme değerlerinin bulunmasında aşağıdaki formül uygulanmıştır:

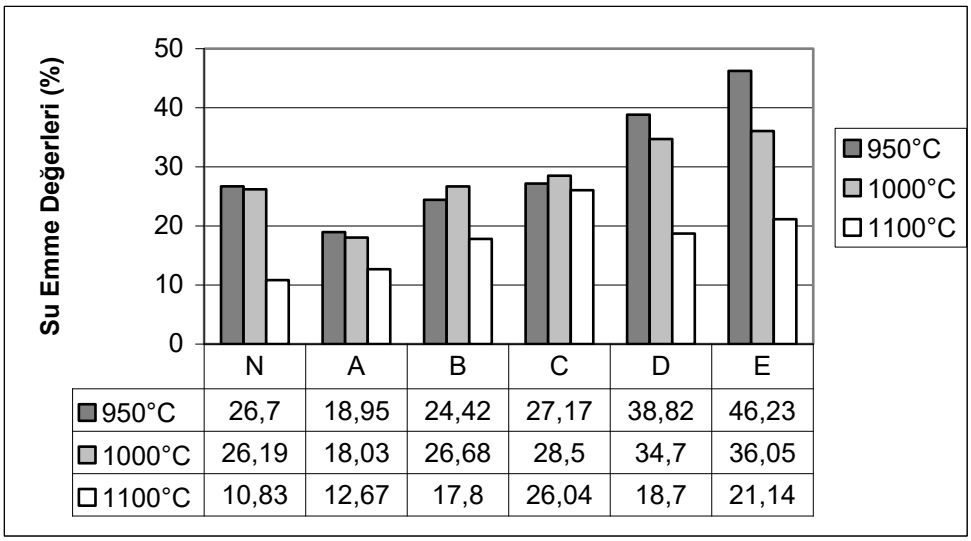
$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W3 - W1}{W1} x100 \qquad (4.4)$$

Örneklerin su emme değeri Şekil 4.4'te verilmiştir. Su emme değeri; 950 ºC de en küçük (A) serisinde %18,95 ve en büyük (E) serisinde %46,23 olarak elde edilmiştir.

1000 ºC de en küçük (A) serisinde %18,03 ve en büyük (E) serisinde %36,05 olarak elde edilmiştir.

1100 ºC de en küçük (N) serisinde %10,83 ve en büyük (C) serisinde %26,04 olarak elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta su emme değerleri belirgin bir şekilde düşerek bu değerlere ulaşmıştır. Bunun nedeni 1100 ºC de sinterlemenin optimum seviyede tamamlanarak açık gözenek oranın en aza inmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil.4.4 Örneklerin Su Emme Değerleri (%)

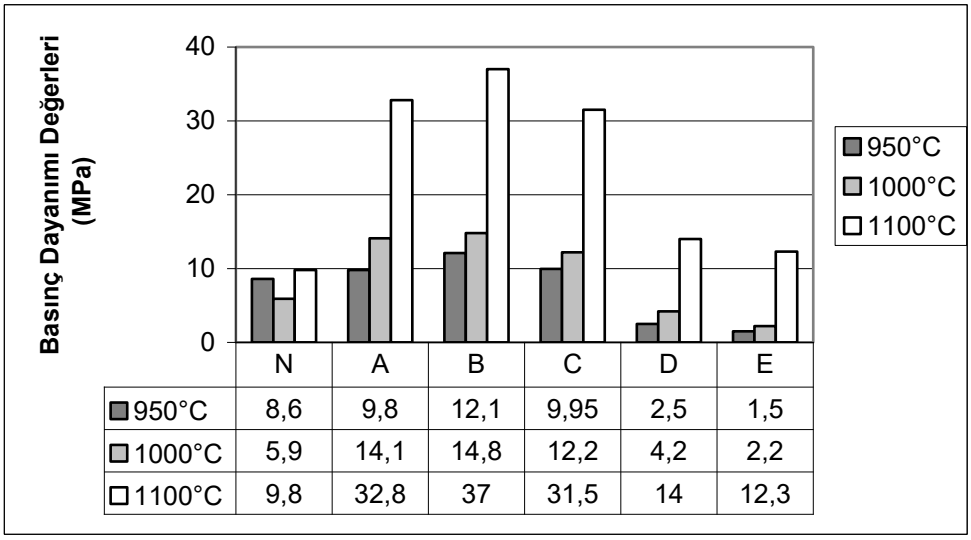



| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 26,7 | 18,95 | 24,42 | 27,17 | 38,82 | 46,23 |
| 1000°C | 26,19 | 18,03 | 26,68 | 28,5 | 34,7 | 36,05 |
| 1100°C | 10,83 | 12,67 | 17,8 | 26,04 | 18,7 | 21,14 |

