

**KIRMIZI ÇAMUR KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mahmut LEVENT

DANIŞMAN

Prof. Dr. İsmail DEMİR

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Eylül 2012

**1**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KIRMIZI ÇAMUR KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Mahmut LEVENT**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. İsmail DEMİR**

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2012**

## ONAY SAYFASI

Mahmut LEVENT tarafından hazırlanan **Kırmızı Çamur Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması** başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca .../.../... Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

<b>Danışman</b> : Prof. Dr. İsmail DEMİR AKÜ Mühendislik Fakültesi	İmza
<b>Başkan</b> : Yrd. Doç. Dr. M.Serhat BAŞPINAR AKÜ Teknik Eğitim Fakültesi	İmza
<b>Üye</b> : Prof. Dr. İsmail DEMİR AKÜ Mühendislik Fakültesi	İmza
<b>Üye</b> : Yrd. Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN AKÜ Mühendislik Fakültesi	İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN  
Enstitü Müdürü

## **BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**

### **Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../2012

**İmza**

**Mahmut LEVENT**



**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**KIRMIZI ÇAMUR KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mahmut LEVENT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İsmail DEMİR

Bu çalışmada tuğla bünyesine eklenen kırmızı çamur katkısının tuğla özelliklerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir.

Afyonkarahisar bölgesi tuğla kiline, ağırlıkça % 0 (kontrol serisi) % 5 ve % 10 kırmızı çamur katkısı yapılarak presleme yöntemi ile tuğla numuneleri üretilmiştir. Tuğla numuneler, laboratuvar tipi elektrikli ark fırınında; 100 °C' lik artışlarla 800 -900 ve 1000 °C' de 3 farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Pişmiş örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür.

Pişmiş örnekler üzerinde yapılan deneylerde % 10 kırmızı çamur atığının 1000 °C'de, % 0 ve % 5 kırmızı çamur katkılı örneklere göre basınç dayanımını artırdığı görülmüştür. Kırmızı Çamur katkılı örneklerin renkleri katkısız olanlara göre daha kırmızı olmuştur.

**2012, ix + 65 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kırmızı çamur, Kil, Tuğla, Mekanik Özellikler, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

## **ABSTRACT**

Ms. Sc. Thesis

### **AN INVESTIGATION on THE EFFECT of RED MUD ADDITION on BRICK PRODUCTION**

Mahmut LEVENT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

**Supervisor:** Prof. Dr. İsmail DEMİR

In this study; the changes took place in brick properties by addition of red mud addition into the brick body have been investigated.

Bricks have been manufactured by press method with the addition of 0 % (control series), 5 % and 10 % red mud into the Afyonkarahisar region brick clay. The brick samples have been fired in an electrically heated furnace at 3 different temperatures between 800-900 and 1000 °C with 100 °C intervals. Physical and mechanical tests were performed on the fired samples.

Fired samples with 10% of red mud waste additive was determined on increase on the compressive strength at 1000 °C compared to the red mud waste additive 0% and 5% sample. The colours of red mud samples was much more red, compared to pure ones.

**2012, ix + 65 pages**

**Key Words :** Red Mud, Clay, Brick, Mechanical Properties, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

## **TEŞEKKÜR**

Bu alıőmayı hazırlamamda bilgi ve deneyimleriyle bana yardımcı olup yol gösteren danıőmanım ve değerli hocam Prof. Dr. İsmail DEMİR'e. Tez alıőması sırasında bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen Arő. Grv. Erhan KAHRAMAN'a ve bugüne kadar bana emeği geçen çok değerli hocalarıma, Deneylerin yürütülmesi aőamasındaki yardımlarından dolayı çok değerli arkadaşlarım Kadir AKYÜZ ve Tolga KARACA'ya teşekkür ederim.

Çalıőmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen beni hep destekleyen çok kıymetli aileme teşekkür ederim.

Mahmut LEVENT  
AFYONKARAHİSAR, 2012



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Tuğlanın Önemi	1
1.2 Tuğlanın Tarihi	2
1.3 Tuğlanın Üretilmesi	4
2 LİTERATÜR BİLGİLERİ	8
2.1 Kil	8
2.1.1 Kilin Oluşumu	8
2.1.2 Killerin Sınıflandırılması	9
2.1.3 Killi Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	12
2.1.4 Kil Minerallerinin Teknolojik Özellikleri	24
2.1.5 Tuğla Üretiminde Kullanılan Kil Hammaddesinde Aranan Genel Özellikler	26
2.1.6 Killerin Endüstride Kullanım Alanları	29
2.1.7 Kil ile yapılan önceki çalışmalar	30
2.1.8 Dünya ve Türkiye’de Kil Rezervleri	33
2.2 Kırmızı Çamur Atığı	34
2.2.1 Kırmızı Çamur Atığının Kullanım Alanları	35
2.2.2 Kırmızı Çamur Atığının İnşaat Sektöründe Kullanılması	36
2.3 Sodyum Karbonat (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	37
2.3.1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Kullanım Alanları	37
3 MATERYAL VE METOT	39

	<b>Sayfa</b>	
3.1	Kullanılan Malzemeler	39
3.1.1	Kil	39
3.1.2	Kırmızı Çamur	40
3.2	Metot	41
3.2.1	Deney Örneklerinin Üretilmesi	41
3.2.2	Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	46
3.2.3	Su Emme	47
3.2.4	Porozite	47
3.2.5	Birim Hacim Ağırlık	47
3.2.6	Görünür Yoğunluk	48
3.2.7	Basınç Mukavemet Testi	48
3.2.8	Kızdırma Kaybı	48
4	BULGULAR	50
4.1	Fiziksel özellikler	50
4.1.1	Porozite Değerleri	50
4.1.2	Su Emme Değerleri	51
4.1.3	Birim Hacim Ağırlık (BHA) değerleri	52
4.1.4	Görünür Yoğunluk Değerleri	53
4.1.5	Kızdırma Kaybı Değerleri	54
4.2	Mekanik Özellikler	55
4.2.1	Basınç Dayanımı Değerleri	56
5	SONUÇLAR	59
6	KAYNAKLAR	61
7	ÖZGEÇMİŞ	65

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
Ao	Basınç uygulanan yüzün alanı
Bd	Bulk yoğunluk
Fb	Basınç mukavemeti
Gr.Y.	Görünür yoğunluk
K	Numunenin biçim katsayısı (k=1)
P	Porozite
P <sub>k</sub>	Kırılma anındaki yük
Sa	Ağırlık olarak su emme
W <sub>1</sub>	Numunenin etüv kurusu ağırlığı
W <sub>2</sub>	Suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı
W <sub>3</sub>	Suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı
<b>Kısaltma</b>	<b>Açıklama</b>
DPT	Devlet planlama teşkilatı
K	Kil
KÇ	Kırmızı çamur
MTA	Maden teknik arama
SEM	Scanning electron microscope,
XRD	X-ray diffraction,
TSE	Türk standartları enstitüsü,
MPa	Megapascal,
TS	Türk Standartları,

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1 Kil hammaddesinin X- ışınları difraktogramı	39
Şekil 3.2 Kırmızı çamurun SEM mikroyapı görüntüleri, (a)100X, (b) 30000X	40
Şekil 4.1 Birinci seriye ait porozite grafiği	51
Şekil 4.2 Birinci seriye ait su emme grafiği	52
Şekil 4.3 Birinci seriye ait BHA grafiği	53
Şekil 4.4 Birinci seriye ait görünür yoğunluk. grafiği	54
Şekil 4.5 Birinci seriye ait kızdırma kaybı grafiği	55
Şekil 4.6 Birinci seriye ait basınç dayanımı grafiği	56
Şekil 4.7 İkinci seriye ait basınç dayanımı grafiği	57
Şekil 4.8 Üçüncü seriye ait basınç dayanımı grafiği	58

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Bazı killerin su plastisitesi değerleri	18
<b>Çizelge 2.2</b> Dünya kil rezervleri	33
<b>Çizelge 2.3</b> Türlerine göre dünya kil rezervleri	34
<b>Çizelge 2.4</b> Türkiye'deki kil oluşumlarının bölgelere göre dağılımı	34
<b>Çizelge 3.1</b> Çalışmada kullanılan kilin kimyasal bileşimi	39
<b>Çizelge 3.2</b> Kırmızı çamurun kimyasal bileşimi	40
<b>Çizelge 3.3</b> Birinci seriye ait karışım (Ağırlıkça)	42
<b>Çizelge 3.4</b> İkinci seriye ait karışım (Ağırlıkça)	42
<b>Çizelge 3.5</b> Üçüncü Seriye ait karışım (Ağırlıkça)	42
<b>Çizelge 4.1</b> Birinci seriye ait porozite değerleri	50
<b>Çizelge 4.2</b> Birinci seriye ait su emme değerleri.	52
<b>Çizelge 4.3</b> Birinci seriye ait BHA değerleri	53
<b>Çizelge 4.4</b> Birinci seriye ait görünür yoğunluk değerleri	54
<b>Çizelge 4.5</b> Birinci seriye ait kızdırma kaybı	55
<b>Çizelge 4.6</b> Birinci seriye ait basınç dayanımı değerleri	56
<b>Çizelge 4.7</b> İkinci seriye ait fiziksel ve mekanik değerler.	57
<b>Çizelge 4.9</b> Üçüncü seriye ait basınç dayanımı değerleri	58

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Malzemelerin öğütülmesinde kullanılan laboratuvar tipi bilyeli değirmen	43
<b>Resim 3.2</b> Numune şekillendirilmesinde kullanılan silindir kalıp.( Çapı 25mm, boy 80mm)	43
<b>Resim 3.3</b> Hazırlanmış olan numuneler	44
<b>Resim 3.4</b> Etüv	44
<b>Resim 3.5</b> Numunelerin fırında pişirilmesi	45
<b>Resim 3.6</b> Numunelerin boy çap ölçümleri	45
<b>Resim 3.7</b> Numunelerin 900 °C’de pişirildikten sonraki renkleri	46
<b>Resim3.8</b> 200 kN’luk kontrollü otomatik basınç presinde numunelerin kırılma anı	49

# 1 GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeyi, sanayi ürünlerinin miktarı, bu ürünlerin tüketim oranı ile doğrudan ilgilidir. Dünyadaki en gelişmiş ülkeler sanayi bakımından önde olan ülkelerdir. Ülkelerin ihracatında sanayi maddeleri oranı ne kadar çoksa o ülke o kadar gelişmiş demektir. Türkiye ekonomisinde sanayi faaliyetlerinin yeri her geçen gün artmaktadır. İnsanlar barınmak, çalışmak, eğlenmek, kısacası yaşamak için çeşitli yapılara ihtiyaç duyarlar. Bu yapıların amaca uygun, güvenli, ekonomik ve güzel görünüşlü olması istenir. Başka bir deyişle, yapı hangi amaç için planlanmış ise, o amaç için kullanılabilir, kullanım sırasında veya zamanla yıkılmadan, aşırı bir deformasyona uğramadan, güvenli bir şekilde ayakta durabilmelidir. Yapı bu işlevleri yerine getirirken aynı zamanda ekonomik ve estetik bir görünüme de sahip olmalıdır (Örüng vd. 1997).

Doğal afetler karşısında büyük hasarların ortaya çıktığı yapılarda göze çarpan en önemli kusurlardan birisi de, yapıda kullanılan malzemelerin niteliklerinin kendisinden beklenen görevleri güvenle yapabilecek düzeyde olmamasıdır. Bu sebeple, yapılarda ortaya çıkabilecek yıkım ve hasarların önlenmesi, ancak kullanım amacına uygun nitelikteki malzemelerin seçilerek kullanılması ile mümkündür. Yapılarda kullanılan malzemelerin istenilen niteliklere sahip olabilmesi için; malzemeyi oluşturan ham maddenin iyi seçilmesi, uygun yöntemler ile üretilmesi ve üretilen malzemede aranan özelliklerin bilinmesi gerekir. Gerek güvenlik gerekse de kullanım ömrü açısından bir malzemenin bilinmesi gereken en önemli özelliği, o malzemenin herhangi bir yük altında veya uygun olmayan koşullarda gösterdiği davranıştır. Herhangi bir amaç için en uygun malzeme, yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olan, güzel görünen ve en ucuza mal olan malzemedir (Ulusoy 2008).

## 1.1 Tuğlanın Önemi

Çeşitli yapı malzemeleri arasında yapılarda çok eski zamanlardan beri kullanılan pişmiş toprak malzemeler günümüzde de önemini kaybetmemiştir. Pişmiş toprak malzemeler

gerek ucuz, gerekse temininin ve yapıda kullanımının kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler içerisinde ise en başta tuğla gelmektedir. Son yıllarda hızla gelişen sanayi kollarından olan tuğla imalatı da Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Tuğla ham maddesi kil olan ve en çok inşaat sektöründe kullanılan malzemeler üretilmektedir. Tuğla suya donu ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılan temel bir maddedir. Tuğla, dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir (Görçiz, 2000).

Keşfedildiği günden bugüne dizaynı ve boyutları değişmekle birlikte hiçbir zaman Vazgeçilemeyen bir malzeme olma özelliğini korumuştur. Tuğlanın ham maddesi olan killi toprak doğallığı ve ucuzluğu ile yerine alternatif bir malzemenin geçmesine engel olmuştur. Tarihteki ilk uygarlıklarda pişmemiş kil tabletler günümüzdeki tuğlalara benzer boyutlarda ve elle şekillendirilerek kullanılmıştır. Ancak daha sonra insanlar daha sağlam binalara ve yüksek kuleler inşa etmek istemişler ve pişmiş tuğla M.Ö. 4. yüzyılda kullanılmaya başlamıştır (Ulusoy 2008).

## **1.2 Tuğlanın Tarihi**

Tuğla dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Kil ile suyun buluşması ve ateşle beraberliği tuğlanın doğuşunu oluşturmuştur. Çok eski çağlarda her bina önce bir tuğla üretim tesisi olmuş, üretilen tuğlalar daha sonra bu binanın yapımında kullanılmıştır. Şu halde ilk üretim tesisi, tuğladan yapılan ilk evdir (İnt. Kyn.1).

Artık ilk yerleşim yerlerinin ve kültürlerinin tuğla yapımına uygun olan alüvyonlu toprakların yer aldığı geniş nehir havzalarında kurulduğu bilinmektedir. Tuğla sanatının da başlangıcı işte bu dönemlere rastlar. Bu bölgeler, Mezopotamya'da yer alan Nil, Euprates/Tigris nehirlerinin aşağı bölgeleridir. Bu bölgelerde yapılan kazılarda en eski bulguların kalıplanmış kil tabletler ve duvar rölyeflerinden oluştuğu gözlenmiştir. Buda gösteriyor ki tuğla üretimi daha bu zamanlarda başlamış ve o zamanlar bile tapınaklar, en zengin yapılar bu tuğla tabletler ile inşa edilmiştir. Kullanılan bu pişmemiş kil tabletler zamanımızda kullanılan tuğlalara benzer boyutlarda ve elle düzeltilerek



şekillendirilmişti. Yani günümüzde 15 000 yıl önce ilk tuğlanın insanoğlunun elinde şekillendiğini söyleyebiliriz. Bir süre sonra insanlar daha sağlam binalar, daha yüksek kuleler inşa etmek istediler. Tabii ki bu binalar daha hoş görünen binalar olacaktı. İşte bu aşamada pişmiş tuğla ortaya çıkıyor. Sıcak canlı bir renk ve daha sağlam bir yapı malzemesi. Zaman ise M.Ö. 4. yüzyıldır. 1877-1917 yılları arasında Alman Arkeolog Robert Koldwey tarafından Babil şehrinde yapılan kazı ve araştırmalarda halen modern binalarda günümüzde de kullanılan tuğlalara benzer düzgün şekilli, keskin kenarlı, çok teknik imal edilmiş tuğlalar bulunmuştur (İnt. Kyn.1).

Bu nedenle dünyanın 7 harikasından biri olan bu tarihi yapı, pişmiş tuğlanın sistemli ve düzenli ilk kullanıldığı bina olarak kabul edilir. Bu yapı tuğla endüstrisi için bir simgedir. Çünkü yüksek kapasiteli ilk üretim tesisidir. Bu dönemde ve daha sonra tuğla yapımının Anadolu'ya ve Avrupa'ya yayıldığını ve gittikçe yaygınlaştığını görüyoruz. Mezopotamya'da ise tuğla ve tuğla üretimi Asurlular, Persler, Sasaniler ve İslam kültürü ile gelişmiş değişik boyutlara taşmıştır. Doğu ve batı kültürü hemen hemen ortak ilerlemiş, sonuçta tuğla tüm yerleşim bölgelerinin vazgeçilmez yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur. Yunanlı yazar Pindar, M.Ö. 5. yüzyılda Yunanlıların mermeri bularak heykel yapımında ve binalarda kullanıldığını anlatır. Yunanlılar mermeri önce binalarda duvar malzemesi olarak kullandılar fakat mermerin olumsuzlukları nedeni ile tekrar tuğlaya döndüler (İnt. Kyn.1).

