

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİREMİT SEKTÖRÜNDEKİ ENDÜSTRİYEL ATKILARIN  
GERİ KAZANILMASI**

Kimya Mühendisi Ünal ÖZÇAY

**FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sabriye PİŞKİN (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2010**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTIMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. Tuğla ve kiremit endüstrisi.....	3
2.1 Tuğla ve Kiremit Malzemelerinin Tarihçesi.....	3
2.2 Tuğla ve Kiremit Üretimi.....	6
2.2.1 Tuğla ve kiremit hammaddelerinin bileşimi.....	6
2.2.1.1 Silis (SiO <sub>2</sub> ).....	6
2.2.1.2 Alümina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ).....	6
2.2.1.3 Temel alkali bileşikler.....	7
2.2.1.4 Demir mineralleri.....	7
2.2.1.5 Kalsiyum mineralleri.....	8
2.2.1.6 Magnezyum mineralleri.....	8
2.2.1.7 Titanyum mineralleri.....	9
2.2.1.8 Tuğla ve kiremit çeşitleri.....	9
2.2.2 Normal tuğla (TS-704).....	11
2.2.2.1 Özel boyutta yassı tuğla.....	11
2.2.2.2 Delikli tuğla (TS- 705).....	11
2.2.2.3 Asmolen döşeme tuğla bloklar (TS- 407).....	11
2.2.2.4 Cephe tuğlası (fabrika yapısı duvar tuğlası) (TS-705).....	11
2.2.2.5 Ateş tuğlası.....	12
2.2.2.6 Kiremit.....	12
2.3 Tuğla ve Kiremit Malzemelerinde İstenilen Özellikler.....	12
2.3.1 Kimyasal bileşim.....	12
2.3.2 Tane boyutu (inceliği).....	13
2.3.3 Plastisite.....	13
2.3.4 Küçülme.....	13
2.3.5 Pişme rengi.....	14
2.4 Kiremit Üretim Prosesi.....	14
2.4.1 Kil ocağından kilin getirilmesi.....	14
2.4.2 Hammadde hazırlama.....	15
2.4.3 Şekillendirme.....	17

2.4.4	Kurutma .....	17
2.4.5	Piştirme .....	18
2.4.6	Kalite kontrol, paketleme ve depolama .....	20
2.5	Türkiye’de Tuğla ve Kiremit Üretimi.....	21
3.	KİREMİT ATIKLARI VE UÇUCU KÜLLERİN FARKLI SEKTÖRLERDE DEĞERLENDİRİLMESİ .....	24
4.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	26
4.1	Hammaddeler.....	26
4.1.1	Muttalıp kili .....	26
4.1.2	Kiremit atığı.....	26
4.1.3	Uçucu kül.....	27
4.2	Karakterizasyon .....	28
4.2.1	X-Işını difraktometre cihazı (XRD).....	28
4.2.2	Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	28
4.2.3	Diferansiyel termal analiz/termogravimetri cihazı (DTA/TG).....	29
4.3	Numune Hazırlama Ekipmanları ve Test Cihazları.....	29
4.3.1	Çamur karıştırıcı .....	30
4.3.2	Extruder (vakum pres) .....	30
4.3.3	Kumpas .....	31
4.3.4	Mukavemet cihazı.....	32
4.3.5	Elektronik nem cihazı .....	33
4.4	Deneysel Yöntem.....	33
4.4.1	Reçetelerin hazırlanması.....	34
4.4.2	Şekillendirme.....	35
4.4.3	Kurutma .....	35
4.4.4	Piştirme .....	36
5.	DENEYSEL SONUÇLAR .....	39
5.1	Hammaddelerin karakterizasyon sonuçları.....	39
5.1.1	İşletme kili ve kiremit atığının elek analizi sonuçları.....	39
5.1.2	Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerin XRD analiz sonuçları.....	39
5.1.3	Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerinin SEM görüntüleri.....	41
5.2	Örnek Numunenin ve Reçetelerin DTA/TG Eğrileri.....	46
5.2.1	Örnek numunenin DTA/TG eğrisi.....	46
5.2.2	Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri .....	47
5.2.3	Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri .....	47
5.3	Kuru Mukavemet ve Kuru Çekme Sonuçları .....	49
5.3.1	Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme sonuçları.....	49
5.3.2	Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme sonuçları.....	50
5.4	Toplam Küçülme Sonuçları .....	53
5.4.1	Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin toplam küçülme sonuçları sonuçları .....	53

5.4.2	Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin toplam küçülme sonuçları sonuçları .....	53
5.5	Mukavemet Sonuçları .....	55
5.5.1	Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin mukavemet sonuçları .....	55
5.5.2	Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin mukavemet sonuçları .....	56
5.5.3	Su Emme Sonuçları .....	59
5.5.3.1	Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin su emme sonuçları .....	59
5.5.3.2	Muttalıp kili – kiremit atığı- uçucu kül içerikli reçetelerin su emme sonuçları ....	59
5.6	Ateş Kaybı Sonuçları .....	62
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	70
	EK 1: Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri .....	71
	EK 2: Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri.....	73

## SİMGE LİSTESİ

°C	Celsius
K	Kelvin
V	Volt
$2\theta$	Difraksiyon açısı
$\theta$	Teta

## KISALTMA LİSTESİ

AZ	Ateş Zaiyatı
XRD	X-ışını Difraktometresi
DTA-TG	Diferansiyel Termal Analiz/Termogravimetri
SEM	Scanning Electron Misroscope
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spektrofotometresi
K	Potasyum Magnezyum Silikat
C	Klinoklor
Q	Kuvars
A	Albit
U	Uçucu Kül
IR	Demir Oksit
M	Muskovit
I	İllit
Ca	Kalsit
H	Hematit
$L_y$	Plakanın Yaş Uzunluğu (mm)
$L_p$	Plakanın Pişmiş Uzunluğu (mm)
$S_{ya}$	Plakanın Yaş Pişmiş Ağırlık (g)
$S_{ka}$	Plakanın Kuru Pişmiş Ağırlık (g)
SÖ	Seyitömer Uçucu Külü
P	Kırma Ağırlığı (kg)
L	Destek Aralığı (cm)
b	Çubuk Genişliği (cm)
h	Çubuk Yüksekliği (cm)
$A_k$	Plakanın Kuru Ağırlığı (g)
$A_p$	Plakanın Pişmiş Ağırlığı (g)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSEK	Türk Standartları Enstitüsü Kullanma Hakkı
TB	Tunçbilek Uçucu Külü

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Babil’de zafer yolu’nun tuğla duvarlarından bir ayrıntı (Yanık, 2005) .....	4
Şekil 2.2 Kiremit üretim prosesi.....	15
Şekil 2.3 Kil ocağından, kilin nakliye kamyonlarına yüklenmesi [1] .....	16
Şekil 2.4 Kil ocağından getirilen kilin, fabrikanın hammadde bölümünde hazırlanması [1]...	16
Şekil 2.5 Tuğla ve kiremit şekillendirme bölümü [1].....	17
Şekil 2.6 Tuğla ve kiremitlerin kurutmaya giriş bölümü [1].....	18
Şekil 2.7 Tuğla ve kiremitlerin kurutmadan çıkış bölümü [1] .....	19
Şekil 2.8 Tuğla ve kiremit pişirme sonrası görüntüsü [2] .....	20
Şekil 2.9 Paketlenen tuğla kiremitlerin sevkiyatı [1] .....	21
Şekil 2.10 Türkiye’de tuğla ve kiremit üretiminin yoğun olduğu bölgeler [3] .....	22
Şekil 2.11 Türkiye’de Tuğla ve kiremit üretiminin çok olduğu bölgeler, (a) tuğla, (b) kiremit	23
Şekil 2.12 Türkiye’de Tuğla ve kiremit üretiminin çok olduğu bölgeler, (a) tuğla, (b) kiremit	23
Şekil 4.1 XRD cihazı.....	28
Şekil 4.2 SEM cihazı .....	29
Şekil 4.4 DTA/TG cihazı.....	29
Şekil 4.5 Karıştırıcı.....	30
Şekil 4.6 Extruder (Vakum Pres).....	31
Şekil 4.7 Elektronik kumpas.....	31
Şekil 4.8 Mukavemet cihazı .....	32
Şekil 4.9 Elektronik nem cihazı.....	33
Şekil 4.10 Kiremit üretimi deneysel yöntemi.....	34
Şekil 4.11 Atık katkılı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların kurutma çıkışı görüntüsü .....	36
Şekil 4.12 Atık katkılı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların 1020° C’ deki.....	37
Şekil 4.13 Atık katkılı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların fırın çıkışı görüntüsü .....	38
Şekil 5.1 Muttalıp kili ve kiremit atığının elek analizi .....	39
Şekil 5.2 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerinin XRD paternleri	40
Şekil 5.3 Muttalıp kilinin SEM görüntüleri, (a) X500, (b) X1500, (c) Parçacık boyut dağılımı	42
Şekil 5.4 Kiremit atığının SEM görüntüleri, (a) X500, (b) X1500, (c) Parçacık boyut dağılımı	43
Şekil 5.5 Seyitömer uçucu külünün SEM görüntüleri, X 500, (b) X 1500, (c) parçacık boyut dağılımı .....	44
Şekil 5.6 Tunçbilek uçucu külünün SEM görüntüleri, (a) X 500, (b) X 1500, (c) parçacık boyut dağılımı .....	45

Şekil 5.1 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Tunçbilek içerikli reçetelerin mukavemet eğrileri, (a) Mukavemet, (b) Dönüştürülmüş Mukavemet .....	57
Şekil 5.2 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Seyitömer içerikli reçetelerin mukavemet eğrileri, (a) Mukavemet, (b) Dönüştürülmüş Mukavemet .....	58
Şekil 5.3 Muttalıp Kili-Kiremit atığı içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme.....	60
Şekil 5.4 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Tunçbilek içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme. ....	61
Şekil 5.5 Muttalıp kili-Kiremit atığı-Seyitömer içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme. ....	62
Şekil 5.6 Muttalıp kili-Kiremit atığı-Uçucu kül içerikli reçetelerin ateş kaybı sonuçları, (a) Muttalıp kili-Kiremit atığı, (b) Muttalıp kili, Kiremit atığı, Tunçbilek uçucu külü, (c) Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer uçucu külü .....	63



## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Farklı mineral gruplarının tuğla ve kiremit oluşumuna etkileri (Yanık, 2005).....	10
Çizelge 2.2 Tuğla ve kiremit çeşitlerinin TSE sınıflandırılması (Aksin, 2007).....	9
Çizelge 4.1 Muttalıp kilinin kimyasal bileşimi .....	26
Çizelge 4.2 Kiremit atığının kimyasal bileşimi .....	27
Çizelge 4.3 Uçucu küllerin kimyasal bileşimi.....	27
Çizelge 4.4 XRD analiz parametreleri.....	28
Çizelge 4.6 DTA/TG analiz parametreleri .....	29
Çizelge 4.7 Karıştırıcı analiz parametreleri .....	30
Çizelge 4.8 Extruder (Vakum Pres) parametreleri .....	31
Çizelge 4.9 Elektronik kumpas parametreleri .....	32
Çizelge 4.10 Mukavemet cihazı parametreleri .....	32
Çizelge 4.11 Elektronik nem cihazı parametreleri .....	33
Çizelge 4.12 Kiremit atığı, Muttalıp kili ve uçucu kül içeren reçete oranları .....	35
Çizelge 5.1 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerin kristal faz....	41
Çizelge 5.2 Örnek ve reçetelerin termal davranışları .....	49
Çizelge 5.3 Mukavemet dönüşüm faktörü.....	55
Çizelge 5.4 Su emme dönüşüm faktörü.....	59

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, son zamanlarda, Türkiye ve Dünya’da tuğla-kiremit sektöründe kullanılan hammadde temini ile ilgili yaşanan sıkıntılardan dolayı, tuğla-kiremit atıklarının aynı sektörde tekrardan kullanımı ele alınmıştır.

Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca; çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimi ile bana yol gösteren yardımlarını ve zamanını hiç esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Sabriye PİŞKİN’ e;

Deneysel çalışmalarımın her aşamasında, yardımlarından ve desteklerinden dolayı, Arş.Gör. Aysel KANTÜRK FİGEN’ e; SEM analizlerini yapan Kimya Yük. Mühendisi Seyhun KIPÇAK’a ve XRD analizlerini yapan Teknisyen Cem ÇAKMAK’a, sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

İş yaşamımda, destek ve güvenini hiçbir zaman esirgemeyen, Gürallar Kiremit Genel Müdürü Ahmet YÖNDEM’ e, sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Analiz ve testlerin her aşamasında bana yardımcı olan, Maden Müh. Mehmet ŞAHİN’e, Seramik Müh. Erdem USLU’a, Seramik Müh. Kenan ERZİNCALI’e, Seramik Müh. İlker ÖZEN’e ve Seramik Müh. Hacer Mutlu DEMİR’e, ayrıca çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Gürsel YANIK’ a ve Endüstri Yük.Müh. Fatih FINDIKLI’ e başta olmak üzere tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasının tüm aşamalarında benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim, Ziraat Müh. Özlem ÖZÇAY’a, kızım Alara Özün ÖZÇAY’a ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Ülkemizde, tuğla ve kiremit ana ürünleri bazında 418 adet tesiste tuğla ve kiremit üretimi yapılmaktadır. Tuğla ve kiremit yapımında yüksek tonajlı doğal kil kullanılmakta olup, özellikle Tekirdağ, Turgutlu, Salihli, Kütahya, Eskişehir, Çorum, Boyabat, Tokat, Nevşehir gibi bölgelerde üretim yapılmaktadır.

Tuğla ve kiremit üretimi ve taşıma işlemleri esnasında, malzemenin bir kısmında kırılmalar olmakta ve bu kırıklar atık olarak ayrılmaktadır. Genellikle, üretimin % 2-5 oranında zaiyat çıkmaktadır. Bu zaiyatın tekrardan başta tuğla ve kiremit üretiminde değerlendirilmesi neticesinde, hem ekonomik hem de çevresel katma değer sağlayacağı aşikardır. Bununla beraber tuğla ve kiremit atıklarının yanı sıra termik santrallerden yılda 15 milyon tonun üzerinde uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Bu uçucu küller, depolanması veya bertaraf edilmeden atılması önemli ölçüde çevre kirliliğine ve problemlere neden olmaktadır. Bu tip atıkların önemli bir ekonomik kaynak olarak görülmesi mevcut sorunların çözümü için gereklidir.

Bu tez çalışmasında, farklı oranlarında Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerini içeren reçeteler oluşturularak standartlara uygun kiremit üretimi gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Muttalıp kili, kiremit atığı, uçucu kül, tuğla-kiremit üretimi.

## **ABSTRACT**

In our country manufacturing of bricks and building tiles are produced, that there are 418 service areas. These service areas are using high tonnage of natural clay in the production of bricks and building tiles. Especially, manufacturing of bricks and buildings tiles are made in Tekirdağ, Turgutlu, Salihli, Kütahya, Eskişehir, Çorum, Boyabat, Tokat and Nevşehir.

There are some breaking problems in the production and transtation problems of bricks and building tiles that these breaking divide into as a waste. On the other, there are some problems in the production operations. For this reasons, generally it could be some lassen between 2 and 5 percent, in the amount of production however these lasses are used again in the production proress which provides some economic environmental improvements to the county. At the some time more then 15 million tons fly ash from thermal power plants. If these fly ashes could not be stored or moved and it will be some environmental problems in the environ area. These type of wastes should be considered as a significant economic sourceand required for the solition of existing problems.

In this dissertation, different perceptiens are generated and tiles were produced according to these standart.

**Key Words:** Muttalip clay, tiles waste, fly ash, brick-tile manufacturing.

## 1. GİRİŞ

Türkiye’de Tuğla ve Kiremit üretimi, endüstriyel üretimde önemli bir yere sahiptir. Üç odalı bir apartman katında kullanılan ortalama tuğla miktarı 3000 adettir. Çatıda ise ortalama kiremit miktarı 1200 adettir. Buna bağlı olarak tuğla ve kiremit üretimi ve inşaatlarda kullanımı sırasında atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Tuğla ve kiremit atıklarının bir kısmı inceltilerek spor alanlarına serilmek yoluyla veya başka amaçlar için kullanılmaktadır. Bazen Tuğla ve kiremit fabrikalarının depolama alanlarında düzensizce biriktirilmektedir. Atıkların verimli alan üzerine hiçbir işleme tabi tutulmadan gelişi güzel bırakılmasıyla hem görüntü kirliliği ortaya çıkmakta hem de depolama alanları azalmaktadır. Atık maddelerinin yeniden değerlendirilmesi ekonomiye katkı sağlayacaktır. Üretimde harcanan enerjiden ve de üretimde kullanılan ana malzemedan tasarruf etme imkanı doğacaktır.

Türkiye’de tuğla ve kiremit sanayii; üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir yanına dağılmış, çok sayıda üretim birimi olan bir sanayi dalıdır. Üretim hammaddelerinin kolaylıkla temin edildiği bölgelerde küçük yoğunlaşmalar gösteren sektörde 498 adet tuğla ve kiremit fabrikası vardır. Fabrika sayısının bu kadar fazla olması ulaşılan verilerin sağlıklı olmasını engellemektedir. Türkiye’de yıllık 7.5 milyar adet tuğla, 700 milyon adet kiremit üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunların yaklaşık % 7’si atık olarak ortaya çıkmaktadır (DPT, 2000).

Ülkemizdeki, elektrik enerjisinin kömüre dayalı termik santraller ile üretilmektedir. Kömüre dayalı enerji üretimi sonunda, her yıl yaklaşık 15 milyon tonun üzerinde uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Bu tip işletmelerde, uçucu küller önemli depolama ve çevre problemleri meydana getirmektedir. Bununla beraber dünya genelinde ise, 360 milyon ton uçucu kül depolandığı bilinmektedir. Dolayısı ile uçucu küller, önemli bir ekonomik kaynak olarak görülmektedir (Bentli vd, 2005).

Bu tip endüstriyel atıkların, fabrika sahasında biriktirilmesi ile rüzgar ve yağmur gibi meteorolojik etkilerin sonucunda ile birlikte; hava, toprak ve görüntü kirliliği oluşması kaçınılmazdır. Bu çevre sorunlarının yanı sıra, tarım ürünlerine zarar vermesi, yağmur suları ile yer altı sularına karışması ile besin zincirine dahil olması gibi küresel çapta çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu açıdan, ülkemizde depolama miktarları fazla olan özellikle uçucu kül ve kiremit atıkların, fabrikalarda depolanması yerine; kimya, seramik, cam, inşaat v.b. sektörlerde değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, tuğla ve kiremit üretimi esnasında oluşan atığın yeniden tuğla ve kiremit

sektöründe kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, farklı oranlarda kiremit atığı ve Muttalıp kili içeren reçeteler oluşturularak, plaka ve çubuklar hazırlanmıştır. Üretilen numunelerin toplam küçülme, su emme, mukavemet (dayanım), gibi testler gerçekleştirilerek fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bununla beraber; farklı termik santral uçucu külleri (Seyitömer ve Tunçbilek) hazırlanan reçetelerde değişik oranlarda katılarak, fiziksel özelliklerdeki değişimleri belirlenmiştir. Böylece, en uygun reçete/reçeteler saptanarak, tuğla ve kiremit atığının yanı sıra uçucu külleri tekrar kiremit üretiminde değerlendirebileceği belirlenmiştir.