### 4.3 Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)

Afyon'daki laboratuarda yeterli teknik donanım olmadığından Gazi Üniversitesi laboratuarından faydalanılarak basınç dayanımını ölçülmesinde bilgisayar kontrollü basınç presi kullanılmıştır.Örneklerin basınç dayanımı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Katkısız (N) serisinde belirgin artış olmazken uçucu kül katkılı serilerde belirgin artış meydana çıkmıştır. Tamamı uçucu külden oluşan E serisinde 950 ve 1000 ºC de düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Buna karşı 1100 ºC de çarpıcı biçimde artış göstererek %100 kil katkılı N serisinden daha yüksek basınç değerleri elde edilmiştir. 1100 ºC de sinterlenen ve %100 uçucu külden oluşan E serisi örneklerde %100 kilden oluşan N serisi örneklere göre daha yoğun bünye oluştuğu SEM incelemesinden gözlenmektedir (EK:1).

Şekil.4.5 Örneklerin Basınç Dayanımı Değerleri (MPa)




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 8,6 | 9,8 | 12,1 | 9,95 | 2,5 | 1,5 |
| 1000°C | 5,9 | 14,1 | 14,8 | 12,2 | 4,2 | 2,2 |
| 1100°C | 9,8 | 32,8 | 37 | 31,5 | 14 | 12,3 |

*TS 705: min. Basınç dayanımı: % 5 MPa.

## 4.4 Ateş Zayiatı Değerleri

$$A_z = \frac{Wk - Wf}{Wk} x100 \qquad (4.5)$$

$A_z$ : Ateş Zaiyatı (%)

$W_k$ : Numunenin Pişmeden Önceki Kuru (Etüv Kurusu) Ağırlığı (gr)

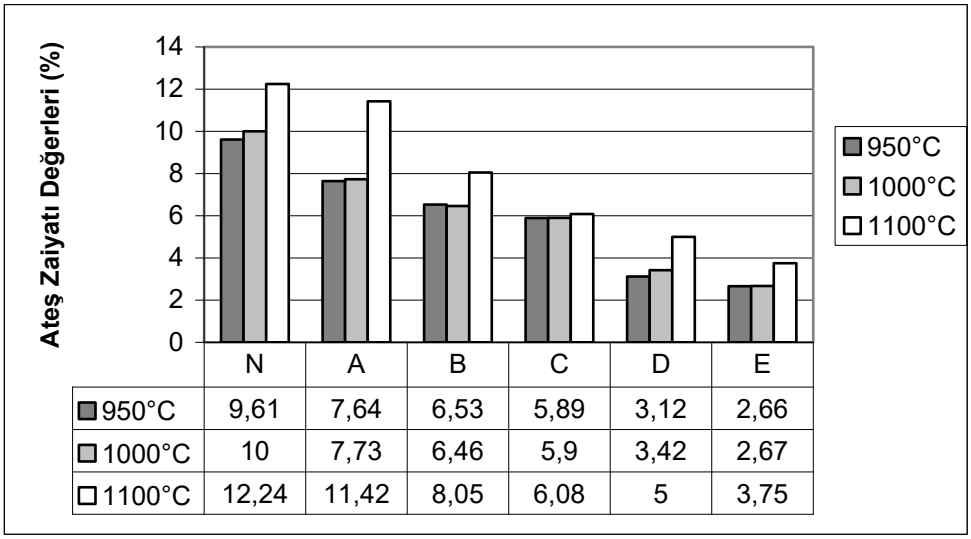
$W_f$ : Numunenin Pişmiş Ağırlığı (gr)

Standart şekillerde hazırlanan numuneler (25x25x115 mm), 110 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra desikatöre alınarak soğutulur. Oda sıcaklığına kadar soğuyan numuneler desikatörden alınarak zaman kaybetmeden hassas terazide tartımları yapılarak kaydedilir.

Numuneler pişirme fırınına konularak normal pişirme şartlarında 950-1000-1100 °C'ler de pişirilir. Pişirme sonunda fırından alınan numuneler desikatöre konularak oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılır. Desikatörden alınan numuneler zaman kaybetmeden tekrar hassas terazide tartılarak pişmiş ağırlıkları belirlenir.

Örneklerin ateş zayiatı değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu değerler 950 ºC'de en küçük %2,66 ve en yüksek % 9,61 olarak tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte bu değerler yükselmiştir. Sıcaklık artışı ile yükselerek 1100 ºC'de %3,75 ile %12,24 arasında değerlere ulaşmıştır. Buna göre karışıma giren uçucu kül arttıkça ateş zayiatı değerinde azalma gerçekleşmiştir. Pişme sıcaklığındaki artış ise ateş zayiatı değerlerini arttırmıştır. Bunun başlıca nedeninin karışıma giren kil miktarındaki artış ile birlikte karışımdaki organikler ve karbonatların artmasının neden olduğu düşünülmektedir.