Kiremit ve tuğlada ilk standartlar Romalılar tarafından geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur. Kalınlık nedeni ile oluşan kuruma ve pişirme problemlerini çözmeye çalışmışlar ve böylece ilk araştırma faaliyetleri de onlar sayesinde başlamıştır. Bu çalışmalar sonucunda mümkün olduğunca ince fakat eskisine göre çok daha sağlam malzemeler üretmişlerdir. İspanya, İngiltere, Fransa, Belçika ve Almanya'ya tuğla ve kiremidi tanıtan, kullanımının yaygınlaşmasını sağlayan yine Romalılardır. O zamanlarda bina yapımında çalışan Romalı Lejyonerler her gün kişi başına 120-140 büyük boy, 220-240 adet küçük boy tuğla üretiyorlardı (İnt. Kyn.1).

Anadolu'ya baktığımızda burada da gelişmelerin yukarıdaki tarihlere paralel olarak gerçekleştiğini görüyoruz. Tarih kitapları Anadolu'da ilk pişmiş tuğlanın endüstriyel

anlamda üretim ve kullanımının M.Ö. 4. yüzyılda Lidyalılar tarafından başlatıldığını yazıyor. Bu dönem Babil kulesinin yapımı ile hemen hemen aynı dönemlere rastlamaktadır. Tuğla ve Kiremit Anadolu da Yunanlılardan sonra Bizanslıların katkılarıyla gelişmiştir. Daha sonra Selçuklular Bizanslılardan bu gelişmeyi devralmıştır. Selçukluların da bu konuda epeyce ilerledikleri bir gerçektir. Selçuklu mimarisinde tuğla özellikle taş ile birlikte önemli bir mimari birliktelik yaşamıştır. Bundan sonra Osmanlı dönemine geçiş yaşanıyor ve Osmanlılar zamanında kiremitti ve tuğla üretimi önemli gelişmeler yaşıyor. Küçük ve Konkav Osmanlı Kiremitlerinin yapımı bu dönemde gerçekleşiyor. Anadolu'da kiremit ve tuğlaya ilk standart Osmanlılar döneminde getiriliyor. Fatih Sultan Mehmet dönemi tuğlaları 4.5 x 28 x 28 cm. ebatlarında, hatıllarda kullanılanlar ise daha ince imal ediliyordu. Taban tuğlaları ise 25 x 25 cm. boyutlarında ve kare şeklinde veya çapları 30- 60 cm . arasında değişen altıgenler biçimindeydi. Kullanılan standartlar dışına çıkan tuğlalar inşaatlarda kullanılmıyordu hatta satışına dahi izin verilmezdi (İnt. Kyn.1).

Bundan sonraki dönemde 18. yüzyıla kadar Tuğla Endüstrisi'nde önemli değişiklikler görülmemiştir. Fakat Rönesans sonrası sanayi devriminin başlaması ile bu endüstri dalı da gelişmeye başlamıştır. Her şeyden önce standardizasyon çalışmaları ve emek yoğun çalışmanın mümkün olduğunca azaltılması konusu her dalda olduğu gibi tuğla ve kiremit endüstrisinde de ön plandadır. Teknolojinin en son gelişmeleri tuğla ve kiremitte bugün çok yoğun kullanılmaktadır. Bu iki malzeme 21. yüzyılın vazgeçilmezleri olmaya adaydır (İnt.Kyn.1).

### **1.3 Tuğlanın Üretilmesi**

Tuğla, uygun toprağın bulunduğu her yerde kolaylıkla üretilmesi, birim ağırlığın taş ve betona göre daha az, ısı yalıtımının daha yüksek olması, standart boyutları sebebiyle kolay kullanılması ve duvar kalınlığının ince tutulması ile yapının yararlı alanının arttırması gibi faydaları vardır. Ayrıca tekniğine uygun üretildiğinde basınç dayanımları, su emme, dona dayanıklılık ve dış etkilere dayanıklılıkları oldukça yüksektir. Bu sebeplerle özellikle düşük katlı karkas veya yığma şeklindeki yapılarda

yaygın olarak kullanılan tuğlaların, üretiminin başlangıcından, bitirilmiş yapının kabulüne hatta daha sonrası için de özelliklerinin deneysel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kil minerali içeren, belli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen, şekillenme özelliğine sahip ve 900–1000 °C’de pişirildiğinde, çatlamadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla hammaddesi olarak kabul edilir. Tuğla toprağı genellikle illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvarz, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar ihtiva ederler. Kil minerallerinin en önemli özelliğı belirli oranda su ile (% 25–35) karıştırıldığında plastik hale gelmesi, şekillenebilmesi ve kurutulup pişirildikten sonra dayanıklı bir malzeme yeteneğinin olmasıdır. Kil içinde bulunan silisli, demirli ve alkali bileşikler plastikliğini ve ateşe dayanma yeteneğini azaltırlar (Köktürk, 2002).

Kalker iri parçalar halinde bulunduğu zaman fırında yanmış kireç, daha sonra da nemin etkisiyle sönmüş kireç haline gelir. Bu durum hacim büyümesine neden olacağından zararlıdır. Tuğla-kiremit imalinde kullanılacak hammaddelerde doğal olarak bulunan kum genellikle çok incedir ve taneleri 10–40 mikron çapında olup gözle görülmez. Miktar olarak % 30–40 civarında bulunup çoğunlukla mika pulları ihtiva eder. Demir çoğunlukla demiroksit ve hidratları şeklinde bulunup, kilin kütlesine dağılmıştır. Pişmiş toprak malzemeye kırmızı rengi veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Toplam demir oksit ve hidratları % 8-10’u geçmemelidir. Killerin mavi, yeşil, gri, ve siyah renklerde bulunması çoğunlukla içerdikleri organik madde miktarına bağlıdır. Pişme sırasında bu organik maddeler 400 °C’den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri bırakır. Organik maddenin olabildiğince az bulunması hem tuğlanın görünümünü ve hem de dayanımı yönünden yararlıdır. Genellikle sülfat ve klorür tuzlarının % 1,5’in altında bulunması iyi kalitede tuğla ve kiremit üretimi için şarttır. Fazla miktarda bulunan eriyici tuzlar ürün tuğlanın, kullanımda çiçeklenmesi ve yüzeyden dökülmesine yol açar (Kılıç ve Koçhisar 2003).

Tuğla, killi toprağın su ile hamur şekline getirilip, şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra özel ocak ve fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900–1300°C) pişirilmesi ile elde edilen bir malzemedir (Yüksel ve Şişman 2003).

Tuğlanın özellikleri tuğla toprağının karışım oranına (kum-kil), üretim tekniğine, pişirilme şekline ve pişirildiği sıcaklık derecesine göre değişir. Ülkemizde tuğla üretimi el ile harman tuğlası veya fabrika tuğlası olarak üretilmektedir. Genel olarak harman tuğlası düşük dayanımları sebebiyle az katlı yapılarda bölme duvarların yapımında, fabrika tuğlası ise hem bölme hem de taşıyıcı duvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fabrika tuğlalarının üretim aşamalarındaki farklı ham madde ve karışım oranı, farklı pişirme sıcaklığı ve farklı tip fırınlama teknikleri sebebiyle tuğlalar çok değişik dayanım gösterirler (Özçelik 1975).

Tuğla üretimi genel olarak hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma ve pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Hammaddenin hazırlanması aşamasında, tuğla üretiminde kullanılan killerin gerek boyut gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip olması için bir dizi ön hazırlık aşamasıdır. Bu aşamada, hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi, homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için iri taşlar ve çöpler ayıklandıktan sonra istenilen tane çapına kadar öğütülmesi gerekir. Öğütme işleminin ardından harmanlama (tebeşir, kireç, kum, kömür külü gibi) ve su ilave edilerek istenilen kıvama kadar yoğurma yapılır. Yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir (Dönmez 1993).

Hammadde aşamasının sonunda şekillendirmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğla elde edilmektedir. Şekillendirme makine ile yapılabilmektedir. Mekanik yapılan tuğlalarda presleme ve extrude (telle kesme) yöntemleri kullanılmaktadır (Dönmez 1993).

Tuğla üretimindeki en son aşama pişirmedir. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300°C civarında organik maddeler tamamen yanar, 550°C de molekül suyu bileşimi terk ederek, karışım silis ve alümin haline ayrışır ve 550–900°C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin silikatu ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) oluşur. Bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan

tuğladır. Pişirme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emmesini azaltmakta ve birim ağırlığını arttırmaktadır. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme sıcaklığının 900–980°C arasında olması istenir (Ekmekyapar ve Örüng 1993).

Türkiye’ de şehirleşme hareketlerinin 1950’ li yıllardan sonra hızlanması tuğla sanayisinin gelişme göstermesine neden olmuştur. Özellikle 1980’ den itibaren tuğla üretimi önemli bir artış göstermiştir. Ülkemizdeki ortalama yıllık tuğla üretimi 1 010 000 000 adet civarındadır. Bu üretimin büyük bir çoğunluğu özel sektör arayıcılığı ile yapılmaktadır (Ulusoy 2008).

## 2 LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Kil

Kil, çoğunlukla sulu alüminyum silikat minerallerinden oluşan, yeterince ıslatıldığı zaman plastik, kütle olarak kurutulduğu zaman sert ve yeterince yüksek ısıda pişirildiğinde camsı bir yapıya dönüşen doğal bir hammaddedir (Yıldız 1999).

Kil deyimi, bir kayaç terimi olarak, sedimanter kayaçların ve toprakların mekaniksel analizlerinde tane iriliğini ifade eden bir terim olarak kullanılmaktadır. Wentworth tarafından 1922 de tane büyüklüğü 4 mikrondan (1/256 mm) daha küçük taneciklere kil denmesi teklif edilmiştir (İnt.kyn. 2).

Toprakta ana madde olan kil, “kaolin” veya “kaolinit” denilen inorganik maddeden oluşur. Saf halde iken, rengi beyaz olmakla birlikte, doğada genellikle saf olarak bulunmaz. İçinde magnezyum ve demir bulunduğu için rengi esmer, kırmızı veya sarı renktedir. Kilin en önemli özelliği, çok ince tanelerden oluşması ve su ile karıştırıldığında istenilen şeklin verilebileceği plastik hamur haline gelmesidir (Çelebi 2007).

#### 2.1.1 Kilin Oluşumu

Su ile yoğrulabilen, dağılmadan kolaylıkla şekillendirilebilen, kurutuldukları zaman aynı şeklini koruyabilen hammaddeler özlü hammaddeler olarak tanımlanır Kil ve kaolinler bu gruba girerler. Granit, ganyis, 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 rüzgâr, su, buz, sıcaklık-soğukluk değişimleri, yer kabuğu hareketleri, karbondioksit, humus asidi, kükürt asitleri, flor ve hidrojen asitli gazlar rol oynarlar. Bozunan kayaçlar su ve rüzgâr gibi etkenlerle uzaklara taşınırlar ve taşınma sırasında az veya çok öğütülürler, organik ve inorganik maddelerle karışırlar Yakın yere

taşınabilen veya tane irilikleri nedeni ile yakında çöken oluşumlar (primer oluşum) temiz olarak kalabilmişlerdir. Mesela; kaolin olarak bilinen hammadde turu fazla uzağa taşınmadan erken çökken hammadde dir. 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 (Köktürk 1993).

## **2.1.2 Killerin Sınıflandırılması**

Kil minerallerinin çok büyük ve karmaşık bir mineral dizisine sahip olmaları içerdikleri yabancı maddelerin varlığı, oluşum yeri ve özelliklerinin değişik oluşu gibi etmenlerden dolayı killer birçok şekilde sınıflandırılabilirler (Kibici 2002).

### **2.1.2.1 Jeolojik Durumlarına Göre Sınıflandırma**

Jeolojik oluşumlarına göre killer üçe ayrılır. Bunlar;

**Kimyasal ayrışma ile oluşan killer (Kalıntı killeri):** Kireçtaşı ve dolomitlerin ayrışarak killi materyal ile karışıp, bir çökeltme ortamında toplanması ile oluşurlar (Kibici 2002).

**Yerinde oluşan 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 (Kibici 2002).

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

### **2.1.2.2 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  $\text{SiO}_2$ , diğeri ise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tabakaları şeklindedir. Kristal ve amorf yapıda olan kil mineralleri şu şekildedir (Kibici 2002).

**Kaolinit grubu:**  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{Si}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  bileşimli olup, elektron mikroskopta ince levhalar halinde görülür. Heksagonal kristalleşmiştir. Kuru büzülmesi ve plastisitesi azdır. Capları 1-5000 mikron arasındadır. (1 mikron=0,0001 mm). Saf kaolinit kristali 1750 °C'de erir. Mukavemet grubundaki bu kil mineralleri, feldspatların asit ortamlardaki sıcak, soğuk ve hidrotermal eriyiklerin direkt etkisiyle olur. Bu grubun mineralleri kaolinit, dikit, holloysit ve narkittir (Kibici 2002).

**Montmorillonit grubu:** Atomları iç dizilişi 3 tabakalıdır. Bu kil mineralleri daha çok alkali ve toprak alkali tuzlardan oluşur. Bunlar tabakalar arasına girerek o tabakaların hacimlerinin artmasına neden olur. Renkleri çok değişiktir. Beyaz, sarı, yeşil, mavimsi ve siyahımsıdır. Montmorillonit grubu minerallerin su emmesi çok karakteristiktir. Su emdiği taktirde hacmi 10–15 defa artar. Mineralleri, montmorillonit, beidellit ve vermikulittir. Vermikulit izolatar yapımında kullanılır. Montmorillonit ve beidellit birleşmesinde bentonit oluşur (Kibici 2002).



**İllit grubu:** Genellikle kil minerallerine benzerler. Elektron mikroskopta ufak, yassı ve düzgün olmayan levhalar halindedir. Atom yapısı montmorillonite benzer. Yani 3 tabakadan oluşur. Potasyumca zengin ortamlarda oluşur. İllit grubu, montmorillonit grubu ile kaolinit grubu arasındadır. İllit grubu mineraller, illit ve glokonittir. Glokonit denizsel ortamda oluşan bir kil mineralidir (Kibici 2002).

**Klorit grubu:** İçyapısı bakımından illite benzer. Atomların iç dizilişi üç tabakalıdır. Bazen 2 tabakalı minerallerin miktarı ve cinsi değişebilir. Sekonder mineraller grubuna girer (Kibici 2002).

**Sepiolit grubu:**  $(OH)_4.Mg_5Si_8O_{20}.4H_2O$  bileşimindedir. Telsel dokudaki mineral grubudur. Kristal içyapısı zincirli halka şeklindedir. Magnezyumca zengin volkanik tüf ve kristalin kütlelerin ayrışmasından meydana gelir. En önemli minerali attapulgittir (Kibici 2002).

### 2.1.2.3 Sanayide Kullanılışlarına Göre Sınıflandırma

**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) (Köktürk 1993).

**Bağlama Kili:** 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 emme 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) (Köktürk 1993).

**Halloysit Türü Kil Grubu:** Halloysit, kaolinler oluşurken daha çok hidrataysan 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 (Yıldız 1999).

**Şamot Killeri (Ateş Kili):** 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, Semiflinter, Filinter, 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 (Yıldız 1999).

**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.) kullanılır (Yıldız 1999).

**Yıkama Killeri ( Fuller's Earth):** Diğer killerden farklı en önemli özelliği yağı apsorbe etme olayının fazla olmasıdır. Kullanım alanları; Apsorbans ve yağ rafinasyonunda, ilaç, sondaj, dolgu sanayinde kullanılır (Yıldız 1999).

**Diğer Killer:** Bu killerden adi olanı yüzeyde bulunur. Tuğla ve çimento üretiminde kullanılırlar. Şistler ise genellikle jeolojik evrelerde oluşmuşlardır. Bunlar da en çok çimento ve tuğla imalatında kullanılır (Yıldız 1999).

### 2.1.3 Killi Toprakların Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Hiçbir zaman arı (saf) biçimde bulunmayan kilin içinde alüminyum silikatlarla birlikte ( $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) kum, demir, magnezyum, sodyum, kalsiyum ve potasyum bileşikleri gibi diğer yabancı maddeler de içerirler (Köktürk 1993).

Kil minerallerinin genel olarak incelendiğinde minerolojik ve kimyasal özellikleri açısından sulu alüminyum, magnezyum ve demir silikatlardan oluştuğu görülmekle beraber kalsiyum, potasyum ve diğer iyonları da içerirler. Doğada kil mineralleri ender olarak saf halde bulunurlarsa da genellikle kil minerallerinden olmayan diğer mineraller kil kayacının içine girerek özelliğine etki etmektedirler (Kuşçu 1991).

Kil, doğal olarak bulunduğundan, kalıplamak için plastik hale getirilip kurutulmuş pişirilmesinden veya fırınlanmasından sonra sert, dayanıklı ve sabit şekilli bir malzeme haline getirebilmesinden dolayı ticari bakımdan önemlidir. Ürünleri kil eşyalar, kil ürünler veya seramikler olarak bilinir. Killer çapları 0,002 mm' den daha ince olan zemin cinsleridir. Çapları 0,001 mm' den daha küçük olanlara koloidal kil adı verilir. Killi zemin genellikle amorf bir görünüme 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 mikrondan ufak olmalarına rağmen zemine plastisite veya kohezyon özellikleri vermezler. Kil minerallerinin kimyasal bileşeni alüminyum silika hidratadır. 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 plastiklik 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 koloidler de ne kadar fazla olursa plastiklik 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 absorbe 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 bağlayıcılık görevi yaparak tabakaların birbiri üzerinde kayması ve

böylece kütlenin şekil değiştirmesini ve kendisine verilen biçimi almasını yani plastikleşmesini sağlar (Köktürk 1993).