## 2. TUĞLA VE KİREMİT ENDÜSTRİSİ

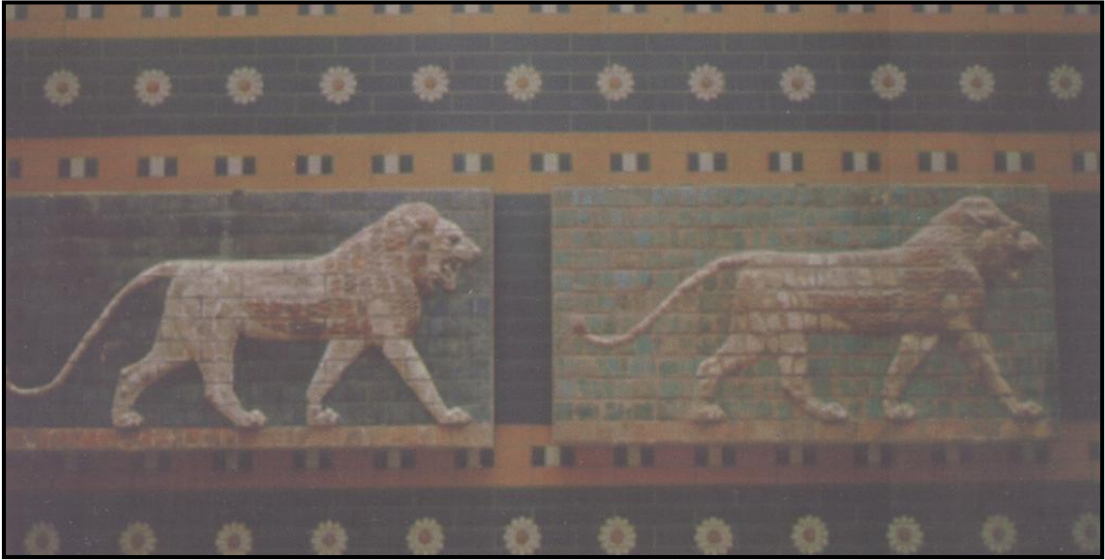
Tuğla ve kiremit en eski yapı malzemeleri olmalarına rağmen, ana özelliklerinden hiç bir şey kaybetmeden günümüze kadar gelmişlerdir. Dünyanın neresinde hangi teknolojiye göre üretilirse üretilsin, sanayileşmenin bir neticesi olarak ortaya çıkan diğer yapı malzemeleriyle rekabet edecek potansiyel gücü her zaman tabiatında taşır. Mineralojik yapısındaki zenginlik, bünyesinin bileşimi, bir anlamda bize dünyamızın oluşumunu anımsatmaktadır. Bünye oluşurken yapı taşlarının geçirdiği evrelerle yeryüzünün jeolojik gelişimi arasındaki bağılık, belkide bahsedilen bu potansiyel gücün kaynağıdır. Yapısındaki mineral zenginliğin sağladığı esneklik sayesinde, bilim ve teknolojinin yeniliklerine uyum sağlayabilmekte, başka bir deyişle kendini çağın modernizasyonuna uyarlayabilmektedir.

### 2.1 Tuğla ve Kiremit Malzemelerinin Tarihçesi

Tuğla dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Kil ile suyun buluşması ve ateş ile 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 ev dir. Artık ilk yerleşim yerlerinin ve kültürlerinin tuğla yapımına da uygun olan alüvyonlu toprakların yer aldığı geniş nehir havzalarında kurulduğu bilinmektedir. Tuğla sanatının da başlangıcı işte bu dönemlere rastlamaktadır. 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 şekillendirilmiştir. Nil deltasında yapılan arkeolojik çalışmalarda M.Ö. 14000 yılından kalma, tarihin en eski pişmemiş tuğlası bulunmuştur. Ateşin bulunması ile kısa zamanda cam ve metal eritmeyi büyük bir ustalıkla başaran insan, takriben M.Ö. 3000 yıllarında kili kum ve su ile karıştırıp tahta kalıplara dökmüş, güneşte kurutmuş ve ardından pişirerek ilk harman tuğlası üretimine geçmiştir. Çin'de pişmiş toprak kiremidin üretilmesinde hemen hemen aynı döneme rastlar. M.Ö. 1300 yıllarında II. Ramses mühürlü Nil balçığından yapılan tuğla, Kahire Müzesindedir. II. Nebukadnezar (M.Ö. 605-562) tarafından, çevresi renkli sırlarla kaplı tuğla kapı Babiloe yaptırılan Berlin Müzesindedir. Babil kulesinin inşaatında (M.Ö. 600) 85 milyon tuğla kullanılmıştır (Şekil 2.1). Kral Artaxerxes-

Memnonun (M.Ö. 404-358) palastının kabartma işlemeli ve renkli sırlanmış tuğla mimarisi, Paris Louvre Müzesinde herkesin ilgisini çekmektedir (Baykara, 2000). Yunanlı yazar Pindar, M.Ö. 5. yüzyılda Yunanlıların mermeri bularak heykel yapımında ve binalarda kullandığını anlatır. Yunanlılar mermeri önce binalarda duvar malzemesi olarak kullanmışlar fakat mermerin olumsuzlukları nedeni ile tekrar tuğlaya dönmüşlerdir. Bu arada pişmiş tuğlanın kullanılmaya başlanması ile birlikte çatı malzemesi boşluğu yaşanmıştır. Bu boşluk ise yine Korintlerin konkav kiremidi bulmuş olması ile dolmuştur. Çatılarımızda kullandığımız bu günkü yuvarlak kiremitlere benzer kiremitler imal etmişlerdir. Tek farkları biraz daha kalın ve büyük boyutlu olmalarıydı. Yapılan araştırmalar kullanılan kiremitlerin 2-3 cm kalınlığında, 50 cm eninde ve 80-100 cm boyunda olduğunu göstermiştir. Kiremidi daha sonra Yunanlılar geliştirmiş, onlardan da Romalılar devralmıştır. Batı Avrupa’da Romalılar Yunan kiremidi formlarını mümkün olduğunca geliştirmişlerdir. Özellikle yuvarlak kiremitte neredeyse bu günkü üretim kalitesine yaklaştıkları söylenebilir.



Şekil 2.1 Babil’de zafer yolu’nun tuğla duvarlarından bir ayrıntı (Yanık, 2005)

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. Bu nedenle dünyanın yedi 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 yayıldığı ve gittikçe yaygınlaştığı görülmüştür. 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. Kiremit ve tuğlada ilk standartlar Romalılar tarafından geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur. Kalınlık nedeniyle oluşan kuruma ve pişme problemlerini çözmeye çalışmışlar ve böylece ilk araştırma faaliyetleri 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. Anadolu'ya bakıldığında burada da gelişmelerin yukarıdaki tarihlere paralel olarak gerçekleştiği görülmektedir. Tarih kitapları Anadolu'da ilk pişmiş endüstriyel anlamda üretim ve kullanımın M.Ö. 4. yüzyılda Lidyalılar tarafından başlatıldığını yazmaktadır. Bu dönemde 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. Bu dönemi izleyen Osmanlı dönemine geçiş yaşanmış ve Osmanlı döneminde kiremit ve tuğla üretimi önemli gelişmeler yaşanmıştır. Küçük ve konkav Osmanlı kiremitlerinin yapımı bu dönemde gerçekleşmiştir.

Anadolu'da kiremit ve tuğlaya ilk standart Osmanlılar döneminde getirilmiştir. Fatih Sultan Mehmet dönemi tuğlaları 4.5x28x28 cm ebatlarında, taban tuğlaları ise 25x25 cm boyutlarında ve kare şekilli veya çapları 30-60 cm arasında değişen altıgenler biçiminde üretilmişlerdir. Kullanılan standartların dışına çıkan tuğlalar inşaatlarda kullanılmamış hatta satışına bile izin verilmemiştir. Bundan sonraki dönemde 18. yüzyıla kadar tuğla endüstrisinde 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 bu gün çok yoğun kullanılmaktadır. Bu iki malzeme 21. yüzyılın vazgeçilmezleri olmaya adaydır (Yanık, 2005).

## 2.2 Tuğla ve Kiremit Üretimi

Farklı mineral gruplarının ve bu grupların içindeki temel bileşimleri ie beraber tuğla ve kiremit oluşuma etkileri Çizelge 2.1’de ayrıntılı olarak verilmektedir.

### 2.2.1 Tuğla ve kiremit hammaddelerinin bileşimi

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan malzemeler genellikle saf değildir. Tek bir mineral yaygın olabilir ancak safsızlıklar özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Grimshaw (1971)’a göre killer genellikle kil minerallerinden oluşur. Ancak önemli miktarlarda safsızlık da içerebilirler ve bu safsızlıklar malzeme özelliklerini etkiler. Kullanılan hammadde içindeki safsızlıklar etkilerini; kullanılan kilin kökenine, kil mineralleri ve kil dışı minerallerin oranına, tane boyuna ve morfolojisine, üretilen malzemenin imalat şartlarına (maksimum sıcaklık, ısıtma ve soğutma hızı, fırın atmosferi, mevcut olan diğer maddelerin etkileri) bağlı olarak gösterirler. Kil içindeki kimyasal bileşimler, silis, alümina, alkali ve toprak alkali içerikli mineraller, demir bileşikleri, kalsiyum bileşikleri, magnezyum bileşikleri, titanyum bileşikleri ve tuz kompleksleridir.

#### 2.2.1.1 Silis (SiO<sub>2</sub>)

Kil içinde serbest silis (kuvars, hidrate ve kolloidal silis) ve diğer elementlerle birlikte iki şekilde (alüminyumla birlikte kil minerallerinin yapısında, alkali mineraller ve alümina ile feldispatların ve mikaların yapısında) bulunur. Hammadde içindeki serbest olarak bulunan silis miktarı, yapılacak olan tuğla ve kiremit çamurunun plastikliğinin düşmesine, kuruma ve pışme küçülmelerinin azalmasına, tane boyutu çok küçük olmadığında çekme ve kırma mukavemetinin azalmasına neden olur.