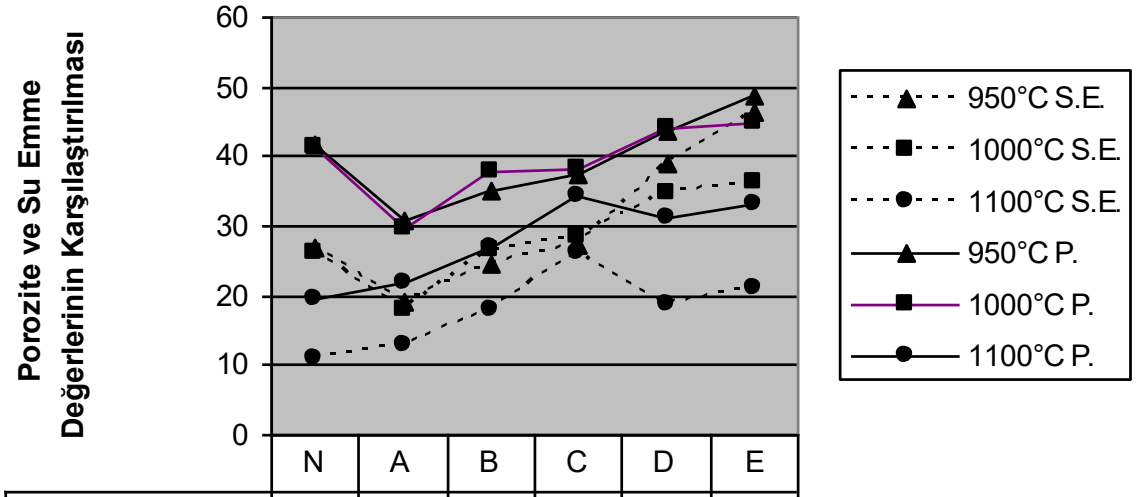
Şekil.4.6 Örneklerin Ateş Zaiyatı Değerleri (%)




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C | 9,61 | 7,64 | 6,53 | 5,89 | 3,12 | 2,66 |
| 1000°C | 10 | 7,73 | 6,46 | 5,9 | 3,42 | 2,67 |
| 1100°C | 12,24 | 11,42 | 8,05 | 6,08 | 5 | 3,75 |