Killer içinde kil minerallerine ilâveten kalsit, feldspat ve pirit gibi mineraller “kil olmayan malzeme” olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri de organik maddeleri ve suda çözünebilen tuzları ihtiva ederler. Killerin teşekkül tarzını ve hangi şartlar altında meydana geldiklerini öğrenmek için bazı sentezler yapılmıştır. Bu sentezlerden şunları söyleyebiliriz:

- a) Yüksek ısı ve basınç altında oksit karışımları ve hidroksitlerle yapılan sentezler;
- b) Kristalin mineraller ve kimyasal ayıraçlarla yapılan sentezler;
- c) Normal sıcaklık ve basınç altında oksit karışımları ve hidroksitlerle yapılan sentezler (Yıldız 1999).

Kil minerallerinin çoğu laboratuvar koşullarında sentez edilmiştir. Bu deneylerden, minerallerin oluşum ortamları ve çevresel koşullarla ilgili pek çok sonuç ortaya çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıklarda asidik ortamlarda kaolinit, alkali ortamda montmorillonit oluşabilmektedir Düşük ısı ve basınç altında ve asidik ortamda kaolinit tipi mineral teşekkül etmekte, hâlbuki alkali iyonu olarak potasyum mevcutsa ve bunun konsantrasyonu yeterli ise montmorillonit veya mika meydana gelmektedir (Yıldız 1999).

Magnezyumun varlığı montmorillonitin oluşmasına yol açar. 350 °C'nin üstündeki sıcaklıkta ve orta dereceli basınç altında kaolinit yerine pirofillit teşekkül eder.  $Al_2O_3$  oranı biraz artarsa, böhmite meydana gelir. Daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda diğer alüminyum fazları gelişir. Metalik cevherlerin civarında hidrotermal faaliyet sonucu kilimsi ayrışma ürünleri de oluşur. Böyle ayrışma ürünleri aynı zamanda sıcak kaynaklar ve gayzerlerle ilgili olarak da bulunabilir. Killer kimyasal bileşim bakımından çok değişkendirler. Saf kaolinit ile fazla miktarda yabancı maddeleri ihtiva edenler arasında değişik bir sıralanma gösterirler. Killerin kimyevi analizleri nadiren kil minerali tiplerini birbirinden ayırt etmede kullanılırlar. Fakat X ışınları

difraksiyonu ve diferansiyel termik analizler gibi tanıma metotları için iyi bir yardımcı usuldür. Kaolin tipi mineraller genelde montmorillonit, illit ve klorit tipi minerallerden  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranıyla ayrılırlar. Bu oran iyi kaolin veya kaolinit killlerinde genellikle 2/1 olup, diğerlerinde ise 3/1'dir.

Kimyasal analizler, meselâ seramiğin kullanma sahalarında demir muhtevasının çok düşük olması veya bazı refrakterler de alüminyum muhtevasının istenen bir yüzdenin üstünde olması gerektiği hallerde önem kazanmaktadır (Yıldız 1999).

### **2.1.3.1 Killerin Kimyasal Özellikleri**

Kil hammaddelerinin kimyasal analizinde genellikle  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  yüzdeleri tespit edilir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  değeri %20-40 arasında değişir. Bu tenör ince seramik killerde düşük, refrakter killerde yüksektir.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tenöründen ziyade bunun homojen bir halde bütün kilin bünyesine dağılmış olmasıdır.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tenörü son derece az beyaz kaolinitik killer içerisinde dağılmış olan az miktarda pirit kristalleri yüzünden kullanılmaz.  $\text{SiO}_2$  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 bulunduğu işaretlerdir (Köktürk 1993).

### **2.1.3.2 Killerin Bileşimine Giren Bazı Bileşiklerin ve Kirleticilerin Tesirleri Alkali Bileşikleri:**

- Bir alkali ihtiva eden mineral ve çözünebilir tuzun bulunması daima vitrifikasyon ve refrakterlik ıssını indirir;
- Çözünebilir tuzlar refrakterliği azaltır, bazıları plâstikliği artırma eğilimindedir;

- Alkali ihtiva eden minerallerin çoğu plastik değildir. Bu sebeple kilin kuruma Vitrifikasyon ve refrakterlik ısını düşürürler;

### **Kalsiyum Bileşikleri:**

- Düşük ısıda kalsiyum bileşikleri kilin küçülmesini azaltabilir ve kurumasını kolaylaştırır;
- Kırmızı rengi ağartabilirler;
- Kireç havadaki nemi adsorbe edebilir;
- $\text{CaSO}_4$  adi tuğla ve iyi kaliteli kaplama tuğlalarında en sık rastlanan çiçeklenme sebebidir;
- Bazı tuğla killerinde az miktarlardaki kalsiyum bileşikleri vitrifikasyon sahasını genişletir;
- Porselen çamurlarında ve sırlarında eritici olarak kalsiyum bileşikleri genleşmeyi azaltır. Fakat alkalilerle yer değiştirdikleri zaman pişme ısını yükseltirler.

### **Demir Bileşikleri:**

- Pişme rengine tesir ederler;
- Kilin refrakterliğini azaltırlar;
- Eriyebilen demir bileşikleri mamul madde üzerinde çiçeklenmeye sebep olur;
- Pişmiş kil üzerinde bariz olarak görülebilen demir lekeleri meydana getirirler.

### **Titanyum Bileşikleri:**

$\text{TiO}_2$  renge tesir eder ve alüminyum ile beraber erime noktasını yükseltirler. Killer plastik olan ve olmayan unsurlar ihtiva ederler. Plastik olanlar kaolinit ve montmorillonit grubu kil mineralleridir. Plastik olmayanlar ise kalsit, kuvars, feldspat ve mika gibi muhtelif minerallerdir. Plastik olanlar ateşe dayanıklı, plastik olmayanlar

ise erikten özelliktedirler. Özellikle kil mikalarının pres altında dizilişi, kuruma ve pişme kaybını arttıran en önemli faktördür.

### **Serbest Silis:**

- Plâstikliği azaltır;
- Kuruma ve pişme esnasındaki küçülmeyi azaltır;
- Taneler iri ise kırılma mukavemetini azaltır;
- Birçok hallerde refrakterliği azaltır.

### **Alüminyum Bileşikleri:**

- Plastik olmayan alüminyum bileşikleri halinde ise kilin plastikliğini azaltır;
- Kilin refrakterliğini artırır (Yıldız 1999).

### **2.1.3.3 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.

- Killerin platisitesi,
- Killerin Kuru Bağlama Mukavemeti,
- Rötre,
- Renk,
- Tane Boyutu.

**Killerin Plastisite Özellikleri:** Plastisite özelliği killerin işlenebilme ve şekillendirilebilmesi açısından önemli bir özelliktir. Plastiklik, terimi kile uyarlandığında kilin tanımı, “su emdiğinde plastik olan, basınç uygulandığında şeklini koruyabilen” olarak söylenebilir. 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).

Bilinen binlerce mineral içinde talk gibi önemsiz bir iki mineral dışında plastik özellik gösteren kil minerallerinden başka mineral yoktur. Su ile şekillenme özelliği kil minerallerin yapısına, killerin tane iriliğine, kuvars miktarına ve daha birçok sebeplere bağlıdır. Üzerine bastırıldığı zaman parmak izlerini açıkça gösteren fakat ele yapışmayan kil plastik hale gelmiştir. Kurutulmuş kilin bu hale gelinceye kadar aldığı su miktarı yüzdesine kilin plastisite sayısı denir. Kaolinitik killer ve ince seramik killeri genellikle az plastik, bağlayıcı killer ise çok plastiktir (Yıldız 1999).

**Çizelge 2.1** Bazı Killerinin Su Plastisitesi Değerleri (Köktürk 1993).

<b>Kil Tipleri</b>	<b>Plastisite Değerleri (%)</b>
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

Killerde plastisite kil tanelerinin boyutuna, katyon değişim kapasitesine ve ortamın pH'ına göre değişen kenar-yüzey yüklerine bağlıdır. Plastik killerin tane boyutu genelde



çok incedir. Bunun yanı sıra, katyon değişim kapasitesi yüksek olan killere de iyi plastik davranış sergilerler. Ancak, killerin bu önemli özelliği katyonik çevre değişimlerinden kolayca etkilenmektedir. Dolayısıyla, bir kilin yapısına değişik katyonların ve çözünebilir tuzların girmesi killerin plastisitesini etkilemektedir (Demir 2006).

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 oryantasyonu,
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 (Toydemir 1978).

**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 Atterberg, kil- su oranını ise plastiklik endeksi ile belirlemiştir.

$$PI = LL - PL$$

(2.1)

Plastiklik Endeksi = Likit Limit – Plastik Limit

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

2.  $8 < PI < 25$  ise; tuğla yapımına elverişlidir.

3.  $PI > 25$  ise; fazla plastik topraklardır. Kuruma esnasında rötresi fazla olacağından çatlama ve deformasyona uğrarlar (Toydemir 1978).

**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 (Toydemir 1978).

**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 kurumamasından meydana gelen rötre plastisite özelliğine, pişme sırasında oluşan rötre ise;

pişme sıcaklığına ve kimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Rötire, gerek boyut tahminini ve standart üretimi zorlaştırdığı için, gerekse büzülme sırasında içyapıda çatlaklara neden olacağı için istenmeyen bir özelliktir. Kilin gerek kuruma ve gerekse pişme sırasında yapmış olduğu rötire toplam rötire'dir (Toydemir 1978).

$$\text{Toplam Rötire} = \text{Kuruma Küçülmesi} + \text{Pişme Küçülmesi} \quad (2.2)$$

**Renk:** Killer doğada beyaz, sarı, kırmızı, gri, kahverengi ve siyahımsı renklere 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. Kil, tanecik büyüklüğü iki  $\mu\text{m}$ 'den küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan sulu alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. Ayrıca demir, alkali ve toprak alkalileri fark edilebilir derecede içerirler Kil deyimi, bir kayaç terimi olarak, sedimenter kayaçların ve toprakların mekaniksel analizlerinde tane iriliğini ifade eden bir terim olarak kullanılmaktadır. Tuğla-kiremit ve porselen gibi birçok ürünün hammaddesi olarak kullanılan killer, üretilecek sanayi ürününün çeşidine göre farklı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Kum, çakıl vb. iri materyal içermeyen tuğla-kiremit hammaddesi kaynakları, daha çok akarsular tarafından taşınan ve suyun enerjisini kaybettiği alanlarda çökelen sedimentlerin birikmesi ile oluşmaktadır. Bu tür malzemenin endüstride kullanılması işletmeciler tarafından kolay bir yol olarak tercih edilmekte, tarımsal üretim açısından büyük önem taşıyan verimli ova topraklarının tarımsal üretim potansiyellerini kaybetmelerine neden olmaktadır. Kil plastik halde iken çok yapışkan ve kalıplaması zordur (Çörez 2002).

Tuğla-kiremit yapılacak kil, yoğrulup şekil verilmesi ve daha sonra şeklini koruyabilmesi bakımından önemli olan plastiklik fazla olduğunda olumsuz etki yapar. Tuğla yapımına en uygun killer kaolinit ve illit tipi killerdir. Montmorillonit tipi killer fazla şişme ve büzülme gösterdiklerinden tuğla için kullanımının fazla uygun olmadığı bilinmektedir. Pişme esnasında  $\text{CaCO}_3$ 'ün sönmemiş kirece ( $\text{CaO}$ ) dönüşmesi ve daha sonra bunun sönmüş kirece ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dönüşerek çatlama ve kireç patlamalarını

meydana getirmesi nedeniyle tuğla kilinin kimyasal bileşimindeki  $\text{CaCO}_3$  miktarının % 25' i geçmemesi gereklidir. Kirecin granüler halde değil, ince tanecikler halinde ve hammadde içine iyice dağılmış olarak bulunması tercih edilmektedir (İnt.Kyn.3).

Kireç toprağın erime ve sinterleşme derecelerini birbirine yaklaştırdığından, fazla kireç bulunması pişirme tekniğini güçleştirmektedir. Ayrıca sağlamlığı ve sinterleşmeyi arttırmak için pişirme ısı arttırıldığından  $\text{CaCO}_3$ 'ün etkisi ile renk sarıya dönerek, pişme esnasında tuğlalarda şekil bozukluğunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Toprakta genellikle oksit halinde bulunan ve miktarının % 8-10 arasında olması istenen demir, pişme sonunda sertliğin daha fazla olmasını sağlar ve su emme yüzdesini düşürerek, tuğlaya kırmızı rengi verir. Pişme esnasında yanarak geriye siyah karbon birikintileri bırakan organik madde, fazla olması halinde tuğlanın mukavemetini azaltır (İnt.Kyn.3).

Fazla oranda su emerek ürünün dayanıklılığını azaltan tuzun %1.5 geçmemesi istenir. Ülkemizde tuğla kilinin yaşlı alüvyoner sahalardan istihsaline alışılmıştır. Ancak bu topraklar verimli ova arazilerinde bulunmaktadır. Bu ovalarda açılan ocakların daha sonra bataklık haline dönüşmesi, tarımsal faaliyetlere zarar verilmesi, kuruma-pişme küçülmesi ve su emme oranlarında sorunlarla karşılaşılması son yıllarda alternatif saha aramalarını hızlandırmıştır. Çevrenin korunması nedeniyle Bursa, Çorum, Salihli Turgutlu bölgeleri bu arayışların en yoğun olduğu bölgelerdir (İnt.Kyn.3).

Kuvaterner yerine Tersiyer yaşlı killi kayaçların gerektiğinde öğütülerek tuğla-kiremit toprağı yerine kullanılması pek çok yörede ekonomik bir çözüm olarak kendini göstermiştir. Böylece tuğla ocaklarının düz ovalardaki verimli tarım arazileri yerine tepelik arazileri oluşturan Tersiyer formasyonları içinde açılması mümkün hale gelmiştir. Tuğla killerinin rezervleri konusunda bir darboğaz bulunmamasına rağmen bunların kalitesi ve kullanıma hazırlanması çok önemlidir ve dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Genellikle piştikten sonra tuğlanın kırmızı renkte olması istenir. Mesela hammaddede fazla kireç varsa mamulün rengi açılır ve sarı renkteki bir kiremit teknik özellikleri bakımından çok iyi olsa bile piyasada tutulmaz. Kireçtaşı parçalarının

iri taneli olması çatlamalara sebebiyet vermektedir. Fazla kireç muhtevası erime ve sinterleşme aralığını daraltarak da sorunlara sebebiyet verir (İnt.Kyn.3).

Kilin plastikliğini ve işlenme kabiliyetini arttıran organik humus asitlerinin tuğla hammaddelerinde bulunması makbuldür. Toprağın fazla miktarda pirit ihtiva etmesi ise mahzurludur. Piritin bozulması esnasında çıkan gazlar mamulü çatlatabilir veya pişme şartlarına göre suda çözünen tuzlar oluşturabilir. Bu tuzlarla çiçeklenen tuğlanın basınca ve dona mukavemeti azdır. Fazla miktarda mika ihtiva eden killer su geçirme oranını arttırdıklarından zararlı maddelerden sayılır. Tuğla üretiminde kullanılan killerde aranan standartlar şunlardır:  $\text{CaCO}_3$  muhtevası %35'in altında olmalıdır. 3 mm den iri tanelerin miktarı yüzde biri geçmemelidir, plastiklik suyu % 25-35 arasında bulunmalıdır. 100 °C sıcaklıkta pişirildiğinde sertliği MOHS skalasına göre 2'nin üzerinde olmalı, kuruma küçülmesi % 10'dan az, su emmesi tuğlada % 8'den fazla, kiremitte % 18'den az olmalıdır. Tuğlalar 800-1000 °C' de patlama ve çatlaklar göstermeden kiremidi renkte pişmelidir. Bu killerin 0,2 mm den iri tane yüzdesi, iri tanelerin cinsi, kalıplanma yeteneği ve kuru kırılma dayanımı da tespit edilmelidir (İnt.Kyn.3).

Tuğlalar "Seramik" olarak tanımlanan bir malzeme türüdür. Bunlar inorganik, yüksek ısılarda işlem görmüş silikatlar ve metal oksitlerdir. Oksitlenmiş bir malzeme olmaları kimyasal bakımdan denge noktasında olan ve yeni bir kimyasal işleme girmeyen bir malzeme olmaları demektir. Fiziki olarak sert, gevrek ve ısıya dayanıklıdır. Tuğla malzemenin içindeki kuartz kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuartz kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar, inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200 °C civarındadır.