#### 2.2.1.2 Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Sadece kil mineralleri içinde bulunmaz; feldspat, mika ve andaluzit, silimanit, mullit gibi diğer alümina-silikatların kristal yapısında da yer alır. Halloysit, az miktarda gipsit (Al(OH)<sub>3</sub>) veya AlO(OH)) formunda alümina-hidrat içerebilir. Halloysit ve ateş kili (fireclay) içeren killer yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle özellikle refrakter malzeme üretiminde kullanılmaktadır. Kil minerali haricinde bulunan alüminyum bileşikleri kaolende kilin plastikliğini azaltır.

### 2.2.1.3 Temel alkali bileşikler

Silikatlar veya alümina-silikatlar: feldispat, mikalar ve sulu-mika örnek olarak gösterilebilir. Buradaki mika ve sulu-mineraller gerçekte kil mineralleridir. Alkali içerikli mineraller üretimde vitrifikasyon sıcaklığını düşürür. Kil minerali kristallerinin üzerine adsorplanan katyonlar: Montmorillonitler bu şekilde % 3'e kadar alkali miktarı içerebilirler. Ancak kaolinitlerde % 0.3'ü geçtikleri çok nadirdir. Çözünür tuzlar: Potasyum sülfat ve sodyum klorür ve bunların kompleksleri. Kil içindeki alkalilerin en önemli etkisi vitrifikasyon sıcaklığını düşürmesidir. Alümina ve silisle birleşerek düşük sıcaklıkta (700 °C) sıvı faz oluşur ve killerin pişirilmesi ile cam faz olarak kalır. Çözünür alkali tuzları killerin koloidal ve plastiklik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Alkali içerikli minerallerin çoğu plastik olmadıkları için bünyenin kuru mukavemetini düşürür.

### 2.2.1.4 Demir mineralleri

Manyetit ( $Fe_3O_4$ ): Ham killerde nadiren bulunur ancak pişirme sırasında demir oksidin kısmen indirgenmesi ile oluşabilir.

Hematit ( $Fe_2O_3$ ): Ayrışmaya maruz kalmış killerde fazla bulunmaz. Çünkü hidrata forma dönüşür (limonit). Pişmiş killerdeki en önemli renklendiricidir. Hematit bazı killerde fazla miktarda bulunur ve bu killerin kırmızı, pembe olmasına neden olur.

Limonit ( $Fe_2O_3 \cdot 11/2H_2O$ ): Sarı veya kahverengimsi amorf tanelerden oluşan sulu demir oksittir. Killer genellikle belirli bir miktar limonit içerir. Ancak ayrışma sonucu oluşmuş killerde daha fazla bulunur. Isıtma ile limonit suyunu kaybeder ve demir okside dönüşür. Bu nedenle kırmızı rengin elde edilmesi için önemli bir kaynak oluşturur.

Pirit ( $FeS_2$ ): Sarı renkli, metal parlaklığında demir-sülfür'dür. Pirit kübik kristal yapıdadır.

Götit [ $FeO(OH)$ ] veya  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ : Kahve-siyah, sarımsı ve ya kırmızımsı renklerde oluşan sulu demir oksittir. Killerin çoğunda mevcuttur ve diğer minerallerin çevresinde koloidal formda bulunur. Killerde limonit denilen minerallerin çoğu ince boyutlu götit'dir.

Demir oksit ( $FeO$ ): Ham killerde genellikle bulunmaz ancak özellikle indirgen atmosferde pişirme sırasında oluşur.

Markasit ( $FeS_2$ ): Pirit ile aynı kimyasal formüle sahiptir. Ancak iğnemsiz şekilde oluşur (ortorombik). Markasit ayrışma ile kolayca  $Fe^{+2}$ -sülfata okside olur ve kurutulmuş kilde

beyazlıklar oluşturur. Pirit ise markasitin aksine kolaylıkla ayrılmaz veya okside olmaz.

### 2.2.1.5 Kalsiyum mineralleri

Grimshaw (1971)'a göre kalsiyum bileşiklerinin kil üzerinde temel etkileri şunlardır:

- a. CaO'in tuğlada 1050 °C'ye kadar ergitici özelliği yoktur. Ancak kil mineralleri ile düşük sıcaklıkta vollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ ) veya anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) oluşturur.
- b. Hareketli, yüksek korozif etkiye sahip akışkan sıvı oluşturur. Soğutulduğunda sıkı bağlanmaya ve asitlere dirençli cam oluşturur. Cam düşük sıcaklıklarda yumuşar ve bünyede deformasyona neden olur.
- c. Reaksiyon sıcaklığının altında kalsiyum bileşikleri pişme küçülmesini düşürür.
- d. Kırmızı rengin olduğu sıcaklıkta kalsiyum bileşikleri demir minerali ile birleşerek rengin açılmasına neden olur. Renk daha fazla açılmak istendiğinde kalsiyum mineralleri çok ince taneli olarak yapı içine iyice dağıtılmalıdır.
- e. Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yaklaşık 900°C'de dekompozisyona uğrayarak kirece dönüşür ve soğutma sırasında bu şekilde kalırsa havanın nemini ve  $\text{CO}_2$ 'ini çekerek hacmini artırır ve bu nedenle seramik bünyelerde patlamalara neden olur.
- f. Yaklaşık 900°C'de  $\text{CO}_2$  çıkışı nedeniyle seramik bünyelerin mukavemetini düşürür ve su emmeyi artırır.
- g. Kalsiyum sülfat ( $\text{CaSO}_4$ ) pişirme sırasında kararlıdır ve düşük sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda bulunabilir. Yüzey tuğlalarında asıl çiçeklenmenin nedeni olarak magnezyum sülfatın yanında yer alırlar. Doğal killerde genellikle bulunmamasına rağmen kalsiyum karbonat ve pirit içeren killerin pişirilmeleri sırasında da oluşabilirler.

### 2.2.1.6 Magnezyum mineralleri

Kil içinde küçük oranlarda bulunur; manyezit ( $\text{MgCO}_3$ ), dolomit [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ], klorit, spinel, magnezyum-silikatlar (enstatit,  $\text{MgSiO}_3$ ) veya magnezyum-alümina silikatlar (kordiyerit,  $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ) şeklinde bulunabilir. Magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), tuğla killerinde çok düşük miktarlarda bulunur. Ancak %0.05'lik miktar dahi çiçeklenmeye neden olur. Kalıplama öncesi çok ince taneli baryum karbonat ilavesi ile bu negatif etki önlenebilir. Bazen pişirme sırasında magnezyum tuzları ile sülfür gazının birleşmesi sonucu da suda çözünmeyen magnezyum sülfat oluşabilir. Bu durumda baryum ilavesi çiçeklenmeyi engellemez.

### 2.2.1.7 Titanyum mineralleri

Ayrışmaya karşı dayanıklı olduğu için kil içerikli malzemelerde yaygın olarak bulunur. Bulunan ana mineraller; rutil, anataz ve brookit'tir. Killi malzemelerde titanyum miktarı genellikle % 3'ü geçmez (Yanık, 2005)

### 2.2.1.8 Tuğla ve kiremit çeşitleri

Yapı sanayinde kullanılan tuğla ve kiremitlerin sınıflandırılması Türk Standartlarına göre yapıldığında Çizelge 2.2'de verilmekte olan tuğla ve kiremit çeşitleri dikkat çekmektedir. Bununla beraber TSEK kapsamında asmolen döşeme kiriş tuğlaları da yer almaktadır.. TSE sınıflandırması dışında kalan baca, dekoratif, döşeme ve cephe kaplama tuğlaları da bu çeşitlilik arasında bulunmaktadır. (Aksin, 2007).

Çizelge 2.1 Tuğla ve kiremit çeşitlerinin TSE sınıflandırılması (Aksin, 2007).

Standart No	Tuğla ve kiremit çeşitleri
TS 704	Harman Tuğlası
TS 705	Fabrika Tuğlaları-duvarlar için dolu ve düşey delikli
TS 1260	Tasıyıcı döşeme tuğlaları (statik çalışmaya katılan)
TS 1261	Tasıyıcı döşeme tuğlaları (statik çalışmaya katılmayan)
TS 4562	Fabrika tuğlaları-duvarlar için-klinker tuğla
TS 4563	Fabrika tuğlaları-duvarlar için-yatay delikli
TS 4377	Fabrika tuğlaları-duvarlar için-düşey delikli, hafif
TS 562	Oluklu kiremitler ve mahya kiremitleri- Akdeniz tipi, Marsilya tipi
TS 3457	Kiremit-pismis topraktan
TSE EN 1304	Çatı kiremitleri ve bağlantıları parçaları-kilden imal edilmiş- tarihler ve özellikler
TS EN 538	Çatı Kiremitleri kilden yapılmış sürekli olmayan (bindirmeli) eğilme dayanımı deneyi

Çizelge 2.2 Farklı mineral gruplarının tuğla ve kiremit oluşumuna etkileri (Yanık, 2005)