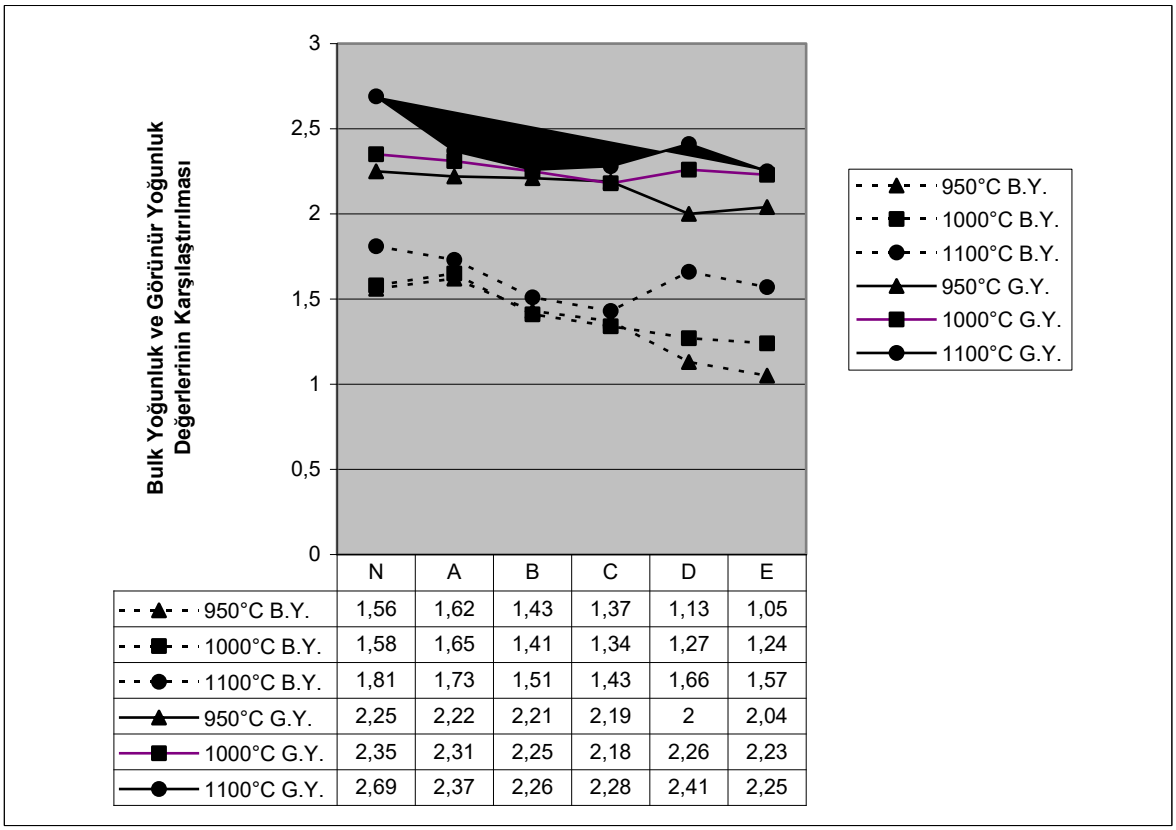
### 4.5 Karşılaştırmalı Şekiller

Şekil 4.7 Örneklerin Porozite ve Su Emme Değerlerinin Karşılaştırılması




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C S.E. | 26,7 | 18,95 | 24,42 | 27,17 | 38,82 | 46,23 |
| 1000°C S.E. | 26,19 | 18,03 | 26,68 | 28,5 | 34,7 | 36,05 |
| 1100°C S.E. | 10,83 | 12,67 | 17,8 | 26,04 | 18,7 | 21,14 |
| 950°C P. | 41,76 | 30,71 | 35,01 | 37,31 | 43,73 | 48,6 |

Şekil 4.8 Örneklerin Bulk Yoğunluk ve Görünür Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması




| | N | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 950°C B.Y. | 1,56 | 1,62 | 1,43 | 1,37 | 1,13 | 1,05 |
| 1000°C B.Y. | 1,58 | 1,65 | 1,41 | 1,34 | 1,27 | 1,24 |
| 1100°C B.Y. | 1,81 | 1,73 | 1,51 | 1,43 | 1,66 | 1,57 |
| 950°C G.Y. | 2,25 | 2,22 | 2,21 | 2,19 | 2 | 2,04 |
| 1000°C G.Y. | 2,35 | 2,31 | 2,25 | 2,18 | 2,26 | 2,23 |
| 1100°C G.Y. | 2,69 | 2,37 | 2,26 | 2,28 | 2,41 | 2,25 |

## 5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışmada elde edilen sonuçlara ve önerilere bu bölümde yer verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı Seyitömer Termik Santrali (Kütahya- Türkiye) uçucu külünün sinterleme özelliklerini belirlemek amacı ile deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada kullanılacak olan kil ve uçucu külün mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edildi. Bu amaçla uçucu küle belli oranlarda tuğla kili katılarak ve kil katılmaksızın tamamen uçucu külden oluşan deney örnekleri üretilerek farklı sıcaklıklarda pişirildi. Pişmiş örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütüldü. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Şekillendirilen örneklerde herhangi bir kuruma arızasına rastlanmadığı gözlenmiştir. Pişme sonrası deney örnekleri incelenmiş ve kırılma, dağılma, çatlama vb. pişirme arızalarının oluşmadığı tespit edilmiştir.

2. 950 °C'de porozite değerleri %30,71 ve %48,60 arasında değişmiştir. Bu sıcaklıkta porozitenin yüksek olmasının sebebi pişmiş bünyede yeterli sinterlenmenin gerçekleşmediğinden kaynaklanmıştır. 1000 ° C'de ide porozite değerleri en küçük %29,74 ve en yüksek %44,69 olarak belirlenmiştir. Bu değerler 950 ° C'ye göre nispeten küçülmüştür. 1100 °C' de ise porozite değerleri en küçük %19,61 ve en yüksek %33,2 olarak elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta; diğer sıcaklıklara oranla porozite değerleri belirgin olarak azalmıştır. Bünyedeki camsı fazla miktarın optimum düzeye ulaştığı SEM görüntülerinde gözlenmektedir.

3. Bulk yoğunluk değerleri 950 °C de 1,05 g/cm³ ile 1,62 g/cm³ arasında değişmiştir. 1000 °C de sinterlemenin artmaya başlaması ile birlikte gözeneklerin kapanması sonucu bulk yoğunluk değerinde artış gözlenmiştir. 1100 °C de ise bulk yoğunluk değeri belirgin olarak artmış en küçük 1,43 ve en yüksek 1,81 g/cm³ olmuştur.

4. Örneklerin görünür yoğunluk değerlerini 2 parametre etkilemiştir. Buna göre karışıma giren uçucu kül artışı görünür yoğunluk değerlerini azaltmıştır. İkinci

etken olan pişirme sıcaklığı bünyede kapalı gözeneklerin küçülerek toplam katı hacminin artmasına sebep olmuştur.

5. Örneklerin ateş zayiatı değerleri 950 °C'de en küçük iken sıcaklık artışı ile birlikte artış göstermiştir. İkinci etken ise karışıma giren uçucu kül miktarıdır. Buna göre karışımdaki uçucu kül arttıkça ateş zayiatı değerlerinde azalma gerçekleşmiştir.