Tuğla üretimi önemli ölçüde yakıt gerektirir. Adi tuğlalar, harman tuğlası, 800 °C pişirilirken, sert tuğla (klinker tuğlaları) için pişirme ısısının 900-1000 derecenin üzerinde olması gerekir. Tuğlaların pişirilmesi sırasında, içinde sonsuz sayıda mikroskobik çatlak, boşluk ve geçitler oluşur. Bunlar "boşluk" olarak adlandırılır. Bu boşluklar tuğlanın bütün önemli özelliklerini etkilerler. Porozite, malzemedeki boşluk hacminin tüm hacme oranı olarak belirtilir ve yüzde ibaresi ile kullanılır. Bunun için tuğla önce kuru olarak tartılır, daha sonra suyun içinde tutularak bütün deliklerin su ile

dolması sağlanır. Tekrar tartılır. Aradaki ağırlık farkı suyun özgül ağırlığına bölünerek boşluk hacmi bulunur. Ancak tuğladaki boşluklar içinde bulunan hava, suyun boşluğa girmesini engelleyebilir. Bunun için tuğlaların su içinde kaynatılması ve soğuduktan sonra bu boşluklara suyun dolması beklenir.

Genellikle tuğlanın porozitesi %25' den fazla ise giderek basınç dayanımı azalır. Dış cephelerde kullanılacak tuğlalarda, hava koşullarına açık ve sıva ile kaplanmayacak tuğlalarda porozite %15'den yüksek olmamalıdır. Basınç dayanımı tuğlanın en önemli özelliğidir. Pek çok faktöre bağlıdır. Tuğlanın porozitesi, pişirilme ısı, üretim biçimi. Delikli tuğla ise deliklerin miktarı, yeri, kenarlarının biçimi, yükleme yönü, vb. basınç dayanımı üzerinde etkili olan faktörlerdir. Tuğlanın yapıldığı toprağın cinsinin de tuğla basınç dayanımı üzerinde etkisi vardır. Türkiye'de üretilen tuğlaların basınç dayanımları genellikle düşüktür. Üretilen tuğlaların üzerinde sistemli bir basınç dayanımı saptama deneyleri yapılmamaktadır, özellikle harman tuğlalarında basınç dayanımları genellikle düşük olduğu gibi aynı ocaktan gelen tuğlalarda çok büyük basınç dayanımı farklılıkları görülebilmektedir. Daha kontrollü olarak üretilen fabrika tuğlalarında bile basınç dayanımlarında %50' nin üzerinde basınç dayanımı farklılıkları olabilmektedir. Türkiye'de üretilen tuğlalarda en çok 200 kg/cm<sup>2</sup> basınç dayanımına rastlanmaktadır. Basınç dayanımı düşük olan tuğlaların üretimi Türkiye'de yönetmelik ve standartlarda tuğla yığma yapıların kat adetlerinin sınırlı tutulmasında, yığma yapıların deprem dayanımının düşük olmasından sonra, en etkili faktör olmaktadır (Çörez 2002).

#### **2.1.4 Kil Minerallerinin Teknolojik Özellikleri**

Kil minerallerinin teknoloji özelliklerinin tayini arazide mümkün değildir. Arazide ancak su ile yoğrularak plastisitesi, yağlılık derecesi ile içerdikleri kum ve silt miktarı anlaşılabilir. Diğer özellikleri ancak laboratuvarında belirlenir. Bundan dolayı kil yatağının çeşitli yerlerinden kesitler ve örnekler alıp alınan bu örneklerin laboratuvarında deneylerini yaparak yatak hakkında bilgi edinmek gerekir. Büyük endüstriyel tesisler için kil yatağının teknolojik özelliğinin her tarafta aynı olması gerekir. Aksi halde

üretim sırasında pek çok hata ve kayıplar olur. Dış görünüş bakımından homojen ve üniform görünen kil yataklarından alınan örnekler üzerinde detaylı çalışmadan sonra, bu örneklerin tamamen farklı teknolojik özelliklerde olduğu görülebilir Kil mineralinin dış görünüş bakımından üniform olması, özelliklerinin de üniform olmasını gerektirmez. Gözle yapılan incelemede kil yataklarının tüm özelliklerini açığa çıkarmak mümkün değildir. Birçok örnekler üzerinde incelemeler yapılarak ortalama değerin alınması gerekir (Salman 2001).

#### **2.1.4.1 Killerin Pişirilmesi**

Silis kendi başına çok aşırı yüksek sıcaklık dışında erimez, fakat alümin, kireç veya demir oksit gibi bir eritici ile birlikte çok düşük sıcaklıklarda ergimektedir. Ham kilin pişirilmesi demek en az ergime noktası başlayıncaya kadar ısıya tutmak demektir. Bu nokta kilin bileşimlerine göre değişmekle birlikte 900 °C'nin üzerindedir (Salman 2001).

Plastik killer sert ve jeolojik olarak daha eski olan killer gibi yüksek sıcaklıkta pişirmeye uygun değildirler, büzülmeleri yüksek olduğundan biçim değişikliğine ve çatlamalara karşı hassastırlar. Dolayısıyla plastik killer genellikle hafif ve gözenekli fakat dayanıklı ürün verdiklerinden; tuğla, blok ve çatı kiremitlerinin çoğu sınıfları için oldukça uygun olmaktadır. Yüksek alüminli ve düşük eritici maddeli killerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile yarı- camsı ve yüksek yoğunlukta teknik tuğlasına, sırsız kil borulara, ocak tuğlasına, fırın tuğlasına ve fayansa uygun ürünler ortaya çıkar Bu ürünler ayrıca bazı çatı kiremitlerinde de bulunabilir. Bundan dolayı bu kategorideki en iyi killer jeolojik olarak en eski olanlarıdır, çünkü bu killer pişirme sırasında şekil değiştirmeye ve çatlamaya karşı daha az hassastırlar. Bu killer İngiltere'de kömür yataklarına yakın yerlerde bulunur. Yüksek sıcaklıkta rahatça pişirilebilen killer elbette yaklaşık 1200 ile 1800 °C arası değişen sıcaklığa dayanabilen ateş tuğlaları yapımında kullanılır. Yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklı ürünlere “refrakter ürünler” ve buna uygun killere de ateş killeri” denir. Sıcaklık veya süre bakımından yeteri kadar pişmeyen ürünlerin özellikle dışarıda, hava şartlarına açık olarak kullanıldıklarında dayanıklılıkları ortadan kalkmaktadır. Demir oksitlerin kilin içerisinde toplam olarak

bulunma yüzdesi çok az olmasına rağmen, eritici rolünün dışında pişmiş kilin rengine önemli etkisi vardır. Bu; pembe, kırmızıdan maviye doğru pişirme sıcaklığının maksimum değerindeki artışla değişmekte, fakat ayrıca fırınlama şartlarında oluşabilen oksidasyona da bağlı olmaktadır. Sarı renk genellikle manganez ile ilgilidir. Kirecin veya tebeşirin eritici etkisi vardır. Bununla beraber kireç topak olarak bulunmamalıdır. Çünkü pişirme sırasında kirece dönüştüğünde nihai üründe hacim değişmezliğini bozabilir ve yüzeyde kireç kabarcıklarına yol açabilir (Salman 2001).

#### **2.1.4.2 Killerin Termik Özellikleri**

Killerin pişme esnasında kendi bünyelerinde meydana gelen endoterm reaksiyonlar diferansiyel termal analizle tespit edilir. Dilatometri ve diferansiyel termal analiz eğrileri killerin mineralojik bileşimleri hakkında bir bilgi verdikleri gibi onların hangi dereceler arasında kurumaya ve pişmeye karşı hassas olduklarını da gösterirler (Salman 2001).

#### **2.1.5 Tuğla Üretiminde Kullanılan Kil Hammaddesinde Aranılan Genel Özellikler**

Tuğla yapımında kullanılacak kilin kimyasal yapısı kadar mekanik özellikleri de önemlidir. Buna göre istenen mekanik ve fiziksel özellikler aşağıda sunulmuştur (Kibici 2002).

**1. Plastiklik:** Kilin işlenebilmesi ve şekillendirilmesi için önemlidir. Plastiklik, yeterli miktarda su ile yoğrulmuş kile şekillendirme ve şekillendirme sonrası şeklini, içindeki suyun büyük bir bölümü uzaklaştırıldıktan sonrada korumasını sağlamaktır. Kilin plastiklik özellik kazanması için su ile yoğrulur. Su dışında başka hiçbir sıvıyla killer plastiklik özellik göstermezler.



**2. Plastiklik derecesi:** plastiklik endeksi ile belirlenir. Plastiklik limiti, kilin plastik durumdaki en düşük nem miktarıdır. Plastikliği düşük killer ele yapışma sınırında kuru ağırlığın %20'si kadar su alırlar. Plastikliği yüksek killerde bu değer %26-27 kadardır.

**3. Hacim kaybı:** Su ile yoğrulup plastiklik kazanan kil, kuruma ve pişme sırasında hacmi yani boyutları değişir. Bu olaya kilin rötire yapması denir. Kilin kurumasıyla oluşan rötire de plastiklik özelliği etkilidir.

Hacim kaybı iki aşamada gerçekleşir:

Yaş şekillendirilmiş ürünün kurutma sonrasında hacim kaybı; (kuruma küçülmesi). Kurutulmuş ürünün pişirme sonrasındaki hacim kaybı:(pişme küçülmesi) (Kibici 2002). Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılacak killerde hem kurutma sırasında hem de pişme sırasında gelişen hacimsel küçülme düşük değerlerde olmalıdır. Aksi durumda standart boyutları elde edebilmek zor olacağı gibi yüzeyde çatlama ve deformasyonlar, köşelerde çatlamlar ve kırılmalar meydana gelme ihtimali yüksektir. Ayrıca 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. Diğer bir taraftan da kuruma rötresi (hacim kaybı) yüksek killerin budinözden hızla geçirilmesi veya basınç altında kalıplanması bu sakıncayı kısmen önler (Demir 1995).

**4. Kilin çekme dayanımı:** Şekillendirilmiş ve kurutulmuş kilin çekme dayanımı değeri dikkate alınmaz. Kurutulmuş ürün şeklini koruyabilmelidir. Fırına girmeden önce çarpma ve sarsıntılara maruz kaldığında kırılıp dağılmamalıdır. Bu dayanıklılık killerin ince tane oranı arttıkça ve plastisitesi yükseldikçe artar.

**5. Sıcaklıkta ergime özelliği:** kilin pişirme sırasında (600-900 °C) sıcaklıklarda ergiyerek (camsı faz oluşumu) kimyasal ve kristal özelliklerini değiştirmeli, su ile yumuşamamalı, dağılmamalı, gözenekliliği azalmalı ve sağlam bir bünyeye sahip olmalıdır. Pişen tuğlada belli oranda su emme özelliği olmalı ve aynı zamanda yeterli basınç dayanımına sahip olmalıdır.

**6. Renk özelliği:** Tuğla rengi kiremit kadar önemli olmasa da müşteri tarafından dikkate alınmaktadır. Renk özellikle cephe kaplamalarında veya taban kaplamalarında önemli bir özelliktir. Tuğla yapımında kullanılan killi toprakların kimyasal yapısı: Killer kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından farklılık gösteren hammaddeler olduğundan, bu konuda tam bir sınıflandırma yapmak zordur. Bununla birlikte tuğla üretim için en uygun killer illit cinsi killerdir. Montmorillonit ve halloysit grubundan olan killer bünyelerine aşırı su aldıklarında yüksek oranda genişmeye sahiptirler. Genleşmeye bağlı olarak su kaybı ile hacimsel küçülmeleri artacağından tuğla üretiminde uygun görülmezler. Killer saf halde doğada bulunmadıklarından tuğla yapımında elverişli olmaları içerdikleri safsızlıkların miktarına ve cinsine bağlıdır. Fiziksel özelliklerinin deneylerle belirlenmesi kimyasal yapıları kadar önemli bir yer tutar. Tuğla ve kiremit üretiminde tercih edilecek killerde bulunabilen yararlı ve sakıncalı maddeler (safsızlıklar) aşağıda sunulmuştur (Kibici 2002).

**Kum:** Tuğla üretiminde tercih edilecek killerde doğal kum genellikle küçük tane boyutuna (silt) sahiptir ve taneleri 10-40 µ çapındadır. Kilin bünyeye sağlamış olduğu plastiklik özelliğini dengelemek, kuruma ve pişme sırasındaki hacim değişikliklerinin kontrolü için dışarıdan kum, pişmiş atık, uçucu kül ve öğütölmüş curuf gibi dolgu maddelerinin ilave edilmesi yaygın bir yöntemdir. Fazla kum içeren killerin plastisitesi düşüktür. Kalıplanma esnasında dağılma olur ve yüzeyle pürüzlüdür. Dayanım ve sertliğin düşük olmasına neden olur.

**Demir:** Genellikle demir oksit( $Fe_2O_3$ ) ve hidratları şeklinde bulunup kilin bünyesine dağılmıştır. Pişmiş ürüne kırmızı renk verir. Ayrıca tuğla kiremit üretiminde demir bileşiklerinin ürünün sertlik ve su emme yüzdesine etkisi büyüktür. Kilin içermiş olduğu fazla demir ve bölgesel olarak toplanmış demir sülfat ve karbonatlar, pişirme sırasında şişme ve çatlamalara yol açabilmektedir. 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 oranını geçmemelidir.

**Kalker (kireç):** Kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri 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 üründe sarıya çalan bir renk verir. Pişme sırasında tuğla ve kiremitlerde şekil bozuklukları meydana getirebilir. İri taneli kalsiyum (Ca) tuzları tuğlada havanın nemi ile reaksiyona girerek Ca(OH)<sub>2</sub> (kalsiyum hidroksit) şekline dönüşürken hacim genişlemesine yol açarak tuğlanın yüzeyinde bölgesel çatlaklar oluşturur. Pişmiş toprak ürünlerinde kullanılacak kilde bulunan ince öğütülmüş CaO miktarı % 8'nin üzerine çıkmamalıdır.

**Organik maddeler:** Killerin gri, mavi, yeşil ve siyah gibi farklı renklerde bulunması çoğu zaman bünyelerindeki organik maddelerden kaynaklanır. Pişme sırasında organik maddeler oksitlenerek gaz halinde bünyeden uzaklaşırlar. Oksitlenmenin hangi sıcaklıkta olacağı organik maddenin cinsine bağlı olarak 200-550 °C arasında değişmektedir. Genellikle pişme sırasında bu organik maddeler 400 °C'den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri (kül) bırakır. Organik esaslı kirliliklerin mümkün olduğunca az bulunması hem tuğlanın görünümünü açısından hem de fiziksel özellikleri (dayanımı) bakımından gereklidir.

**Suda çözünen tuzlar:** Genellikle kildeki tuzlar, sülfat ve klorür esaslı tuzlardır. Yüksek miktarda bulunan çözünen tuzlar tuğlada zamanla çiçeklenme (effluorescen) ve yüzeyden dökülmeler (kireç çatlağı) gibi hasarların ortaya çıkmasına neden olur. Bu nedenle ikil bünyedeki tuzların %1,5 ve altında bulunması kaliteli ürün için önemlidir. Tuğla ve kiremit üretiminde killerin kesin bir standarda sokulamayacağı, ancak yukarıda belirtilen özelliklerin dikkate alınması uygun olacaktır (Kibici 2002).

## 2.1.6 Killerin Endüstride Kullanım Alanları

Seramik Endüstrisinde: Yeryüzünde bulunan killerin % 70-75 oranındaki miktarı seramik endüstrisinde kullanılır. Bu endüstride kullanılacak killerin su emme, pişme rengi, kuruma küçülmesi, pişme küçülmesi, basınç mukavemeti gibi özelliklerin araştırılması gerekir.

**Kağıt endüstrisinde:** Kaolen ve kil mineralleri boşluk doldurucu olarak kağıt endüstrisinde kullanılır.

**Petrol endüstrisinde:** Sondaj esnasında, su kaçaqlarında ve sondaj çamuru hazırlanmasında kullanıldığı gibi, kil minerallerinin petrol rafinesinde ayrı bir yeri vardır. Katalizör olarak kullanılır.

**İnşaat işlerinde:** Yapı malzemesi olarak kerpiç, tuğla ve kiremit üretiminde kullanıldığı gibi, fayans olarakta kullanılır. Ayrıca karayollarında, toprak barajların çekirdek dolgularında ve drenaj kanallarında kullanılır.

**Ziraat işlerinde:** Ziraat yapmaya uygun tarım alanlarının ıslah edilmesinde kil minerali kullanılır.

**Dökümcülükte,** Renk giderici ve emici olarak, -Diğer endüstri dallarında ( boya, plastik vb.) (Kibici 2002)

### **2.1.7 Kil ile yapılan önceki çalışmalar**

Sönmez ve Yorulmaz (1995), Eskişehir Kırka Boraks İşletmesi Konsantrator ve Bor Türevleri tesislerinden önemli miktarda kil artık olarak atıldığından, bu killerin tuğla hammaddesi olarak kullanılabilmesinin işletmeye büyük yarar sağlayacağı düşüncesiyle, konsantrator ve bor türevleri atık killlerinden 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.

Kurşun ve İpekoğulu (1995)'nin yaptıkları çalışmalarında; Türkiye'de kuvars kumu potansiyelini incelemişlerdir. Kuvars kumu, pek çok sanayi sektöründe olduğu gibi dokum sanayi, cam sanayi ve refakate 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 filtrasyon 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.