Mineral Grubu	Bulunuş Türleri	Tuğla Kiremit Oluşumuna Etkileri
Silis	Kuvars, Amorf Silis, Sulu Silis, Kolloidal Silis	Yapılacak olan malzeme çamurunun plastikliğinin düşmesine, kuru ve pişme küçülmelerinin azalmasına, tane boyutu çok küçük olmağında, çekme ve kırma mukavemetinin azalmasına neden olur.
Alümina	Silikat minerallerinin kristal yapısında	Kaolen grubu minearallerde plastikliğin azalmasını, killerin refrakterliğinin artmasına neden olur.
Temel Alkali Bileşikler	Silikatlar veya Alümina-Silikatlar	Alkali içerikli minerallerde üretimde vitrifikasyon sıcaklığını düşürür. Alkali içerikli minerallerin çoğu plastik olmadıkları için bünyenin kuru mukavemetini düşürür.
Demir Mineralleri	Manyetit, Hematit, Limonit, Pirit, Götüt, Markasit	Üretilen malzemenin rengine etki eder.
Magnezyum Mineralleri	Manyezit, Dolomit, Klorit, Spinel, Enstatit, Kordiyerit, Magnezyum Sülfat	Magnezyum sülfat tuğla killlerinde çok düşük miktarlarda bulunur. Ancak %0.05'lik miktar dahi çiçeklenmeye neden olur. Bazen pişirme sırasında magnezyum tuzları ile sülfür gazının birleşmesi sonucu da suda çözünmeyen magnezyum sülfat oluşabilir.
Titanyum Mineralleri	Rutil, Anataz, Brookit	Üretilen malzemenin rengine etki eder.
Kalsiyum Mineralleri	Kalsit, Aragonit, Kalsiyum silikat ve Kalsiyum alümina silikat (Ca-Feldspat)	Hareketli, yüksek korozif etkiye sahip akışkan sıvı oluşturur. Reaksiyon sıcaklığının altında kalsiyum bileşikleri demir mineralleri birleşerek rengin açılmasına neden olur. Kalsiyum karbonat yaklaşık 900°C'de bozularak kirece dönüşür ve soğutma sırasında bu şekilde kalırsa havanın nemini ve CO <sub>2</sub> 'ni çekerek hacmini artırır, bu nedenle bünyede patlamalara neden olur. Yaklaşık 900°C'de CO <sub>2</sub> çıkışı nedeni ile seramik bünyelerin mukavemetini düşürür ve su emme oranını artırır. Kalsiyum sülfat pişirme sırasında kararlıdır ve düşük sıcaklıkta pişen tuğlalarda bulunabilir.

### **2.2.2 Normal tuğla (TS-704)**

El ve makine ile imal edilen bu tuğlalar 19x9x5 cm ebadında olmalıdır. Su emme miktarı kuru tuğla ağırlığının %20'sinden fazla olmamalıdır. Çimento harcı ile birleştirilmiş iki yarı tuğladan meydana gelen on adet tecrübe küpünden yapılacak basınç deneyinin ortalaması 65 kg/cm<sup>2</sup> olmalı ve her küpün basınç mukavemeti 50 kg/cm<sup>2</sup> den az olmamalıdır.

#### **2.2.2.1 Özel boyutta yassı tuğla**

Normal tuğla gibi olup; kalınlıkları 3 cm'den 5cm'ye kadar muhtelif şekil ve ebatta yapılabilir.

#### **2.2.2.2 Delikli tuğla (TS- 705)**

Makine ile kalıplanıp ve imal edilen bu tuğlalar, normal tuğla özelliğinde olmakla beraber, daha uzun süre ve daha iyi pişirilirlir. Delikleri muntazam ve tamamen açık olmalıdır. Birçok şekil ve ebatta üretilebilirler. Delikli tuğlalar kuru tuğla ağırlığının % 15' inden fazla su emmemelidir. Normal olarak ebadı 19x 9x5 cm'dir. Delikli tuğlalarda, deliklerin toplam alanı, delik açılan alanın yüzölçümünün en çok %75, en az %14' ü olmalıdır. Dış et kalınlığı 1.8 cm'den iç et kalınlığı da 0.8 cm'den az olmamalıdır. İyi pişmiş delikli tuğlanın her üç istikametteki basınç direnci 50 kg/m<sup>2</sup> den az olmamalıdır. Delikli tuğlanın taşıyıcı olarak kullanılabilmesi için mukavemet hesapları, şartnamelerindeki gerilme ve inaat şartlarına göre tahkik edilmelidir.

#### **2.2.2.3 Asmolen döşeme tuğla bloklar (TS- 407)**

Özel kil karışımı makine ile öğütölüp, ezilerek, karıştırılması ve homojen bir hale getirilerek normal ölçülerine uygun bir şekilde kaplanarak pişirilmesi ile elde edilirler. Bir adedi en az 120 kg'lık münferit bir yükü taşımalıdır.

#### **2.2.2.4 Cephe tuğlası (fabrika yapısı duvar tuğlası) (TS-705)**

Makine ile imal edilirler. Tamamiyle yoğun keşif, büyük bir basınç altında kaplanırlar. Çok iyi pişmiş ve yüzleri çok düzgün olmalıdır. Harca daha iyi bir şekilde yapışmaları için 19x9 yüzlerinin orta kısımları hafif bir şekilde çukur olacaktır. Basınç direnci 300 kg/cm<sup>2</sup>' den az olmayacak kuru olarak ağırlığının % 5' inden fazla su emmeyecektir. Yere 1.50 metre' den bırakıldığında kırılmayacak, üzerine vurulduğu zaman tanen bir ses verecektir.

### 2.2.2.5 Ateş tuğlası

Yüksek sıcaklığa dayanıklı olduklarından ocaklarda ve fırın iç ceperlerinde kullanılan ateş tuğlaları genellikle; alüminli ateş tuğlası, silika ateş tuğlası, izolasyon ateş tuğlası, asit ateş tuğlası, klinker ateş tuğlası, şamot ateş tuğlası, kizelgur ateş tuğlası, boru ateş tuğlası, kromit ateş tuğlası, sömi silika ateş tuğlası isimleri altında imâl edilip sınıflandırılmaktadır. İnşaatta kullanılan ebadı 19x9x5 cm'dir. Fabrika yapısı duvar tuğlası olup, makine presleri veya elde şekillendirilen özel şekilli tuğladır. Çeşitli ebat ve şekilde olanları vardır. Özgül ağırlığı 1.7' den yüksek olmalıdır. 1000 °C ile normal ısı arasında yapılacak hâret sademe deneyine en az 15 defa dayanabilmelidir. Harcı özel olup fabrikası tarafından, (kaput bezinden ya da kâğıttan torbalar), ambalajlanır ve dağıtılır her bir torba 45-55 kg arasında değişir. Ateş tuğlası kuru ot ile muhafaza edilmiş ahşap kafes sandık halinde ambalajlanır.

### 2.2.2.6 Kiremit

Yapıda kullanılacak kiremitler alaturka (TS-562) ve marsilya tipi olmak üzere iki cinstir. Alaturka kiremit yarım kesik koni şeklinde 18x35 cm. boyutlarında olup marsilya tipi kiremitin kullanıldığı yerlerde de kullanılabilirler. Marsilya tipi kiremit ise 23x41 cm dir. Ortalama 2.7 kg ağırlığındadır. Kiremit iyi cins kil ve killi maddelerin homojen bir hale getirilip su ile yoğrulduktan sonra pres ile şekillendirilmesi ve kurutulup uygun bir sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilir. Yapıda kullanılacak kiremitler muntazam iyi kalıplanmış, iyi pişmiş rengi kırmızımtırak yüzeyi düzgün ve pürüzsüz her türlü çatlak, çapak ve delikten yoksun kesitli boşluksuz ve homojen olmalıdır. Kiremitin bir ucundan el ile tutulup diğer ucuna bir demir parçası ile hafifçe vurulduğunda tannen bir ses verecektir. Kiremitin:

a - Su emme değeri ağırlık olarak en çok % 13

b - Su geçirme değeri en az 150 dakika

c - Taşıyabildiği ağırlık en az 122 kg

özelliklerinde olması istenmektedir (Aksin, 2007).

## 2.3 Tuğla ve Kiremit Malzemelerinde İstenilen Özellikler

### 2.3.1 Kimyasal bileşim

Kimyasal bileşimi oldukça önemlidir. Pişme ve pişirme özelliklerine etki eder. Safsızlıklardan dolayı killerin kimyasal bileşimi değişebilir.  $K_2O$  ve  $Na_2O$  ergitici olarak davranır ve pişirme



sıcaklığını düşürür. Bu bazen istenir bazen de istenmez.  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ise malzemelerin mukavemetini arttırmanın yanında sinterleme sıcaklığını yükseltir ve malzemede daha fazla gözenek oluşmasına neden olur.

### 2.3.2 Tane boyutu (inceliği)

Dünya genelindeki tuğla ve kiremit üretimi baz alındığında genel olarak kum fraksiyonunun  $<3\text{mm}^\emptyset$ , kalsit ve dolomitin  $<0.75\text{ mm}^\emptyset$ , feldspat ve pirit/markasitin  $<0.1\text{ mm}^\emptyset$  olmasına dikkat edilmesi gereklidir. Farklı minerallerin tane boyutları yukarıda belirtilen sınırların dışına çıktığında plastik şekillendirmede (ekstrüzyonda) iri taneler orta bölümde sıralanarak malzeme içerisinde faz ayrımını oluştururlar. Bunun sonucu kuruma kesit alanında homojen olmaz, kuru çekme anizotropikleşir.

Pişirme esnasında iri kum taneleri yani kuvars minerallerinin pişirim ve soğutma esnasında alfa/beta polimorfunda aşırı genleşme ve büzülme görülür, bu da çatlamalara yol açar. Ayrıca iri kuvars, feldspat ve kalsit/dolomit tanelerinin kil mineralleriyle reaksiyona girme kabiliyetleri düşer. Bununla doğru orantılı olarak silikatlaşma özelliği azalır ve son üründe çatlamlar, kireç patlaması gibi hatalar görülür. Markasit ve piritin iri olmasının sonucunda bozunma reaksiyonu, yani  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  gazının bünyeden çıkması zorlaşır, siyah lekelerin oluşması ihtimali artar ve ayrıca pişmiş ürünlerde pirit patlaması denilen optik hatalar oluşur.