6. Su emme değerleri en küçük (A) serisinde, en büyük (E) serisinde gerçekleşmiştir. Sıcaklığın artması ile birlikte 1100 °C de en küçük %100 kil olan örnekte, en yüksek olarak da %50 kil+%50uçucu kül karışımında ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi ise; 1100°C de sinterlemenin optimum seviyede tamamlanarak açık gözenek oranının en aza inmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

7. Basınç dayanımı değerleri uçucu kül katkılı serilerde belirgin artışlar ortaya çıkmıştır. Tamamı uçucu külden oluşan (E ) serisinde 950 ve 1000 °C de düşük dayanım değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık 1100 °C'de çarpıcı bir biçimde artış göstererek %100 kil katkılı (N) serisinden daha yüksek basınç değeri elde edilmiştir. Basınç dayanımları TS 705/1985 ve ASTM C216'daki değerlerle karşılaştırılmıştır.

Uçucu kül, pişmiş ürünün porozite değerlerini artırmıştır. Porozitenin artması bulk yoğunluk değerlerinde azalmaya, su emme değerlerinde ise artışa yol açmıştır. Pişme sıcaklığının artması, görünür yoğunluk değerlerinde artışa neden olmuştur. Buna sinterleme sonucu camsı faz miktarındaki artış ile kapalı gözeneklerin küçülmesinin neden olduğu düşünülmektedir. Uçucu kül oranı %90 ve %100 olan D ve E serilerinde 950 $^{0}$C ve 1000 $^{0}$C sıcaklıklarda TS 705'te yapı tuğlaları için verilen minimum 5 MPa basınç dayanımları elde edilememiş, 1100 $^{0}$C'de ise çarpıcı biçimde mukavemet artışı gerçekleşmiştir. Diğer serilerde bütün sıcaklıklarda elde edilen mukavemet değerleri TS 705'e uygun gerçekleşmiştir.

Uçucu kül ateş zayiatı değerlerinde azaltıcı etki göstermiş, pişme sıcaklığının artması ile birlikte ateş zayiatı değerlerinde kısmi artışlar kaydedilmiştir.

Sonuç olarak uçucu kül tek başına başka katkı olmaksızın yapı tuğlası üretiminde kullanılabileceği gibi, belli oranlarda tuğla kili ile karışım yapılarak ta kullanılabilecektir. Bir atık olan uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması ile tuğla kili kullanımı azalacaktır. Türkiye'de tuğla kilinin çoğunlukla alüvyon ova konumundaki tarım arazilerinden sağlandığı dikkate alındığında elde edilen sonuçların önemli olduğu düşünülmektedir.

## 5.1 Öneriler

Bu çalışma ile; Uçucu kül tek başına katkı olmaksızın veya kil ile katkılı olarak yapı tuğlası üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Uçucu küllerin yapı tuğlası olarak geri dönüşümü ile inşaat sektörüne benzerlerine göre oldukça ucuz ve bol hammadde kaynağı sağlanmış olacaktır.

Yılda 13 milyon ton olan uçucu külün önemli bir bölümü kullanım alanı bularak geri dönüşümü sağlanacaktır. Uçucu kül kullanımı ile tuğla kili kullanımı azalarak doğal çevrenin ve tarım alanlarının bozulması engellenmiş olacaktır.
Uçucu külün tuğla hammaddesi kullanılabilmesi ile yeni depolama alanlarına gerek duyulmayacak, doğal çevreye vermesi muhtemel zararlar engellenmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR


Acarsoy, A., 1983, "Seramik Teknolojisi", Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayını, sy 12-136, İstanbul.

Acarsoy, A., 1986, "Seramik Teknolojisi ", Marmara Üniversitesi Yayınları,

sy 46-108.

ACI Committee 226, 1987, "Use of Fly Ash in Concrete" ACI Materials Journal, V.84, No: 5, pp 381- 409.

Adam, J. - P., 1994, "Roman Bulding (Materials and Tecniques) Batsford Ltd", pp 58-65, London.

Akın, Y., Çelik, A., 1993, "Montmorillonit Tipi Killerin Eloktrokinetik Davranışı" Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Müh. Fakültesi, İzmir.

Aksel, C., Kalemtaş, A., 2002, "Kaolin'den Müllit Eldesi", II. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu, Anadolu Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, sy 125-127, Eskişehir.

Avery, T. H., Berlin G. L., 1985, "Fundametals of Remote Sensing and Air Photo Interpertation", Macmillian.

Barshad, I., 1952, "Factor Affecting the Interlayerexpansion of Vermiculite and Montmorillonite with Organic Subtances", Soil Sci. Amer. Proc., No: 16, pp 176-182.