Tanacan (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 artışı 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/m<sup>3</sup>’tür. Bu deney sonucundaki basınç dayanımı değerleri 17,6–11,8 ve 23,5 N/mm<sup>2</sup>’dir. Bu çalışmada ise birim hacim ağırlığı 0,96 kg/m<sup>3</sup> olan %10 cam tozu +%90 perlit katkılı tuğla numunesinin basınç dayanımı 17,49 N/mm<sup>2</sup>, birim hacim ağırlığı 0,92 kg/m<sup>3</sup> olan %15 atık + %90 perlit katkılı tuğla numunesinin basınç dayanımı 17,49 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

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 laboratuvar tipi ekstruzyon preste şekillendirilerek numuneler

farklı sıcaklıklarda (800–900–1000 °C) ve farklı sürelerde (1–2–4–8 saat) elektrikli fırınlarda pişirilmiştir. Pişmiş numuneler üzerinde 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 hızlı pişirme tekniğinin önemi de ortaya çıkmıştır.

Tokyay ve Çetin (1991), çalışmasında “tuğla yapımında kullanılan ideal kil, içerisinde % 15’den fazla kalker ve bitkisel atıklar bulunmayan, yarı yağlı olarak tanımlanan kildir. Kullanılacak kilin kimyasal yapıdan çok mekanik özellikleri önemlidir. Kullanılacak tuğla malzemesi suyla yoğrulduğunda kolayca şekil alabilmeli ve içindeki suyu kaybettiği zaman bu halini koruyabilmelidir. Şekillendirilerek kurutulan malzeme pişirilmeden önce şekil yapısını koruyacak düzeyde dayanıklı olmalı, pişirme sonrasında hacim küçülmesi oldukça sınırlı, maksimum % 5 civarında olmalıdır. Üretilen tuğla Kullanılmaların da öngörülen dayanım değerlerine sahip olmalıdır” tespitlerinde bulunmuştur.

Dönmez (1993), tuğlanın imal aşamasında “yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Hammadde aşamasının sonunda şekillendirmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğla elde edilmektedir. Şekillendirme el ile veya makine kalıplama yöntemleriyle yapılabilmektedir. Mekanik yapılan tuğlalarda presleme ve telle kesme yöntemleri kullanılmaktadır.” açıklamalarında bulunmuştur.

Ekmekyapar ve Örüng (1993), yapmış oldukları çalışmada “tuğla üretimindeki en son aşama pişirmedir. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300 °C civarında organik maddeler tamamen yanar, 550 °C da molekül suyu bileşimi terk ederek, karışım silis ve alümin haline ayrışır ve 550–900 °C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin silikatı ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) oluşur. Bu yeni malzeme artık sert,

şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Pişirme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emmesini azaltmakta ve birim ağırlığını arttırmaktadır. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme sıcaklığının 900–980 °C arasında olması gerekir” saptamalarında bulunmuştur.

### 2.1.8 Dünya ve Türkiye’de Kil Rezervleri

Dünya ve Türkiye kil rezervleri çizelgeler halinde DPT’nin 2001’de yaptığı araştırma sonuçlarına Çizelge 2.2, Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Dünya kil rezervleri (DPT 2001).

Ülke	Rezerv (Milyon ton)
A.B.D.	15 900
Güney Amerika	5 000
İngiltere	15 800
Bağımsız Devletler-Rusya	15 000
Asya	5 150
Avustralya	5 020
Diğer	10 200
Toplam	81 870

Türkiye kil rezervi, Asya ülkeleri rezervleri içinde diğerleri bölümünde verilmiş olup 450 milyon ton civarındadır (DPT 2001).

**Çizelge 2.3** Türlerine göre dünya kil rezervleri (DPT 2001).

ÜLKELER	REZERV (Milyon Ton)		
	Kaolen	Ateş Kili	Bentonit
Avrupa	1 183	-	179
İngiltere	1 820	13 650	-
Bağ. Devletler-Rusya	2 275	13 650	227
Diğerleri	1 365	9 100	-
Kuzey Amerika-ABD.	3 550	10 010	728
Güney Amerika	455	4 550	46
Afrika	728	4 550	46
Avustralya	455	4 550	46
Diğerleri	364	9 100	184
Dünya Toplamı	12 195	69 160	1 456

**Çizelge 2.4** Türkiye'deki kil oluşumlarının bölgelere göre dağılımı (DPT 2001).

BÖLGE	REZERV (Milyon Ton)		
	Görünür	Muhtemel + Mümkün	Potansiyel
Marmara	54	201	580
Ege	123	364	1 980
Akdeniz	235	1 175	2 165
İç Anadolu	88	408	1 106
Karadeniz	32	264	483
Doğu Anadolu	92	300	452
Güney Doğu Anadolu	124	212	334
TOPLAM	748	2 924	7 100

## 2.2 Kırmızı Çamur Atığı

Kırmızı çamur, Bayer prosesi ile boksitten alümina üretimi sırasında ortaya çıkan bir atık maddedir. Alüminyum üretimi için kullanılan boksit cevherinin yaklaşık % 40'ı kırmızı çamur atığı olarak açığa çıkmaktadır (Gündüz ve Girgin 1980).



Kırmızı çamur, kırmızı-kahverenginde ve çok ince tane boyut dağılımına sahiptir. Kırmızı çamurun karakteristik ince taneleri, harçta ve betonda katkı olarak kullanılmasını desteklemektedir. Kırmızı çamurun mineralojik analizi, boksit kaynağına ve üretim prosesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Çamur, boksit kaynağından gelen (anataz, böhmit, kalsit, gipsit, götit, hematit, kalsiyum ferrit ve kaolin) ve proseste üretilen bileşiklerden oluşmaktadır. Ana bileşenler:  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  ve  $Na_2O$ 'dur (Chandra, and Waste 1997).

### **2.2.1 Kırmızı Çamur Atığının Kullanım Alanları**

İnşaat ve yapı sektöründe: çimento üretimi, tuğla, kiremit ve seramik malzemesi yapımı, Kimya sektöründe, sıcak gazlardan  $H_2S$  absorplanmasında, kauçuk ve plastik endüstrisinde dolgu malzemesi olarak, renkli camlarda, puzolanik pigment üretiminde, su uygulamalarında flokülant olarak, toprak ve maden iyileştirilmesinde,

Kırmızı çamur içerisindeki metallerin geri kazanımında: demirin geri kazanılması, alkali kazanılması,  $TiO_2$  ve düşük miktarlardaki diğer bileşenlerin geri kazanılması Kırmızı çamurun farklı sektörlerde kullanım olanaklarının belirlenmesi için araştırma geliştirme çalışmaları, ülkemizde genellikle seramik ve tuğla üretimi üzerine yoğunlaşmıştır.

Kırmızı çamurun ekonomik olarak değerlendirilmesi konusunda çeşitli metotlar önerilmiş ancak uygulamaya aktarım yapılamamıştır. Alümina üretim fabrikaları, kırmızı çamuru baraj olarak isimlendiren göl tipi alanlarda depolamakta, depolama metotları fabrikadan fabrikaya değişmekte ve bu depolama insan sağlığına ve çevreye zarar vermektedir. Kırmızı çamur, koloidal yapısı nedeni ile bol miktarda su içermektedir. Bu haliyle barajlarda depolanan atık, rüzgârın ve çeşitli doğa olaylarının etkisiyle, çevreye taşınmaktadır. İçerdiği alkali ve mikron boyutlu taneler (1  $\mu m$  – 2 mm) nedeniyle, çevre sağlığı konusunda endişe uyandırmaktadır (Akıncı 2004).

Kırmızı çamur kaynaklı çevresel sorunları azaltmanın çözüm yolu, çamurun değerlendirilerek ortadan kaldırılmasıdır (Yalçın 1995).

Türkiye’de Eti Alüminyum-Cengiz Grup Tesislerinde, yılda 460 000 ton boksit cevheri işlenerek, 200 000 ton alümina, 60 000 ton birincil alüminyum üretimi ve 230 000 ton kırmızı çamur açığa çıkmaktadır. Yıkama prosesinden sonra kırmızı çamur, pompalarla tesisin depolama konumlarına gönderilmektedir (İston A.Ş. 2011).

## 2.2.2 Kırmızı Çamur Atığının İnşaat Sektöründe Kullanılması

Seydişehir alüminyum işletmesinin atık ürünü olan kırmızı çamura aynı yöre formasyonundan alınan serpantin ve tuğla hammaddesi katılarak kaliteli inşaat malzemesi üretim imkânları araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarla aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-) Deney numuneleri sinterleme sonrası camsı faz oluşturan SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, gibi oksitleri içermektedir. Bu özellik kırmızı çamurdan yüksek dayanımlı yapı malzemesi ve seramik yapılabileceğini göstermektedir.

2-) Kırmızı çamur + serpantin deney grubunda yapılan çalışmalarda, optimum karışımın oranının %50-%50 ve pişirme sıcaklığının 1150 °C olduğu belirlenmiştir. Bu koşullarda 99±9 MPa basma dayanımı ve %0,35 civarında su emme oranı tesbit edilmiştir.

3-) Kırmızı çamur + tuğla hammaddesi deney grubunda yapılan çalışmalarda, yine optimum karışım oranının %50-%50 ve pişirme sıcaklığının 1150 °C olduğu belirlenmiştir. Bu koşullarda 41 ± 8,5 MPa basma dayanımı ve %0,72 civarında su emme oranı tespit edilmiştir.

4-) Her iki deney sonucu mukayese edildiği zaman, serpantin katkılı kırmızı çamurdan daha yüksek dayanıma sahip tuğla yapılabileceği görülmektedir. Fakat maliyeti azaltmak amacıyla kırmızı çamuru olduğu gibi kullanarak da tuğla yapmak mümkündür. Zira elde edilen sonuçlar bu konuda ki tuğla standartlarına (Ort. 5-15 ve 30 MPa ) nazaran oldukça yüksektir. Ayrıca su emme oranları ise standartta belirtilen değer ( %18) oldukça altındadır.

5-) Kırmızı çamurdan gerek geleneksel gerekse dekoratif amaçlı tuğla ve seramik üretiminin yanında, kiremit imal etmenin de mümkün olduğu görülmektedir. Kiremit üretiminde hammadde tane boyutunun 0,1 mm altında olması ve bunun için birkaç kez yıkama-eleme işleminin yapılması gerekmektedir (Seyhan1972).

### **2.3 Sodyum Karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)**

Sodyum karbonatın ergime derecesi 851 °C olup (CRC Handbook, 1986, The Merck Index, 1983) 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda dekompoze (ayrışma) olur. Bu nedenle de bir kaynama noktası tespit edilemez. Sodyum karbonat, bir inorganik tuz olup, buhar basıncı önemsiz kabul edilebilir. Yoğunluğu 20 °C'de 2.532 (gr/cm<sup>3</sup>) tür. Suda çözünürlüğü 71 g/l (0 °C'de), 215 g/l (20 °C'de) ve 455 g/l (100 °C'de) (CRC Handbook, 1986).

Hafif yoğunluktaki sodyum karbonatın ortalama tane çapı (d<sub>50</sub>) 90-150 µm aralığında ve yoğun tipte sodyum karbonat ise (d<sub>50</sub>) 250-500 µm aralığındadır. Sodyum karbonat, sulu çözelti olarak pH 11.6 arasında güçlü bir bazik bileşiktir (The Merck Index, 1983; Johnson and Swanson, 1987).

Termogravimetrik reaktörde uygulanan kalsinasyon işleminde kalsiyum karbonatın (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) kalsinasyon sıcaklığının 825 °C'de başladığı belirlenmiştir (Laursen at all. 2003).

#### **2.3.1 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Kullanım Alanları**

- Çamaşır ve özellikle tüllerin beyazlatılmasında kullanılır. Sodyum karbonat sularda sertlik yapan iyonları karbonat halinde çöktürüp ortamdan uzaklaştırır. Bu şekilde çamaşır makinalarında yumuşatıcı olarak kullanılır.
- Cam üretiminde kullanılan en önemli kimyasaldır. Kumla soda birleştirilerek çok yüksek ısıya yükseltilir ve aniden soğutulur. Bu şekilde cam üretilir.

- Tekstil sektöründe reaktif boya kullanıldığında sodyum karbonat boya ve lif arasındaki bağı oluşturmak için kullanılır.
- Gıda katkıları olarak asit düzenleyici, anticaking ajanı ve stabilizatör olarak görev yapar. Şerbet tozu üretiminde kullanılır.
- Tuğla yapımında ıslatma ajanı olarak görev yapar, bu şekilde kil extrude edilirken daha az suya ihtiyaç olur.
- Diş macunlarında köpük ajanı olarak kullanılır. Sürtünme yaratır ve ağız pH ını yükseltir (İnt. Kyn. 4).

### 3 MATERYAL VE METOT

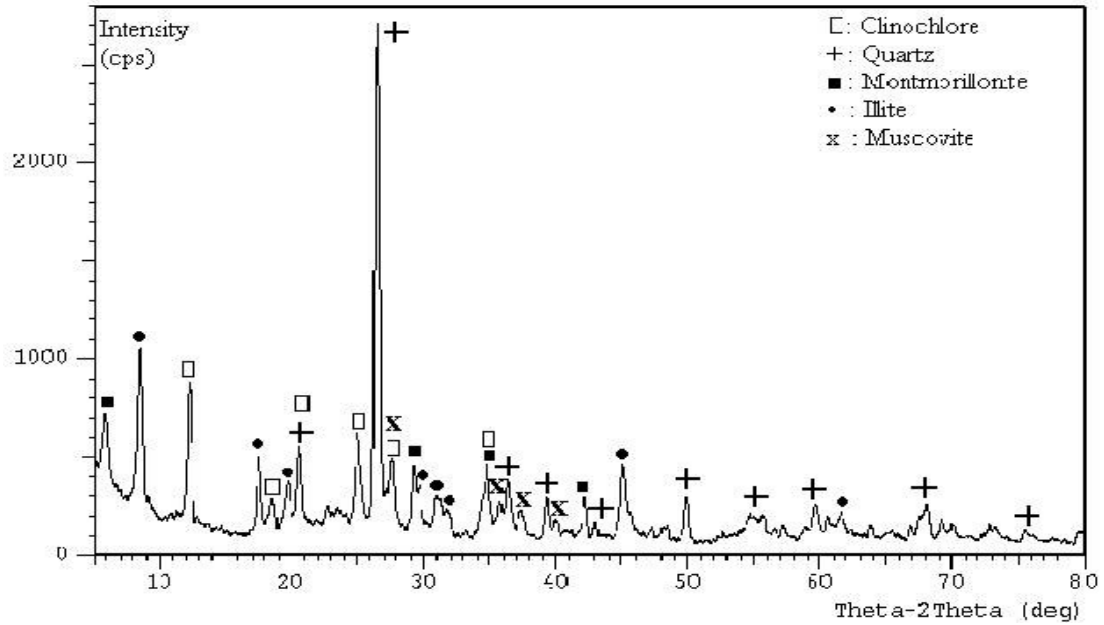
#### 3.1 Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1 Kil

Çalışmada Afyonkarahisar bölgesinden elde edilen kil ve Seydişehir alüminyum işletmesinden elde edilen kırmızı çamur atığı kullanılmıştır. Kilde bulunan başlıca bileşiklerin  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ten oluştuğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Yapılan XRD analizinde ise kil içerisinde, montmorillonit, illit, kuvars ve muskovit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 3.1).

Çizelge 3.1 Çalışmada kullanılan kilin kimyasal bileşimi (Demir ve Başpınar 2006).

Kil	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Kızd. Kay	Toplam
(%)	50,25	21,38	3,69	2,68	2,64	0,90	1,20	6,64	9,00	99,48



Şekil 3.1 Kil hammaddesinin X- ışınları difraktogramı (Demir ve Başpınar 2006).

### 3.1.2 Kırmızı Çamur

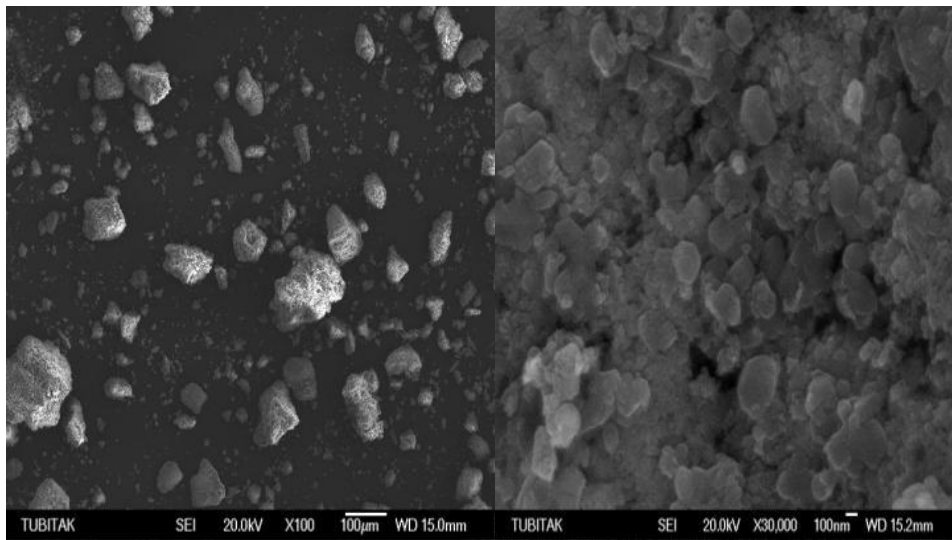
#### 3.1.2.1 Kırmızı Çamurun Karakterizasyonu

Seydişehir alüminyum işletmesinden elde edilen kırmızı çamur atığının Kimyasal bileşimi Çizelge 3.2 gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.2 Kırmızı çamurun kimyasal bileşimi (Kılıç vd. 2006).