### 2.3.3 Plastisite

Üretim yöntemine bağlı olarak kullanılan malzeme belirli bir plastiklik özelliğine sahip olmalıdır. Farklı kil mineralleri, farklı plastiklik suyuna ihtiyaç duyar. Tuğla ve kiremit malzemelerinde farklı kil mineralleri bir arada bulunur. Bunların birbiriyle ve kil olmayan mineraller ile olan yüzey alanı ilişkileri sonucu malzeme çok farklı su isteyebilir. Fazla miktarda kil minerali ihtiva eden hammadde çok iyi şekillendirilebildiği halde kururken ve pişirilme esnasında çatlamalara sebep olur.

### 2.3.4 Küçülme

Kuru küçülme tuğla üretiminde en fazla % 5, kiremit üretiminde ise %7 olmalıdır. Plastik killerin kuruma ve pişme küçülmeleri büyük olur. Plastik olmayan veya çok kumlu killerin ise küçülme değerleri düşük olur. Küçülme değerlerinin kontrolünde her iki tip kil karıştırılarak kullanılmalıdır.

### 2.3.5 Pişme rengi

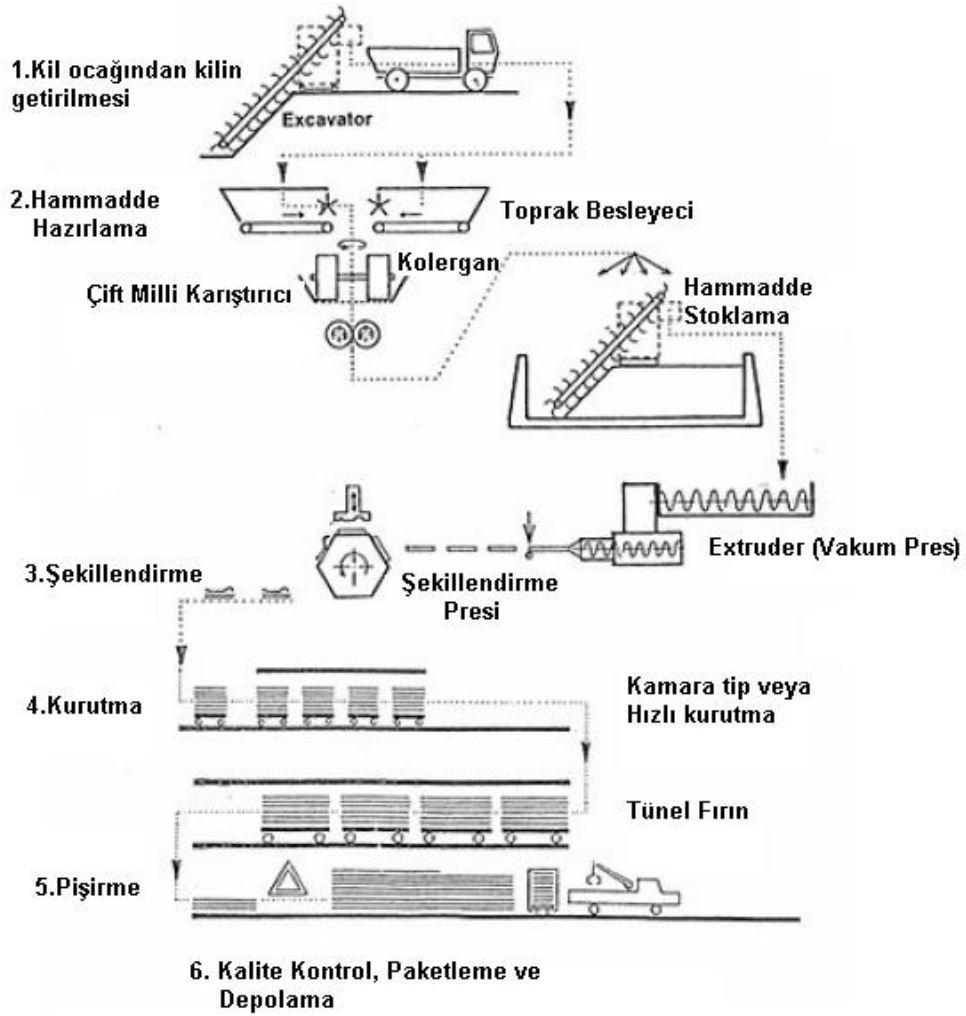
Tuğla ve kiremit sanayinde 900-1000°C'de pişen malzemelerin renginin kiremit kırmızı olması istenir. Pişme rengi mineral içeriğine ve tuz oranına bağlıdır. Fischer (1984)' e göre killeri pişirildiğinde genellikle kırmızı, kırmızımsı-kahverengi, sarımsı-kahverengi veya gri renk alır. Pişme rengi beyaz olan kil oldukça nadirdir. Pişme rengini etkileyen en önemli etkenlerden biri ürünün pişirilme sıcaklığıdır. Tuğla ve kiremit gibi yapı malzemelerinde rengi veren esas olarak demir elementidir. Ancak kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır. Demir oksidin bulunuş durumu üretilen malzemenin rengini etkileyen başka bir parametredir. Sistemde karbonat bulunduğunda renk daha düşük sıcaklıklarda elde edilir. Demir düşük oksijen içerdiğinde FeO'in oranına bağlı yeşil, mor veya siyah renk elde edilir. Ancak bu durum özellikle yapı malzemelerinde istenmeyen bir durumdur. Kil içinde bulunan organik malzemeler yakıldığında lokal olarak oluşan redüktif atmosfer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ü indirgeyebilir. Bunun neticesinde renk değişir. Ancak oksijenin bol olduğu atmosferde oluşan FeO tekrar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e dönüşür. Killerin indirgen atmosferde pişirilmelerinden sonra oksitleyici atmosferde tekrar pişirme ile rengin pembe olmasının nedeni indirgenme sırasında demir sülfat oluşması ve tekrar oksitlenme ile sistemdeki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının artmasıdır. Kilde, TiO<sub>2</sub> ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi oksitlerin varlığı tuğla ve kiremidin renginin sarı ve yeşilimsi olmasına, mangan bileşiklerinin ve organik atıkların olması kahverengi olmasına neden olur.

## 2.4 Kiremit Üretim Prosesi

Şekil 2.2'de verilmekte olan kiremit üretim süreci 6 farklı adımda incelenebilir.

### 2.4.1 Kil ocağından kilin getirilmesi

Doğada genellikle sıkışmış halde rutubetli ve plastik bir kıvamda bulunur ve sökülerek kamyonlar vasıtasıyla fabrika hammadde stok sahalarına gönderilir. Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan killeri, doğada genellikle rutubetli ve plastik bir kıvamda, bazen kuru ve toz haline getirilebilir bir şekilde, bazen de kaya menşeli olarak bulunur ve çıkarılır. Dolayısıyla doğadan elde edilen ve üretim tesislerine getirilen kil, gerek boyut olarak gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip olması için bir dizi ön hazırlıktan geçmesi gerekmektedir.



Şekil 2.2 Kiremit üretim prosesi

Hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi için, önce öğütme işlemi yapılmaktadır. Hammaddenin homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için iyice ufalanması ve ince partiküller halini alması gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli makinalarla içindeki iri taşlar, çöpler ayıklanmakta (taş ayırıcı, vals, kollergan vb.) ve istenilen tane çapına kadar öğütülmektedir.

#### 2.4.2 Hammadde hazırlama

Toprak besleyiciler yardımı ile kollergan ezme ve hammaddeye su verme işlemi yapılır. Homojen bir kil hamuru elde etmek için, kilin yeterli miktarda su ile birlikte ezilmesi ve

karıştırılması gerekmektedir. Kile azar azar su ilave edildiğinde plastikliği bir miktar artmaktadır.



Şekil 2.3 Kil ocağından, kilin nakliye kamyonlarına yüklenmesi [1]

Su ilavesi öğütme öncesinde yapılabildiği gibi, öğütme sonrasında da yapılmaktadır. Dinlendirme, hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Üretilen malzemenin kalitesini etkileyen çok önemli bir unsurdur. Killerin tiksotropik özellikleri dolayısıyla yoğurulmuş çamur dinlenme esnasında direnç kazanmaktadır. Dinlendirme işlemi öğütme işlemlerinden önce veya sonra yapılmaktadır.



Şekil 2.4 Kil ocağından getirilen kilin, fabrikanın hammadde bölümünde hazırlanması [1]

### 2.4.3 Şekillendirme

Hammadde hazırlama aşaması sonunda şekillendirilmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamül tuğla-kiremit elde edilmektedir. Şekillendirmede genellikle kalıplama, presleme ve extrude yöntemleri kullanılmaktadır. Kalıplama, genellikle harman tuğlası üretiminde kullanılan bir yöntemdir. Presleme, daha çok kiremit üretiminde kullanılır. Extruderden galeta olarak hazırlanan hammaddeler çeşitli tip ve büyüklükteki presler ile kiremit şeklini almaktadır. Extrude (vakumlama) yönteminde, hazırlanan kil sonsuz vida yardımı ve belli bir basınçla kalıptan çıkartılmaktadır. Bu yöntemde extruder (vakum pres) makinasına gönderilen hazırlanmış hammaddenin vakum yöntemi ile havası emilmekte ve plastik hale gelmektedir. Helezonlar vasıtası ile itilen hammadde vakum presin ağız kısmındaki ağızlık (filiyer) vasıtası ile iki boyutunun şeklini almakta ve sonsuz bant olarak vakum presi terketmektedir. Sonra ince tellerle kesilen malzeme üçüncü boyutu da alarak kurumaya terkedilmektedir.

### 2.4.4 Kurutma

Kurutma, kil içinde mevcut ve şekillendirmeye uygun bir kıvama getirmek için katılan suyun değişik yöntemlerle bünyeden çıkarılma işlemidir. Kurutma işleminde doğal kurutma ve suni kurutma olarak iki yöntem kullanılmaktadır.