Başoğlu, K., 1996, "Osmancık'ta Örnek Bir Sanayici Musatfa SOYLU Konulu Röpertaj", Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi, Sayı:3, Görkem Reklam Tanıtım, sy 1, Manisa.

Bayat, O., 1998, “Characterisation of Turkish Fly Ash, Fuel”, V. 77, No: 9-10, pp 1059-1066.

Bozkurt, R. A., 1992, “Mineral Tanıtma El Kitabı”, Anadolu Üniversitesi Yayını, sy 13-26, Eskişehir.

Crains-Smith, A. G., 1985, “The First Organisms. Sci. Amer.”, V. 252 (6), pp 74-82.

Crains-Smith, A. G., Walker, G. L., 1974, “Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life. Biosystems”, V. 5, pp 173.

Çeçen, O., 2000, “Afyon Çobanlar Yöresi Tuğla Toprağına Mermer Tozu Katkısının İncelenmesi”, Bitirme Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

Çelen Öztürk, A., 2001, “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolonik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma”, Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çolak, M.,1999, “Etibank Kırka Boraks İşletmesi Atıklarının Turgutlu Killeri ile Tuğla Kiremit Denemesi”, Tuğla Kiremit Endüstrisi Dergisi, Yıl: 2, Say.7 sy 10-16.

Çokca, E., 1998, “Frost Susceptibility Properties of Soma –B Fly Ash, Jourrnal of Energy Engineering”, V. 123, No:1, pp 1-10.

Danchin, A. L., 1988, “Orgine de la Vie, La recherch”, V. 201, 878-886.

Demir, İ., 1995, “Afyon Çobanlar Bölgesi Killerinin Tuğla Yapımına Uygunluğunun Araştırılması”, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Bl., Ankara.

Demir, İ., Başpınar, S., 2003, “Ahşap Talaş Tozu Katkının Hafif Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması”, III. Uluslararası Pişmiş Toprak

Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, sy 354-359, Eskişehir.

Demir, İ., Evcin, A., Yıldız, A., 2002, " Diyatomit Katkının Yapı Tuğlası Üretiminde Kullanılması", II. Uluslar arası Pişmiş Toprak Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi ve Mühendislik Fakültesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, sy 119-124.

Demir İ, Erten E., Ö., Başpınar, M., S., Orhan M., "Uçucu Külün Tuğla Killerinin Sinterleme Özelliklerine Etkisi" 4. Uluslar Arası Toz Metalurjisi Konferansı, 2005, Sakarya.

Demir, İ., Orhan, M., Erol, A.ve Dorum, A., Tuğla Killerinde Sinterleme Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi, 3. International Powder Metallurgy Conference, 4-7 Eylül Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.

Evcin, A., Demir, İ., Afyon Tuğla Killerinin Optimum Pişirme Sıcaklıklarının Belirlenmesi, 1. Uluslararası Eskişehir Pişmiş Toprak Sempozyumu, Eskişehir, Bildiriler Kitabı, s 152-158 , 2001.

Doğan, Ş., 1993, "Açıklamalı Seramik Teknolojisi", Birsen Yayınevi, sy 1-143.

Dökmen, L., 1997, "Salihli ve Turgutlu'dan alınan Tuğla- Kiremit Hammaddelerine Uygulanan Analizler ve Sonuçları", Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Erdoğan, S., 1994, "İnşaat Tuğlası Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Etkilerinin İncelenmesi", İ.T.Ü., Kimya Metalürji Fakültesi, İstanbul.

Evcin, A., Demir,İ., 2001, "Afyon Tuğla Killerinin Optimum Pişme Parametrelerinin Belirlenmesi", I. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü- Yapı Öğretmenliği Bölümü, sy 152-158, Eskişehir.

Fuller, W. B., Thompson, S. E., 1907, “Proc. Amer. Soc. Civil Engr.”, V. 33, pp 222.

Glen Gery, 1998, “Corporation, The Brick Making Proses”, ttp:// www. Glen gery brick.com/nf/company/manufacturing/making/html. 21.05.2004

Gökgöz, G., 1996, “Karo Seramik Üretim Teknolojisi”, Lisans Tezi, İ.T.Ü., Metalürji Fakültesi, İstanbul.

Görçiz, G., 2000, “Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi, 2000’li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar için Tuğla- Kiremit Paneli”, TUKDER, Ankara.

Grim R.E., 1962, “Applied Clay Mineralogy”, Mc Graw- Hill, New york.

Güvercin, M.(1994), “ Mevcut ve Yeni Standart İle İmalat Özellikleri Bakımından”, Anadolu Üniversitesi Tuğla Standardizasyonu Araştırma Projesi, Yayın No.1, Eskişehir.