Bileşik	% kütlece
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,645
CaO	3,297
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,942
Na <sub>2</sub> O	7,037
SiO <sub>2</sub>	18,954
TiO <sub>2</sub>	5,616
Diğer	2,5090

Kırmızı çamurun, yüzey alanı ölçümleri Quantachrome Nova 4000E cihazı ile 28,378 m<sup>2</sup>/g, yoğunluğu Quantachrome Ultrapiknometre cihazı ile 3,0346 g/cm<sup>3</sup>, tane boyut dağılımı ise Malvern Mastersizer X cihazı ile %90'ı 18,31 µm'den daha ince olarak belirlenmiştir. Kırmızı çamurun mikroyapısı, yüzey morfolojisi ve EDX analizleri Jeol JSM 6335F taramalı elektron mikroskopisi (SEM) kullanılarak incelenmiş ve Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Kırmızı çamurun SEM mikroyapı görüntüleri, (a)100X, (b) 30000X (Kılıç vd. 2006).

Kırmızı çamurun termal davranışı SEIKO ExStar 6300 TG/DTA cihazı ile 100 m/dk kuru hava akış hızı, 10 °C/dk ısıtma hızı ve 25-900 °C koşullarında belirlenmiştir. 25-900°C aralığında kırmızı çamurun toplam ağırlık kaybı %12'dir. Gibsitin ve kalsitin bozunmasına bağlı olarak sırasıyla 283,9 °C ve 732,6 °C'de endotermik pikler gözlenmiştir (Kılıç vd. 2006).

## **3.2 Metot**

Bu bölümde deney örneklerinin üretilmesi ve örneklere uygulanan test ve deneyler sunulmuştur.

### **3.2.1 Deney Örneklerinin Üretilmesi**

Bu çalışmada Afyonkarahisar bölgesinde elde edilen tuğla kiline; A:%0 (kontrol serisi), B:%5 ve C:%10 oranlarda kırmızı çamur katılarak 3 farklı karışım oluşturulmuştur. (Çizelge 3.3) Ayrıca bu serilere %1 oranında Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katılarak ikinci bir seri üretilmiştir (Çizelge 3.4).

Daha sonra ikinci serideki örnekler üretilmiş ve bu örnekler pişirilmeden fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır (Üçüncü seri). Üçüncü seriye ait karışım Çizelge 3,5'te verilmiştir.

Birinci ve ikinci seriye ait numuneler 800 °C 900 °C ve 1000 °C sıcaklıklarda pişirildikten sonra örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür.

**Çizelge 3.3** Birinci seriye ait karışım (Ağırlıkça).

<b>Seri 1</b>	<b>Kil (gr)</b>	<b>Kırmızı çamur(gr)</b>	<b>Plastiklik Suyu (gr)</b>
A (%100 K)	1 000	0,0	270
B (%95 K + %5KÇ)	950	50	270
C (%90 K+ %10KÇ)	900	100	270

K:Kil, KÇ: Kırmızı çamur.

**Çizelge 3.4** İkinci seriye ait karışım (Ağırlıkça).

<b>Seri 2</b>	<b>Kil (gr)</b>	<b>Kırmızı çamur(gr)</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (gr)</b>	<b>Plastiklik Suyu (gr)</b>
A (%99 K+%1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	990	0,0	10	260
B (%94 K + %5KÇ %1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	940	50	10	260
C (%89 K+ %10KÇ+%1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	890	100	10	260

K:Kil, KÇ: Kırmızı çamur.

**Çizelge 3.5** Üçüncü seriye ait karışım (Ağırlıkça).

<b>Seri 3</b>	<b>Kil (gr)</b>	<b>Kırmızı çamur(gr)</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(gr)</b>	<b>Plastiklik Suyu (gr)</b>
A (%100 K)	1 000	-	-	260
B (%94 K+ %5KÇ %1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	940	50	10	260
C (%89 K+ %10KÇ +%1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	890	100	10	260
D (%99 K+%1 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	990	-	10	260

K:Kil, KÇ: Kırmızı çamur.

Buna göre tuğla kiline katılan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katkısı örneklerin Plastiklik suyu değerlerini azalttığı belirlenmiştir.



Bu karışımları elde etmek için laboratuvara getirilen kil ve kırmızı çamur etüve konularak değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra kil ve kırmızı çamur laboratuvar tipi bilyeli değirmende ayrı ayrı öğütülmüştür (Resim 3.1).

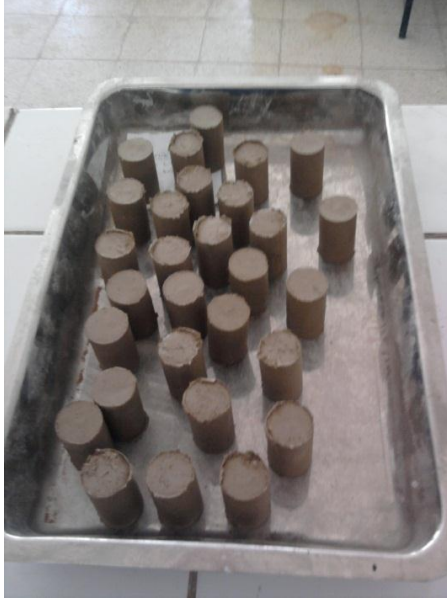


**Resim 3.1** Malzemelerin öğütülmesinde kullanılan laboratuvar tipi bilyeli değirmen.

Her bir serideki hammadde karışımlarına su katılarak elle yoğrulmuş ve istenen plastik yapıda bir kil hamuru niteliğine getirilmiştir. Her bir karışım hava almayacak şekilde poşetlenerek şekillendirilmeden önce 24 saat dinlendirmeye bırakılmıştır. Karışımlar presleme yöntemine uygun olarak plastik kıvamda, çapı 25 mm olan silindirik kalıpta bir numune için 1 gram hassasiyetli terazi de 45 gram tartıldıktan sonra şekillendirilmiştir. Her karışım serisinden 25 adet deney örneği üretilmiştir. Deney örneklerinin şekillendirildiği presleme kalıbı Resim 3.2 'de gösterilmiştir.



**Resim 3.2** Numune şekillendirilmesinde kullanılan silindir kalıp.( Çapı 25mm, boy 80mm).



**Resim 3.3** Hazırlanmış olan numuneler.

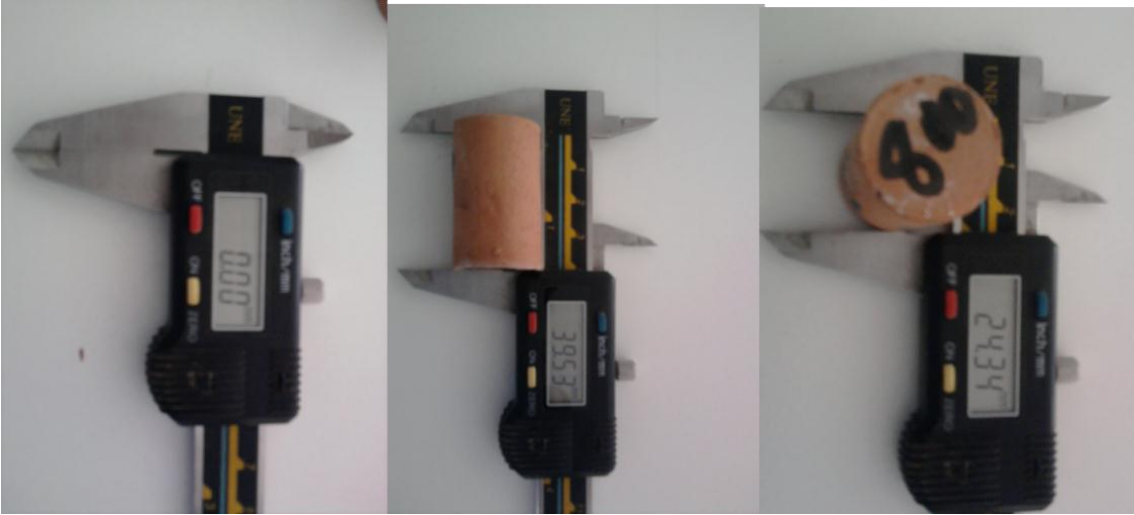


**Resim 3.4** Etüv.

Şekillendirilen deney örnekleri uygun kaplara alındı (Resim 3.3)ve güneş ile doğrudan temas etmeyecek kapalı ortamda 24 saat bekletildikten sonra etüve konularak(Resim 3.4.) değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Etüv kurusu haline getirilen örnekler pişirilmeden önce her numuneye bir rakam verilerek bu numunelerin ayrı ayrı etüv kurusu ağırlıkları alındıktan sonra pişme dolayısıyla numaraların okunmaması ihtimali göz önüne alınarak belli sıra ile numuneler fırına yerleştirilip(Resim 3.5) 800 °C, 900 °C ve1000 °C’ de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Numuneler üzerinde fiziksel deneyler yapmak amacıyla numunelere ait çap ve boyları dijital kumpas yardımıyla ölçülmüştür (Resim 3.6).



**Resim 3.5** Numunelerin fırında pişirilmesi.



**Resim 3.6** Numunelerin boy, çap ölçümleri.

Piştirilmiş olan numunelerde renk değişimleri kırmızı çamur miktarıyla orantılı bir şekilde artmıştır. Resim 3,7'de 900 °C'de piştirilen örnekler görülmektedir.



**Resim 3.7** Numunelerin 900 °C’de pişirildikten sonraki renkleri (A %100 kil B %5 KÇ C%10 KÇ).

### 3.2.2 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel özellikler belirlenirken; farklı sıcaklıklarda (800 °C, 900 °C 1000 °C) pişirilen numunelerin her biri için ayrı bir ölçüm yapılmış ve ilgili sıcaklıklar için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Her deney için farklı karışım oranları ve farklı sıcaklıklarda pişirilen örneklerden 6 adet deney numunesi kullanılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Deney örnekleri 24 saat boyunca su içerisinde tutularak suya doymun hale getirilmiştir. Örneklerin, etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup kuru tartımları ( $W_1$ ), suya doymun hale getirilen örneklerin sudaki asılı ağırlıkları ( $W_2$ ), ve yüzey kuru haldeki suya doymun ağırlıkları ( $W_3$ ) hassas terazide tartılarak kaydedilmiştir. Pişmiş örneklerin; porozite, birim hacim ağırlık ve su emme gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

### 3.2.3 Su Emme

Numune hacminin emmiş olduğu su yüzdesi eşitlik (3.1)'de verildiği biçimde hesaplanır.

$$S_a = (W_3 - W_1) / W_1 * 100 \quad (3.1)$$

**S<sub>a</sub>** :Su emme (%)

**W<sub>1</sub>**: Kuru ağırlığı (gr)

**W<sub>3</sub>**: Doygun ağırlık

### 3.2.4 Porozite

Malzemedeki boşluk oranına porozite adı verilir ve aşağıdaki (3,2) formülü ile hesaplanır.

$$P = (W_3 - W_1) / (W_3 - W_2) * 100 \quad (3.2)$$

**P** : Görünür porozite (%)

**W<sub>1</sub>**: Numunenin pişmiş ağırlığı (gr)

**W<sub>2</sub>**: Numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr)

**W<sub>3</sub>**: Numunenin suya doymuş havadaki ağırlığı (gr)

### 3.2.5 Birim Hacim Ağırlık

Malzemenin birim hacim ağırlık değeri (3.3) formülü ile hesaplanmıştır.

$$BHA = W_1 / (W_3 - W_2) \quad (3.3)$$

**BHA**: Birim hacim ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

**W<sub>1</sub>**: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr)

**W<sub>2</sub>**: Doygun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr)

**W<sub>3</sub>**: Suyu doymuş hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

### 3.2.6 Görünür Yoğunluk

Numunelere ait görünür yoğunluk (3.4) formülü ile hesaplanmıştır

$$Gr.Y=W_1/(W_1-W_2) \quad (3.4)$$

**Gr.Y:** Görünür Yoğunluk (gr/cm<sup>3</sup>)

**W<sub>1</sub>** : Numunenin pişmiş kuru ağırlığı (gr)

**W<sub>2</sub>** : Numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr)

### 3.2.7 Basınç Mukavemet Testi

Basınç mukavemeti değerleri (3.5) formülü ile bulunmuştur.

$$F_b = \frac{P_k}{A_0} \times k \quad (Kgf/cm^2) \quad (3.5)$$

**F<sub>b</sub>:** Basınç mukavemeti (kgf/cm<sup>2</sup>)

**A<sub>0</sub>:** Basınç uygulanan yüzün alanı (cm<sup>2</sup>)

**P<sub>k</sub>:** Kırılma anındaki yük (kg)

**k:** Numunenin biçim katsayısı (k=1)

### 3.2.8 Kızdırma Kaybı

Numunelere ait kızdırma kaybı değerleri (3.6) formülü ile bulunmuştur.

$$K_z=(W_K-W_F)/W_K*100 \quad (3.6)$$

**K<sub>z</sub>:** Kızdırma kaybı(%)

**W<sub>K</sub>:** Numunenin pişmeden önceki kuru (etüv kurusu) ağırlığı (gr)

**W<sub>F</sub>:** Numunenin pişmiş ağırlığı (gr)

Numunelerin basınç dayanımları Resim3.6 '200 kN'luk kontrollü otomatik basınç makinesinin sabit hızda yükleme yapması ile belirlenmiştir. Numunelerin kırılma anı Resim 3.8'de görüldüğü şekilde olmuştur.



**Resim 3.8** 200 KN'luk kontrollü otomatik basınç presinde numunelerin kırılma işlemi.

## 4 BULGULAR

Serilere ait fiziksel ve mekanik özellikler bu bölümde verilmiştir.

### 4.1 Fiziksel özellikler

Birinci serideki örneklerin fiziksel özellikleri bu bölümde verilmiştir.

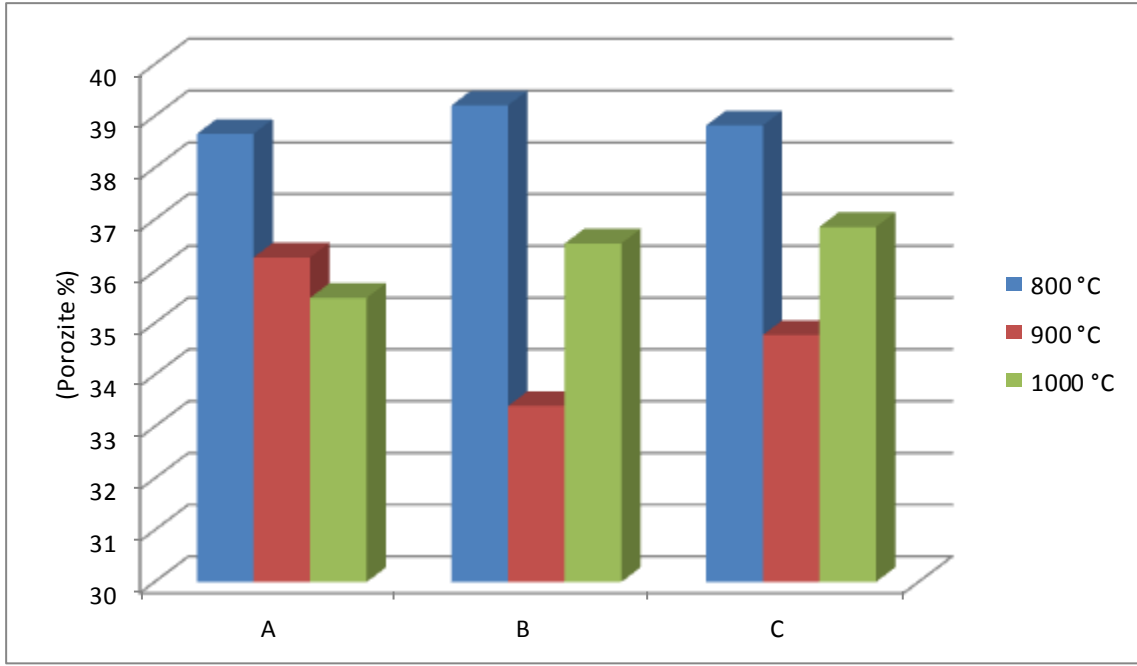
#### 4.1.1 Porozite Değerleri

Porozite değerlerini etkileyen iki etken belirlenmiştir. Bunlar örneklerin pişirme sıcaklığı ve karışımdaki kırmızı çamur oranıdır. Pişirme sıcaklığı arttıkça kontrol serisinde porozite değeri düzenli olarak azalırken %5 ve %10 kırmızı çamur katkılı numunelerde porozite en yüksek değerine 800 °C de B gurubunda(%39,21) ve en düşük değeri de 900 °C de yine B gurubunda(%33,40) meydana gelmiştir. Genel anlamda sıcaklığın artması poroziteyi düşürmüştür. Porozite değeri 800 °C 'de %39,21 ile %38,66 arasında iken 900 °C 'de %36,27 ile %33,40 arasında değişen değerlerde elde edilmiştir. Buna göre pişirme sıcaklığının artması bünyedeki camsı faz miktarını artırdığı düşünülmektedir (Şekil 4.1). İkinci etken genel olarak kırmızı çamur katkı oranı arttıkça porozite değerlerinde artma meydana gelmiştir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1** Birinci seriye ait porozite değerleri.