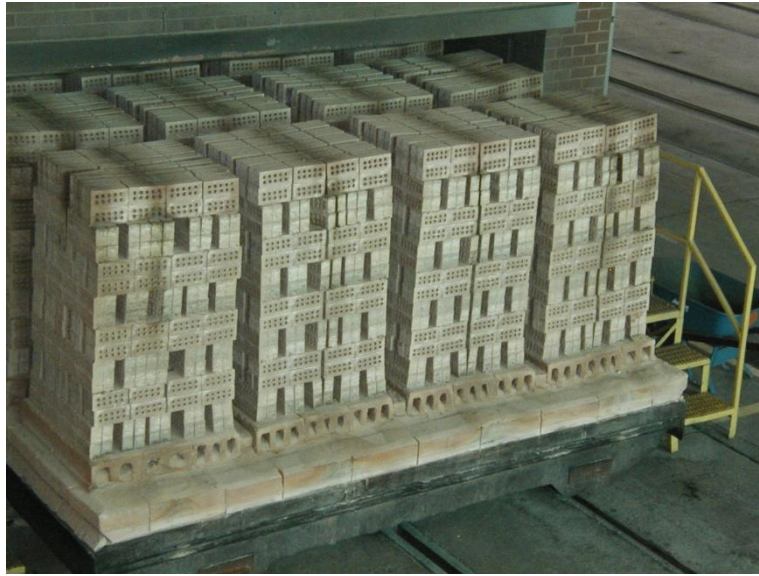
Şekil 2.5 Tuğla ve kiremit şekillendirme bölümü [1]

Doğal kurutma; ülkemizde çok yoğun olarak kullanılan ve atmosferdeki ısı enerjisinden faydalanma prensibine dayanan bir sistemdir. Extruder'den yaş olarak çıkan mamüller

genellikle kurutma sehpalarına belli bir düzenle dizilmekte, bu sehpalar geniş kapalı alanlara (saya) yada açık alanlara konarak kurumaya terkedilmektedirler. Bu kurutma yöntemi kurutma işleminde ek bir enerji gerektirmediği için ekonomik görünmektedir. Fakat kurutma işlemi için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, kurutmanın çok ağır ve uzun sürede yapılabilmesi, kontrolün yeterli olamaması, kurutmanın hava şartlarına (ısı, rutubet, rüzgar vs.) bağlı olması, işçiliğin fazla oluşu sakıncalarını oluşturmaktadır. Suni kurutma; kurutmayı doğal koşullara bırakmadan ek bir enerji sağlanarak ısının ve hava hareketinin fazlalaştırılmasıyla yapmaktır. Killi maddenin içindeki serbest suyun, önce yüksek buhar basıncı ve az sıcaklık, kurutmanın sonuna doğru alçak buhar basıncı ve yüksek sıcaklık sağlanarak dışarı atılması prensibine dayanır. Bu uygulama kurutma odaları veya tünel kurutma fırınları kullanılarak yapılmaktadır.

#### 2.4.5 Pişirme

Pişirme, tuğla ve kiremit üretimindeki en son aşamadır. Kilin kuruma aşamasında, serbest haldeki suyunu ve sonradan emdiği suyu kaybetmesinden dolayı boyutlarında küçülme olur. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300 °C civarında organik maddeler tamamen yanar, 450-650°C arasında molekül suyunu kaybeder. 850-950°C arasında kil hamurunun pişmesiyle oluşan bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli mukavemet ve renge sahip bir üründür.



Şekil 2.6 Tuğla ve kiremitlerin kurutmaya giriş bölümü [1]



Şekil 2.7 Tuğla ve kiremitlerin kurutmadan çıkış bölümü [1]

Genel olarak pişme şu aşamalardan oluşur:

1. Doldurma 2. Isınma 3. Pişme 4. Soğuma 5. Boşaltma

Türkiye’de en yoğun kullanılan fırın tipi hoffman fırın’lardır. Daha sonraki yoğunluğu tünel fırınlar oluşturmaktadır. 20 civarında da hoffman-tünel fırın karışımı olan kemer tünel fırın vardır. Hoffman fırınının, kesiti dairesel tonoz biçimindedir. Ateş hareketli, ürünler sabittir. Bu fırın yakıttan elde edilen ısıyı çok yüksek verimle kullanan ve üretim kapasitesi ve hızı yüksek olan bir fırındır. Yanmanın tam pişme durumundaki malzemenin üzerinde olması, fırın içinde hareket eden havanın bir yandan pişmiş malzeme ile temas ederek ısınması, ısınmış havadan çiğ malzemenin ısınması için yararlanılması bu fırının en önemli üstünlükleridir. Fırının üstündeki deliklerden yakıt püskürtülmekte, pişme safhası ilerledikçe püskürtme işlemi delikler boyunca ilerlemektedir. Yakıt olarak genelde kömür vb. katı yakıtlar, nadiren sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Hoffman fırınlarda, enerji kullanımı tünel fırınlara göre daha fazladır, emek-yoğun bir yapılanma gerektirdiği için maliyet yüksektir.

Tünel fırında, ana prensip olarak ürünler hareketli iken ateş sabittir. Uzun bir tünel ve içinde hareketli fırın vagonları vardır. Yarı mamul ürünler fırın vagonlarına fırının dışında istif edilmekte ve birbiri ardına vagonlar belli bir hızda, fırının içinde hareket etmektedir. Fırın içinde hareket eden ürünler ısısı gitgide artan, rutubeti azalan bir hava ortamı ile karşılaşmaktadır. Bu bölge ısınma bölgesidir. Orta bölümde pişme bölgesi (cehennemlik)

vardır. Burada pişen ürün ilerlemeye devam ederek daha önce pişmiş olan malzemenin üzerinden geçerek malzemeyi soğutmuş olan ve kendisi ısınan hava ile temas ettikçe giderek soğumaya başlamaktadır. Daha sonra fırın dışına çıkan ürünler fırın vagonları üzerinden alınmaktadır.

Piştirme bölgesinde genel olarak sıvı yakıt kullanılmakta, bazen katı yakıtlı sistemlerde yapılabilmektedir. Tünel fırınlar, ürün kalitesi yüksek, yakıt ve emek tasarrufu sağlayan, fabrikasyon süresi kısa sistemlerdir. Ancak, ilk yatırım ve bakım maliyetleri çok yüksektir. Fırın debisi çok sık değiştirilememektedir.



Şekil 2.8 Tuğla ve kiremit piştirme sonrası görüntüsü [2]

#### **2.4.6 Kalite kontrol, paketlenme ve depolama**

Piştirme fırınlarından çıkan ürünler soğuma sonrası istenilen yere sevk edilmektedir. Sevk işleminde genel olarak kamyonlar kullanılmakta fırın veya fırın vagonu önüne yanaşan araca ürün direkt olarak yüklenmektedir. Bazı fabrikalarda ürünler palet üstüne ve sonrasında naylon ile ambalaj yapılarak veya mukavva kutulara konularak sevk edilmektedir.

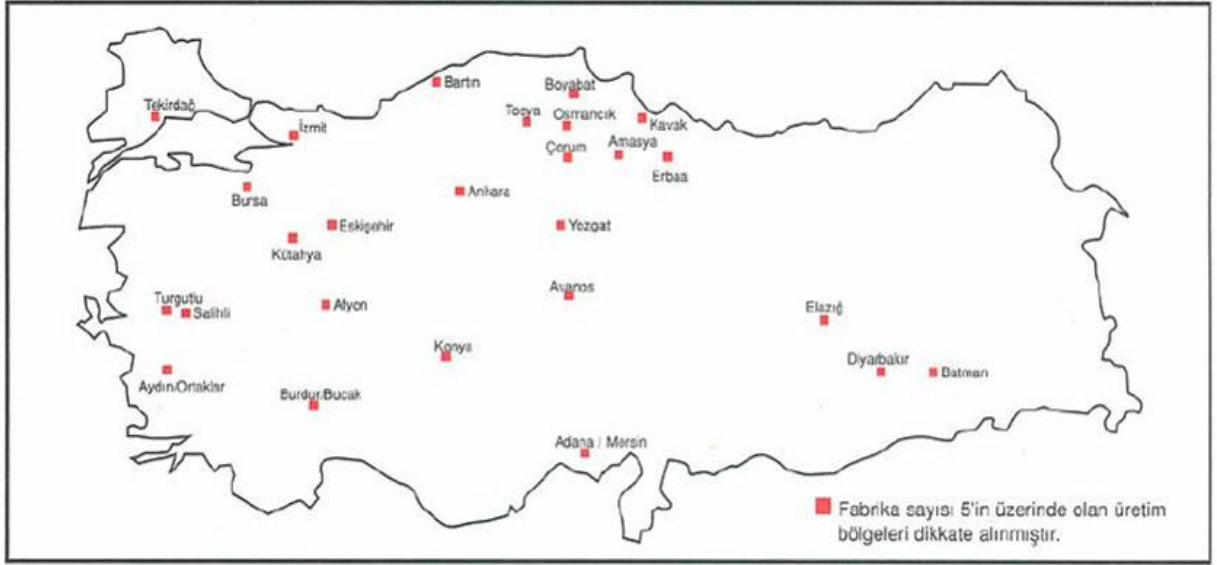




Şekil 2.9 Paketlenen tuğla kiremitlerin sevkiyatı [1]

## 2.5 Türkiye’de Tuğla ve Kiremit Üretimi

Ülkemizde tuğla-kiremit sektöründe son on yılı saymazsak teknolojik açıdan çok büyük bir atılım olmadığı görülmektedir. Özellikle 1986 yılından sonra konut sektöründeki kooperatifleşme ve kredilendirme süreci içinde fabrika sayısı artmış fakat sektöre yapılan yatırımlarda eski emek-yoğun teknolojiler kullanılmıştır. Bu istihdam açısından olumlu olmakla birlikte, kalite ne yazık ki fabrikaların projelendirme safhasında geri planda tutulmuştur. Kalitesiz üretimlerin yapılması bu dönemde sektörde yer edinmiş ve kaliteli standartlara uygun mal üreten fabrikaların rekabet şartlarını zorlamıştır. Bu oluşum günümüzde de devam etmektedir. 1997 yılından sonra inşaat sektöründe gitgide artan durgunluk öz sermayesi kısıtlı olan fabrikaların birer birer kapanmasına yol açmış atıl tesisler oluşmuş ve sektörel işsizlik gitgide artmıştır. Ülke çapında fabrika sayılarına bakarsak özellikle hammaddenin kaliteli olduğu bölgelerde yoğunlaşmış olduğunu görürüz. Tuğla-kiremit sanayi, hammaddesi kil olan ve üretimlerinin tamamını inşaat sektörü için üreten bir oluşumdur. Türkiye’de kiremit sanayi üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir tarafına dağılmış, çok sayıda üreticisi olan bir konumdadır. Yaklaşık 520 fabrikanın bulunduğu ülkemizde otomatik ve tünel fırınlı fabrikalar ne yazık ki azınlıkta kalmaktadır. Teknolojik yenilemeye ve kalite artırımına yönelik yatırımlara acilen ihtiyacı olan sektörün yerini alması direkt ve endirekt olarak ele alındığında karşımıza 1 milyon insan çıkmaktadır.