Güzel, A.,1993, “Ponza Katkılı Tuğla Üretimi ve bu Tuğlaların Mekanik ve Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hamzaoğlu, A., 1998, “Seyitömer (Kütahya) kömür işletmesi ve elektrik santralinin uçucu kül depolama sahasından kaçan tozların çevreyi etkileme outansiyelinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, s 112, Fen Bilimleri Enstitüsü, ODTÜ, Ankara.

Hewlett, P.C., 1998, “Lea’s Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition”, Arnold.

Hulusi, Ö., Kural, S., 1997, “ Endüstriyel Atıklardan Desülfojips ve Uçucu Külün Bağlayıcı Malzeme Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sy 197-207, Eskişehir.

Kılıç, R., Arslan, M., 1989, “Tuğla-Kiremit Hammaddesi Araştırmaları”, Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, C. 4, No1-2, sy 13-23,Ankara.

Kaytaz, Y., 1997, “Seramik ve Tuğla Hammaddelerinin Hazırlanması”, Ders Notu, İ.T.Ü., Maden Fakültesi, İstanbul.

Kılıçoğlu Kiremit ve Tuğla Fabrikası Yetkilileri, 2004, “Sözlü Bilgileri”, Eskişehir.

Kibici, Y., 2002 , “ Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri”, Afyon.

Klinefeller, T.A., Hamlin, H. P., 1947, “Syllabus of Clay Testing, Bureau of Minnes”, Bulletin, pp 565, USA.

Köktürk, U., 1993, “Endüstriyel Hammaddeler”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayın No. 205, sy 250-266, İzmir.

Kumar, S., 2002 “Perspective study on fly ash- lime-gypsum bricks and hollow blocks for low cost housing development”, Construction and Building Materials, V. 16, pp 519-525.

Kumar, S., 2003, “Fly ash-lime- phosphogypsum hollow blocks for walls and partitions, Building and Environment”, V. 38, pp 291-295.

Kurban, D., 1992, “Mimarlık Kavramları”, YEM yayınları, 4. baskı, sy 36-37, İstanbul.

Kurşun, İ., İpekoğulu, B., 1995, “Türkiye Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İstanbul Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, sy 169-173, İzmir.

Laszio, P., 1990, “Les argiles en chimie organique, La recherche”, V. 219, pp 314-323.

47. Lav, H. Ve Lav, A.(May 2000), “Microstural Development of Stabilized Fly Ash as Pavement-Base Material, Journal of Materials in Civil Engineering”, Vol: 12, No. 2, pp: 157-163.

Lea, F., 1980, “Lea’s Chemistry of cement and concrete”, Jhın Wiley& Sons, London.

Malayoğlu, U., Akar, A., 1995, “Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Bornova / İzmir.

Mörtel H., Distler P., 1991, “Use of fly ash in the production and process optimization of backing bricks Part I, Ziegel International”, V. 8, pp 424-428.

Özgen, S., 1997, “Geleneksel Seramik Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler”, Ders Notu, İ.T.Ü., Metalürji Fakültesi, İstanbul.

Özgür, E., 2001, “Tuğla ve Kiremit İşletmelerinin Swot Analizi, Finansal Açıdan Değerlendirilmesi ve Afyon Uygulaması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, sy 132, Afyon.

Özışık, G., 1987, “Mevcut ve Yeni Standartlar İle İmalat Özellikleri Bakımından Tuğla”, Anadolu Üniversitesi-Eğitim Sağlık Bilimsel Araştırmaları Vakfı Tuğla Standardizasyonu Araştırması Projesi, No: 2, sy 237, Eskişehir.

Özkul, H., Koral, S., 1995, “Afşin Elbistan Uçucu Küllerinin Tuğla Blok Elemanı Üretiminde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sy 15-25, Ankara.

Öztürk, S., 1998, “Perlitli Borakslı Tuğlalarda Boraksın Tuğla İçindeki Davranışının Belirlenmesi Üzerine Yapılan Hazırlık Deneyleri”, Tuğla Kiremit Endüstrisi Dergisi, Yıl:2, Sayı: 6, sy: 45-48.

Pancar, Y., 1997, “Tuğla Kiremit Endüstrisinde Pişmiş Atıkların Yeniden Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması”, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Müh. Ana Bilim Dalı, Yük. Lis. Tezi, Eskişehir.

Pimraksa K., Wilhelm M. , Wruss W., 2000, “A new approach to the productıion of bricks made of 100% fly ash, Tile and Brick Int. ”, V.16, no.6, pp 428-432.

RILEM Committee 73-SCB, 1988, “Final Report on Siliceous by products for Use in Concrete”, Materials and Structures, V.21, No: 121, s 69-80.

Roth, L. M, 2002, “Mimarlığın Öyküsü”, Kabalcı Yayınevi, s 552-556, İstanbul.