Sıcaklık(Seri 1)	A (%0)	B (% 5 KÇ)	C (%10 KÇ)
800 °C	38,66	39,21	38,82
900 °C	36,27	33,40	34,77
1000 °C	35,49	36,54	36,86





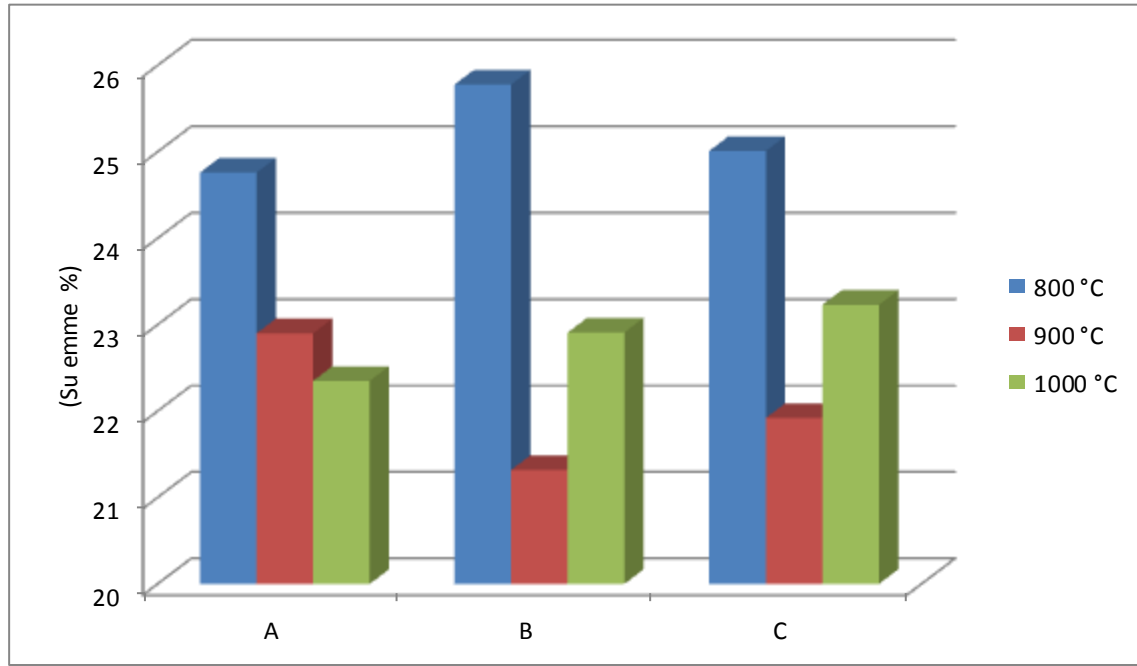
Şekil 4.1 Birinci seriye ait porozite grafiği.

#### 4.1.2 Su Emme Değerleri

Ağırlıkça su emme değerleri porozitenin bir fonksiyonudur. Örneklerin su emme değerleri düşük sıcaklık derecelerinde daha yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Buna göre en yüksek su emme değerleri 800 °C 'de ( A) serisinde gerçekleşmiştir (%25,78). Buna karşı pişirme sıcaklığının 900 dereceye çıkarılmasıyla su emme değerlerinde azalma gerçekleşmiştir (Şekil 4.2). % 5 katkılı seride (B) 900 °C'de %21,32 değeri elde edilmiştir. Su emme değerlerini etkileyen ikinci etken ise karışıma giren % 5 oranında kırmızı çamurdur. Kırmızı çamur su emme değerlerini azaltıcı etki yapmıştır. Su emme değeri 900 °C'de %5 kırmızı çamur katkılı seride en düşük değerde gözlenmiştir (B %21,32). Çizelge 4.2' de su emme değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2** Birinci seriye ait su emme değerleri.

Sıcaklık Seri 1	A (%0)	B (% 5 KÇ)	C (%10 KÇ)
800 °C	24,76	25,78	25,01
900 °C	22,90	21,32	21,92
1 000 °C	22,35	22,91	23,23



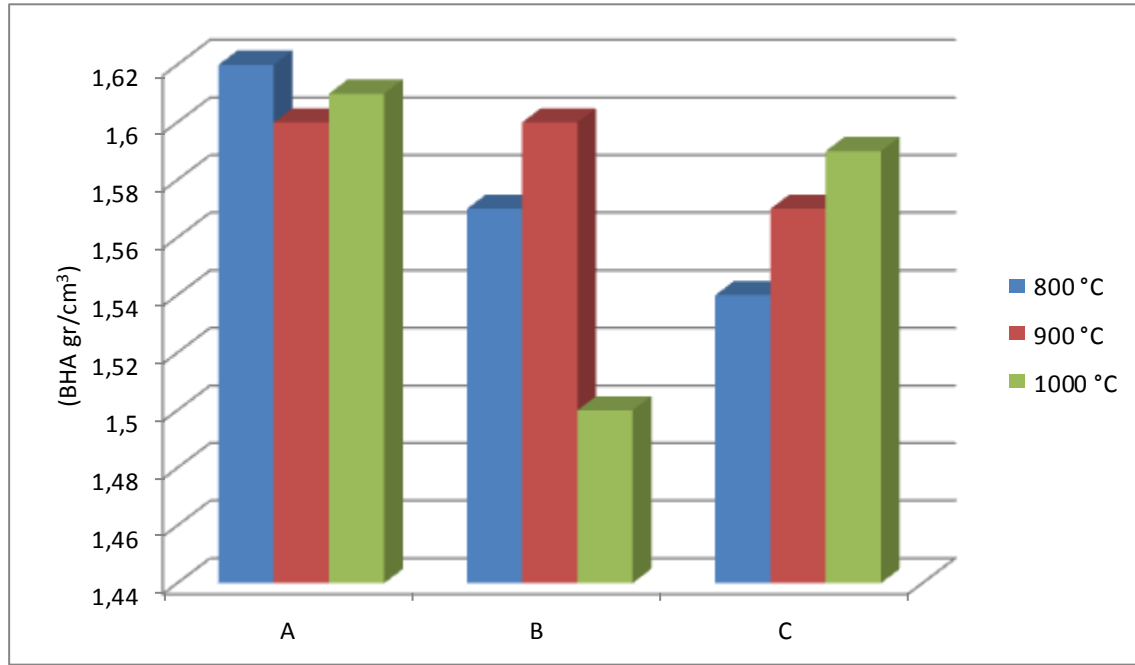
**Şekil 4.2** Birinci seriye ait su emme grafiği.

#### 4.1.3 Birim Hacim Ağırlık (BHA) değerleri

BHA değerleri sıcaklığın düşük olduğu 800 °C’de 1,62- 1,54 gr/cm<sup>3</sup> arasında görülmüştür (Şekil 4.3 ve Çizelge 4.3). 800. °C Sıcaklıkta en yüksek BHA değeri % 0 katkılı numunelerde görülmüştür (A 1,62 gr/cm<sup>3</sup>).

**Çizelge 4.3** Birinci seriye ait BHA değerleri.

<b>Sıcaklık (Seri 1)</b>	<b>A (%0)</b>	<b>B (% 5 KÇ)</b>	<b>C (%10 KÇ)</b>
<b>800 °C</b>	1,62	1,57	1,54
<b>900 °C</b>	1,60	1,60	1,57
<b>1000 °C</b>	1,61	1,50	1,59



**Şekil 4.3** Birinci seriye ait BHA grafiği.

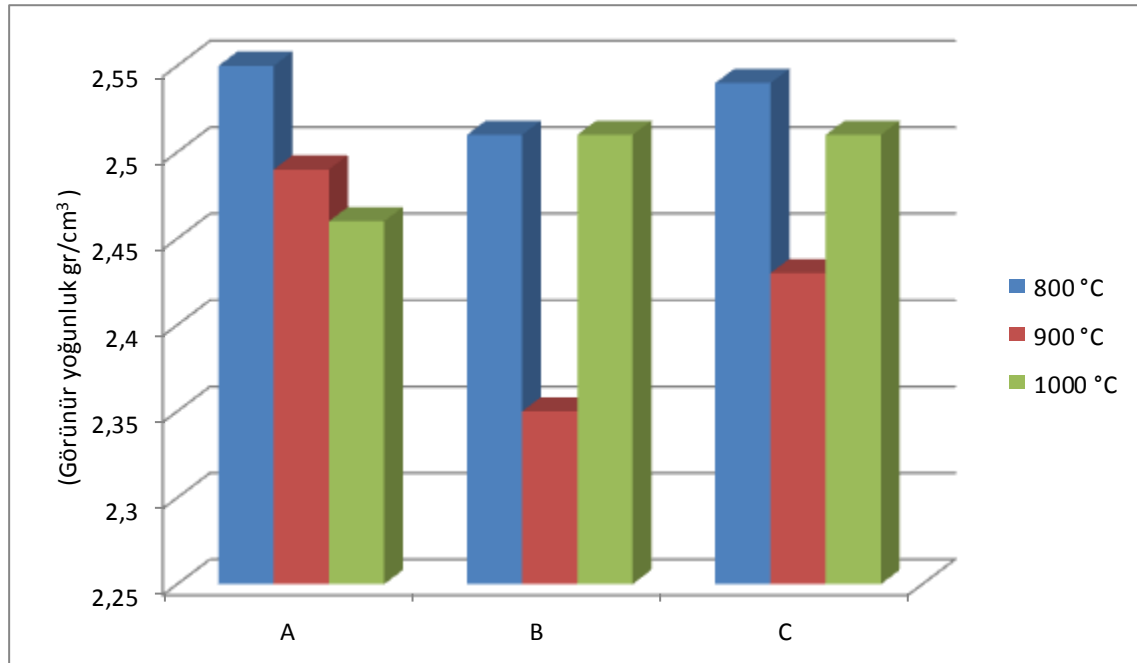
#### 4.1.4 Görünür Yoğunluk Değerleri

Görünür yoğunluk değerleri düşük sıcaklık derecelerinde 2,55-2,54 gr/cm<sup>3</sup> olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.4). Buna karşılık pişirme sıcaklığının artması ve karışıma giren kırmızı çamur görünür yoğunluk değerlerini azaltmıştır. Görünür yoğunluk değerlerinin azalmasında düşük sıcaklıklarda mevcut olan açık gözeneklerin sıcaklık

artışı ve kırmızı çamur katkısı ile yüksek sıcaklıklarda açık gözeneklerin bir kısmının kapanarak bünyede daha çok kapalı gözenek hacmini oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.4 görünür yoğunluk değerleri grafik şeklinde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4** Birinci seriye ait görünür yoğunluk değerleri.

Sıcaklık (Seri 1)	A (%0)	B (% 5 KÇ)	C (%10 KÇ)
800 °C	2,55	2,51	2,54
900 °C	2,49	2,35	2,43
1 000 °C	2,46	2,51	2,51



**Şekil 4.4** Birinci seriye ait görünür yoğunluk grafiği.

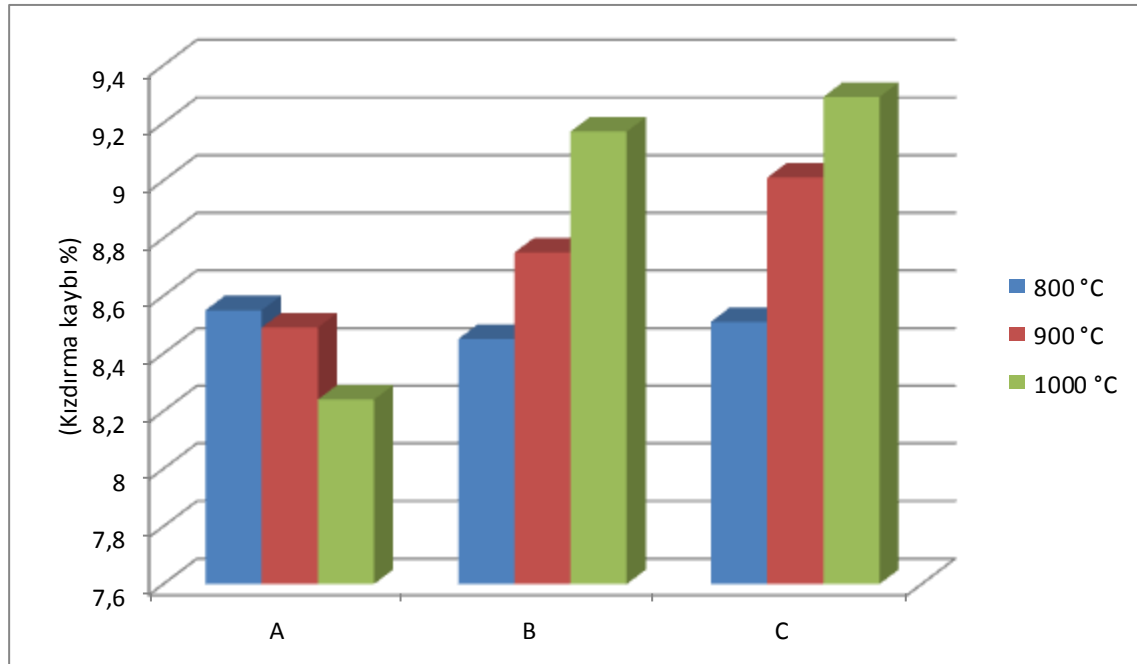
#### 4.1.5 Kızdırma Kaybı Değerleri

Örneklerin kızdırma kaybı değerleri % 8.24 ile % ,9.29 arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Kızdırma kaybı bünyedeki organiklerin yanması (400–550 °C) ve kil

bünyede kimyasal suyun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Kızdırma kaybı kontrol serisinde (A) sıcaklık ile ters orantılı biçimde gerçekleşmiştir. Bununla beraber kırmızı çamur katkılı numunelerde ise hem kırmızı çamur miktarı hem de sıcaklık artması ile birlikte kızdırma kaybı da artmıştır (Şekil 4.5).

**Çizelge 4.5** Birinci seriye ait kızdırma kaybı değerleri.

Sıcaklık (Seri 1)	A (%0)	B (% 5 KÇ)	C (%10 KÇ)
800 °C	8,55	8,45	8,51
900 °C	8,49	8,75	9,01
1 000 °C	8,24	9,17	9,29



**Şekil 4.5** Birinci seriye ait kızdırma kaybı grafiği.

## 4.2 Mekanik Özellikler

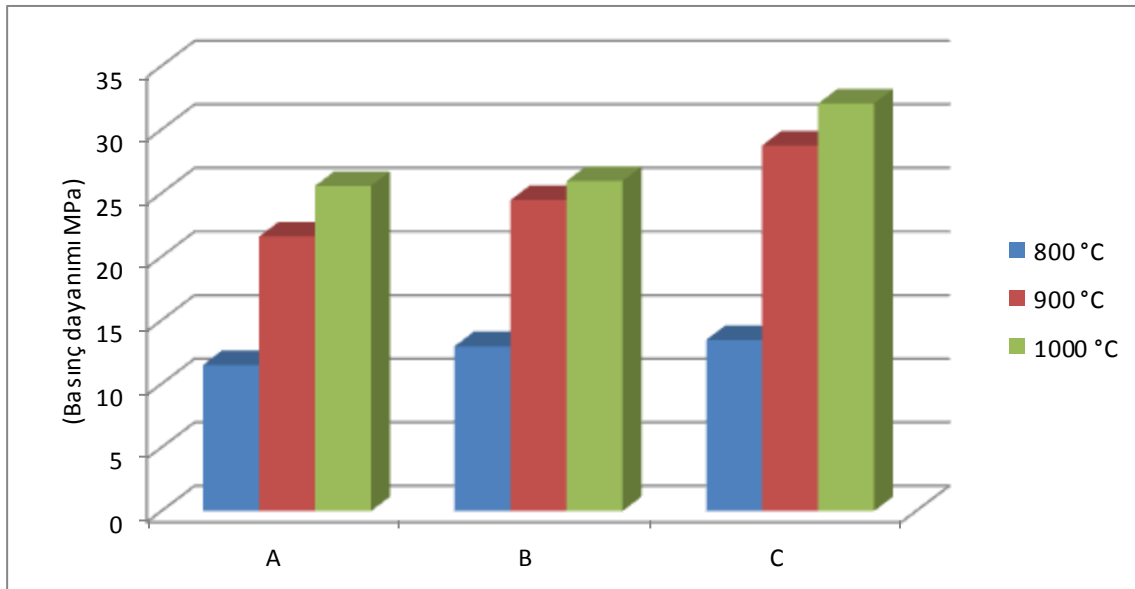
Birinci seriye ait örneklerin mekanik özellikleri bu bölümde verilmiştir.

#### 4.2.1 Basınç Dayanımı Değerleri

Basınç mukavemeti değerlerinde pişirme sıcaklık derecesi ve kırmızı çamur katkısı etken olmuştur. Serilerde başlangıç sıcaklık derecesinde (800°C) 11,51-12,97-3,47 kgf/cm<sup>2</sup> basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Buna karşı farklı pişirme sıcaklıkları için %10 (C) kırmızı çamur katkılı numunelerde basınç dayanımı değerlerinde belirgin bir artış olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.6). Buna göre 800, 900 ve 1 000 °C pişirme sıcaklığı sırası ile 13,47- 28,76- 32,05 kgf/cm<sup>2</sup> basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bu artışa kırmızı çamur katkısı içerisindeki demir minerali ile birlikte daha yüksek camsı faz oluşumu sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Numunelerin basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Birinci seriye ait basınç dayanımı değerleri.

(Seri 1) Sıcaklık	A (%0)	B (% 5 KÇ)	C (%10 KÇ)
800 °C	11,51	12,97	13,47
900 °C	21,59	24,47	28,76
1 000 °C	25,57	25,96	32,05



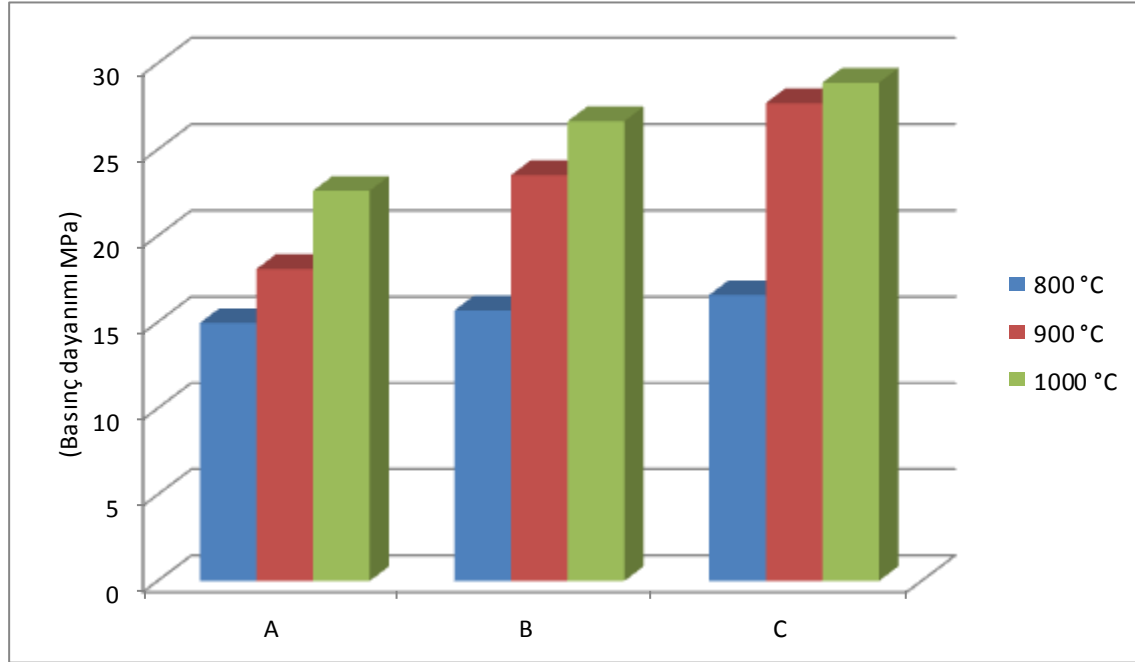
Şekil 4.6 Birinci seriye ait basınç dayanımı grafiği.

**İkinci Seri:** Birinci seriye % 1 oranında katılan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , katkısız olanlara göre dayanımı artırmıştır. Ancak kırmızı çamur katkılı numunelere göre 800 °C’de dayanımı arttırırken 900 °C ve 1000 °C’de dayanımların düşmesine sebep olmuştur. Bunun  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  katkısının 800 °C’nin üzerinde kalsinasyon reaksiyonunun başlaması (Laursen at all. 2003) ile bünyede gaz basıncı oluşarak kılcal çatlaklara yol açtığı düşünülmektedir. Çizelge 4.7 mekanik ve fiziksel özellikleri verirken Şekil 4.7 ikinci seriye ait basınç dayanımı değişimini göstermektedir.

**Çizelge 4.7** İkinci seriye ait Fiziksel ve Mekanik değerler.

(Seri 2) Sıcaklık (°C)	Örnek Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Porozite (%)	Su Emme (%)	Gör.Yoğ. ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Kızdırma Kaybı(%)	Birim H. Ağırlık ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
800	A	14,96	38,24	23,65	2,62	8,33	1,62
	B	15,69	39,77	25,29	2,61	8,44	1,57
	C	16,58	40,68	26,39	2,60	8,81	1,54
900	A	18,09	32,21	20,12	2,36	8,79	1,60
	B	23,53	34,76	21,71	2,46	9,13	1,60
	C	27,70	34,59	22,02	2,40	9,45	1,57
1 000	A	22,62	32,43	20,10	2,39	9,89	1,61
	B	26,65	35,86	26,39	2,35	9,61	1,50
	C	28,88	33,37	20,94	2,39	10,01	1,59

(A %1  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , B %5 KÇ+ %1  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , C %10 KÇ +%1  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

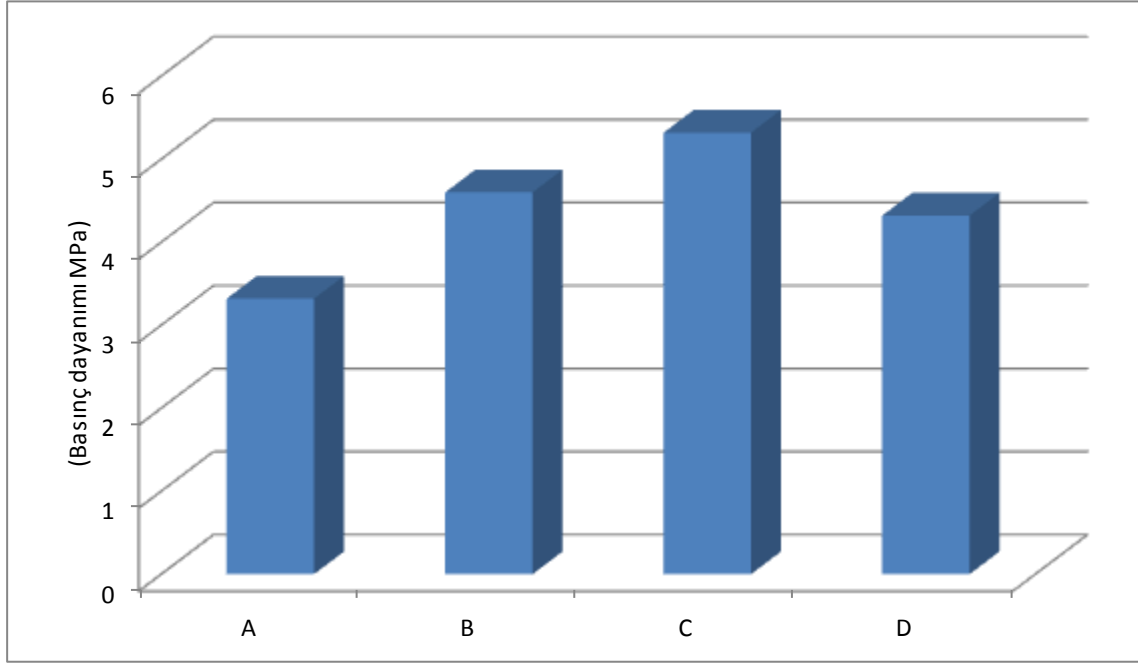


**Şekil 4.7** İkinci seriye ait basınç dayanımı grafiği.

**Üçüncü Seri:** Pişirmenin tuğla özelliklerine etkisi araştırılması için pişmiş numunelerin yanında bir de pişmemiş numuneler üzerinde de basınç mukavemeti değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.8).

**Çizelge 4.8** Üçüncü seriye ait basınç dayanımı değerleri.

Seri 3	Örnek Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)
	A	3,32
	B	4,60
	C	5,32
	D	4,32



**Şekil 4.8** Üçüncü seriye ait basınç dayanımı grafiği.

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi pişmemiş numunelerde kırmızı çamur katkısı basınç dayanımını gözle görülür derecede arttırmıştır.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  katkısı pişmemiş numunelerde dayanımı arttırmıştır.



## 5 SONUÇLAR

- Tuğla kiline ilave edilen kırmızı çamur basınç mukavemetini dikkate değer biçimde artırmıştır.
- Karışıma ilave edilen % 5 kırmızı çamur 900 °C de pişirilen örneklerin porozitesini ve buna bağlı olarak su emme değerlerini düşürmüştür.
- Birinci seride 800 °C'de % 0 katkılı örneklerin birim hacim ağırlık değerleri % 5 ve %10 kırmızı çamur katkılı örneklere nispeten daha yüksek çıkmıştır (Çizelge 4.3).
- Birinci seride görünür yoğunluk değerleri katkısız örneklerde sıcaklığın artmasıyla azalma göstermiştir. Kırmızı çamur katkılı örneklerin görünür yoğunluk değerleri ise en düşük değerine %5 kırmızı çamur katkılı örneklerde 900 °C de görülmüştür.
- Katkısız örneklere göre kırmızı çamur katkılı örneklerin pişme rengi daha koyu kırmızı renk kazanmıştır. Bu duruma kırmızı çamur içerisindeki  $Fe_2O_3$ 'ün sebep olduğu düşünülmektedir.
- %1 oranında katılan  $Na_2CO_3$ , 800 °C'de kontrol numunelerine (katkısız) göre dayanımı artırmıştır. Buna neden olarak  $Na_2CO_3$  katkının plastiklik suyunu azaltarak daha az şekillendirme suyu gerektirmesi ve bunun sonucunda daha kompakt bünye elde edilmesini sağladığı düşünülmektedir. Ancak kırmızı çamur katkılı numunelere göre 800 °C'de dayanımı arttırırken 900 °C ve 1 000 °C'de dayanımların düşmesine sebep olmuştur (İkinci seri). Buna ise 800 °C'nin üzerinde  $Na_2CO_3$ 'ün kalsinasyona başlaması ile ortaya çıkan  $CO_2$  gazının bünyede basınç oluşturarak kılcal çatlaklara yol açmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Öneriler:**

- Kırmızı çamur katkısı pişmiş tuğlanın rengini geleneksel tuğla kırmızısına çevirmekte uygun bir katkı olarak kullanılabilir.
- KÇ katkısının tuğlanın mekanik özelliklerini artırması olumlu bir katkı olarak değerlendirilmelidir.
- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katkı şekillendirme için gereken plastiklik suyunu azaltarak daha kompakt bünye elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda (800 °C ) pişirilecek tuğlalar için belli oranlarda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katkısı mekanik özelliklere olumlu katkı sağlayacaktır.

## 6 KAYNAKLAR

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

Akıncı, A. (2004). Polimer Matrisli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya.

Chandra, S., Waste Materials Used In Concrete Manufacturing, New Jersey, (1997).

Çelebi, G.Ü., (2007). Yapı Malzemeleri ve Yapıda Kullanım Özellikleri, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ders Notları, Ankara.

CRC Handbook of chemistry and physics (1986). Weast RC (ed). 66th edition, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida, B-142.

Çörez, S. (2002). Tuğla, SDÜ, Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, Isparta.

Demir, İ., Başpınar, M.S. (2006). Tuğla Kilinin İşlenmiş Çay Atıkla Stabilizasyonu, GAP 5. Mühendislik Kongresi, 26-28 Nisan, Şanlıurfa, 1013-1017.

Demir, İ. (1995). Afyon Çobanlar Bölgesi Killerinin Tuğla Yapımına Uygunluğunun Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.

Demir, İ. (2006). Termik Santral Atığı Küllerin Tuğla Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, AKÜ, Tek. Eğit. Fak., Yapı Eğit. Böl., Bil. Arşt. Proj. Sonuç Raporu, Afyonkarahisar.

Doğan, Ş. (1993). Açıklamalı Seramik Teknolojisi, Birsen Yayınevi, 1-143.

- Dökmen, L. (1989). Salihli ve Turgutlu'dan Alınan Tuğla-Kiremit Hammaddelerine Uygulanan Analizler ve Sonuçları, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, İzmir, 4-21.
- Dönmez, S. (1993). Yapı Bilgisi 3. (Çeviri) Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, 149-173, Ankara.
- DPT., 216-Ö.İ.K., 623. (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri 2 (Refrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit- Olivin-Zirkon-Disten, Sillimanit, Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu, 1-23, Ankara.
- Ekmekyapar, T. Ve Örüng, I. (1993). İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 145, 22-36, Erzurum.
- Evcin, A., Demir, İ. (2001). Afyon Tuğla Killerinin Optimum Pişme Parametrelerinin Belirlenmesi, I. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu, 152-158, Eskişehir.
- Johnson W, Swanson K. (1987). Final report on the safety assessment of sodium sesquicarbonate, sodium bicarbonate, and sodium carbonate. J. Am. College Toxicol., 6, 121-138.
- Kurşun, İ., İpekoğlu, B. (1995). Türkiye Kuvars Kumu Potansiyeline Genel Bir Bakış, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 169-173, İzmir.
- Kuşçu, M. (1991). Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller Ders Notları, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayın No: 2, Isparta, 156-178.
- Köktürk, U. (1993). Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayın No. 205, 250-266, İzmir.
- Köktürk, U. (2002). Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 250-255.

Kılıç, A.M., Koçhisar, Ş. (2003) Ankara Civarındaki Killerin Tuğla-Kiremit Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği, 11. Ulusal Kil Sempozyum, 258-262, İzmir.

Kılıç Y., Günay E., Kara M. (2006) Kırmızı Çamurun Renkli Beton Üretimde Pigment Olarak Kullanımı Tübitak MAM, Malzeme Enstitüsü Gebze, Kocaeli.

Kibici, Y. (2002). Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri Afyon.

Laursen K., Kern AA, Grace JR, Lim CJ., Characterization of the enhancement effect of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  on the sulfur capture capacity of limestones, Environ Sci Technol. 2003 Aug 15;37(16):3709-15.

Öneş, A. (1988). İnşaat Malzeme Bilgisi Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1094, Ders Kitabı:315, 67-75, Ankara.

Özçelik, N. (1975). İnşaat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 211, İstanbul.

Seyhan. İ. (1972). Kaolin, Bentonit, Kil ve Tuğla-Kiremit Toprakları Jeolojisi, MTA Eğitim Serisi, No: 13, Ankara.

Sönmez, E., Yorulmaz, S., (1995). Kırka Boraks İşletmesi Artık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 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, 48-56.

The Merck Index, an encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals (1983). Windholz M (ed), tenth edition, Merck & Co., Inc, Rahway, USA, 1232.

Toydemir, N., (1978). Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim Kaynaklarının Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Tokyay, M., Çetin, B., (1991). Preslenmiş Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlaların Dayanım ve Su Emme Özellikleri, Teknik Dergi, TMMOB İnş. Müh. Odası Yayın, Cilt 2, 385-394, İstanbul.

Ulusoy, A., (2008). Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 10-30.

Yalçın, N., (1995). Kırmızı Çamurun Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Sakarya.

Yıldız, A., (1999). Seramik Killeri ve Özellikleri, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalı Doktora Programı. 1-30, Isparta.

Yılmaz, S. G., (1994). Killerinin Jeokimyasal Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yüksel, A.N., Şişman, C.B., (2003). Tarımsal İnşaat. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:278, Ders Kitabı No:36, Tekirdağ.

### **İnternet Kaynakları**

### **Erişim Tarihi**

İnt. Kaynak 1 [http://www.kilsan.com/topragin\\_dansi.htm](http://www.kilsan.com/topragin_dansi.htm)

10/05/2012

İnt. Kaynak 2 <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil>

16/05/2012

İnt. Kaynak 3 <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/oik491/>

28/05/2012

İnt. Kaynak 4 [http://www.askimya.com/hafif\\_soda-835\\_tr\\_cd.html](http://www.askimya.com/hafif_soda-835_tr_cd.html)

20/09/2012

## 7 ÖZGEÇMİŞ

<b>Adı Soyadı</b>	Mahmut LEVENT
<b>Doğum Yeri</b>	Malatya/HEKİMİHAN
<b>Doğum Tarihi</b>	08.08.1987
<b>Medeni Hali</b>	Bekar
<b>Yabancı Dili</b>	İngilizce
<b>Eğitim Durumu</b>	
<b>Lisans</b>	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü 2006- 2010.
<b>Yüksek Lisans</b>	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı 2010-2012.
<b>Çalıştığı Kurumlar</b>	2009- 2010 tarihlerinde Özkınık İnşaat'ta staj yaptım 2010- 11 tarihlerinde Çavlan İnşaat'ta çalıştım.