Satapathy, L. N., 1986, “A Study On The Mechanicial Abrasion and Microstructural Properties of Zirconia- Fly Ash Materials”, Elsevier, Ceramics İnt., V. 39, No: 3, pp 137-141.

Scmidt, C. R., 1990, “Suggestions for the reduction of bulk density through addivitives”, Tile and Brick Int., V. 6 ,No 3, pp 23-27.

Silica Fume, 1987, “ACI Material Journal”, pp 159-166.

Sönmez, E., Yorulmaz, S., 1995, “Kırka Boraks İşletmesi Artık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliliğinin Araştırılması”, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak.-Maden Mühendisliği Bölümü, s 163-167, İzmir.

Tanaçan, L., 2000, “Genleşmiş Perlit, Cam Tozu ve Bor Bileşikli Katkıların Hafif Duvar Tuğlası Üretimindeki Etkilerinin Araştırılması”, Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi, Yıl:1, Sayı: 2, s 48-56.

Tanışan, H. H., Mete, Z., 1986, “Seramik Teknolojisi ve Uygulaması ”,C.I.

Thompson, M. L., Mc Bride, J. F., Horton R., 1985, “Efects of Drying Treatements on Porosity of Soil Materials, Soil Sci. Am. J”, V. 19, pp 1360-1364.

Tolon, C., 1973, “Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerine Katkı”,, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Ensititüsü, İstanbul.

Toydemir, N., 1978, “Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim kaynaklarının Araştırılması”, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

Toydemir, N., 1991, “Seramik Malzemeler”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 2. baskı, İstanbul.

TS 639 , 1998, “Uçucu Küller”, Türk Standartları Enstitüsü.

TS 4790, 1986, “Anonim, Tuğla ve Kiremit Toprakları Deney Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü Ankara.

TS EN 197-1, 2002, “Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 450, 1998. “Uçucu Kül- Betonda Kullanılan- Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü”, Türk Standartları Enstitüsü.

Türker P., Erdoğan B:, Katnaş F., Yeğinobalı A., 2003, “Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

Türkiye Ticaret Odaları Sanayi Odaları ve Ticaret Borsaları Birliği, 1958, “ Türkiye’de Tuğla Kiremit ve Seramik Sanayi”, sy 41, Ankara.

Tütünlü, F. , Atalay, Ü., 2001, “Utilization of Fly Ash İn Manufacturing of Building Bricks”, International Ash Utilization Symposıum, USA.

Uchida, S., Ichikwa, K 1998, “High Temparuture Properties of Unburned MgO-CBricks Containing Al and Si Powde”rs , Journal of The American Ceramic Society, V. 81, No. 11, pp 2910-2916.

Probaha, A., Pradhan, T.B.S., Yamane, N., 2000, “Time Effect on Shear Strenggggth and Permability of Fly Ash, Journal of Energy Engineering”, V. 126, No.1, pp 15-31.

Vasic, R., Lalic Z., Nesic L., 2002, “ Possibilities of producing sintered bricks from mixtures of plastic clay and fly ash. ”, Key Eng. Mater., Vol .206-213, pp 1771-1774.

Wesche, K., 1991, “Fly Ash in Concrete”, Chopman B. Hall, LONDON:

Worrall, W. E., 1986, “ Clays and Ceramic Row Materials”, Elsevier Applied Science Publishers, London.

Yeğinobalı, A., Öztok, İ.,1997, “Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Taşıyıcı Bims Betonları”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, sy 73-95, Eskişehir.

Yıldırım, B., Alataş, T., 1997, “Afşin- Elbistan Termik Santrali Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonun da Kireç ile Birlikte Kullanımı”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler E Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisler Odası, s 21-35, Eskişehir.

Yıldız, A., 2003, “Seramik Killeri ve Özellikleri”, Doktora Semineri III, Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalı, Isparta

Yıldız, A., 2003, “Bentonitlerin Teknolojik Özelliklerini Belirleme Yöntemiyle Kullanım Alanlarının Tespiti”, Doktora Semineri IV, Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalı, Isparta

Yılmaz, S. G., 1994, “Killerinin Jeokimyasal Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yiğit, E., 1997, “Tuğla Kiremit Toprakları”, ftp://ftp. DPT. Gov. Tr/ pub/ ekutup 96/* ,Ankara.

Yücel, E., 1997, “Tuğla ve Kiremit Üreticileri Derneği Üzerine”, Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi, Ocak-Şubat-Mart, Sayı:4, Görkem Reklam Tanıtım, s 19, Manisa.

**TEŞEKKÜR**

Bana bu konuda çalışma imkanı veren danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail DEMİR'e, laboratuar çalışmalarımda yardımcı olan arkadaşım Erhan KAHRAMAN'a, ve hiçbir zaman sıkılmadan, şikayet etmeden çalışmalarımın her safhasında yardımını esirgemeyen eşim Mustafa ESİR'e teşekkürlerimi sunarım.