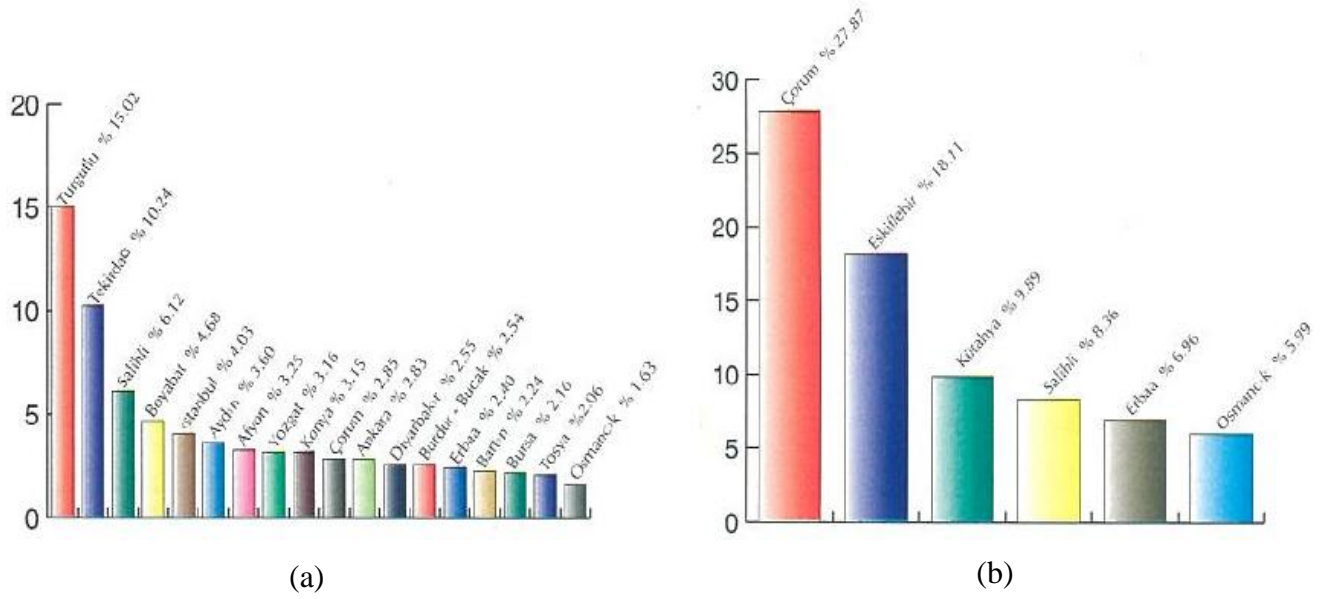


Şekil 2.10 Türkiye’de tuğla ve kiremit üretiminin yoğun olduğu bölgeler [3]

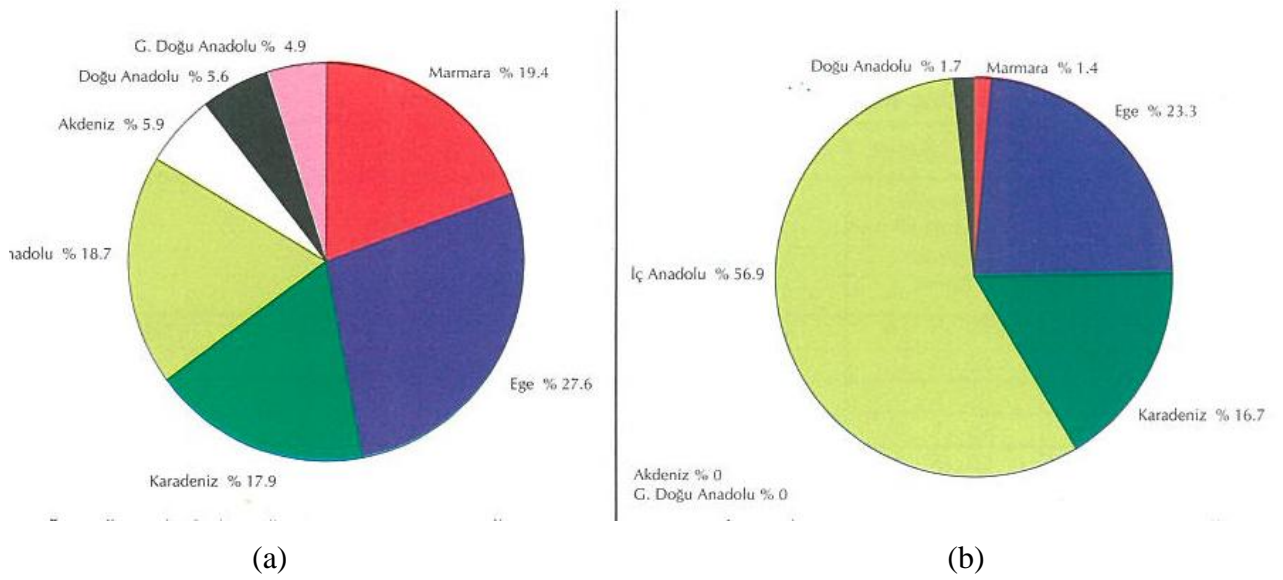
Bu durum göz önünde bulundurulursa sektörün katma değer ve istihdam yaratmadaki gücü bir kez daha kanıtlanmış olur. Üretim, hammadde alanlarına da bağlı olarak belli bölgelerde yoğunlaşmış fabrikalarda yapılmaktadır. Bu fabrikaların tamamı ülke ihtiyacını karşılamakta olup sınırlı üretim ihraç edilebilmektedir. Tuğla ve kiremit fabrikalarının üretim kapasitesine göre Türkiye’deki dağılımı aşağıdaki Şekil 2.10, 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir. İç piyasada; ekonomik olması, yurdun her yerinde kolayca bulunabilmesi, yapım ekiplerinin malzemeyi tanımaları ve detaylarını bilmeleri, doğal olması, özellikle de dayanım süresinin diğer malzemelere göre uzun olması gibi nedenlerle tuğla- kiremit ürünleri yoğun talep görmektedir. Tuğla-kiremit ürünleri ülkemizde şu anda sınırlı miktarda ihraç imkânı bulmaktadır. Önümüzdeki dönemlerde teknolojik yatırımların artması, kalitenin yükselmesine neden olacaktır. Ayrıca Avrupa Norm’larının (EN) devreye girecek olmasını ürün kalitesinin daha da yükselmesini sağlayacaktır. Bu durum sektörün daha bilinçli, kaliteli çalışmasının ana şartıdır. Hammadde kalitesi açısından ülkemiz sonsuz imkanlara sahip durumdadır. Gerekli şartların oluşturulması neticesinde Türkiye tuğla-kiremit sanayicileri Avrupa’nın her noktasına ürünlerini gönderebilecektir.

Ülkemizdeki tuğla ve kiremit üreticileri Avrupa Birliği’ne girme sürecinde olduğumuz şu günlerde zaman geçirmeden hızlı bir şekilde modernizasyona giderek kendilerini ve teknolojilerini yenilemeleri zorunludur. Şayet bunu sağlayamazlarsa dünya piyasalarında ürün

satma ve rekabet etme şansları olmayacaktır.



Şekil 2.11 Türkiye’de Tuğla ve kiremit üretiminin çok olduğu bölgeler, (a) tuğla, (b) kiremit [3]



Şekil 2.12 Türkiye’de Tuğla ve kiremit üretiminin çok olduğu bölgeler, (a) tuğla, (b) kiremit [3]

### 3. KİREMİT ATIKLARI VE UÇUCU KÜLLERİN FARKLI SEKTÖRLERDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuğla kiremit atıklarının, farklı sektörlerde, değerlendirilmesi ile ilgili performans araştırmaları yapılmakla beraber, özellikle kiremit sektörün kullanılması ile ilgili kiremit reçetelerinin çalışması halen devam etmektedir.

Karacasu, 2000, ait çalışmasından atık tuğla kırıklarının asfalt betonu özelliklerine etkisini inceleyerek, atık tuğla kırıklarının yüksek dayanımlarının istenmediği yol inşaatlarında kullanılabileceğini belirtmişlerdir. %3.5-6.5 değişen oranlarda agreralara bitüm ilavesi yapılmış, ısıtmalı mikserde hazırlanan karışımlara, agrera ağırlığının %25 ve %50'si oranında tuğla kırıkları katılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin optimum bitüm oranı, pratik özgül ağırlık, Marshall dayanımı, boşluk oranı, bitümle dolu boşluk oranı ve akma testleri yapılarak atık tuğla kırıkları hazırlanan numuneler karakterize edilmiştir [4].

Demir, ve Orhan, 2003 yılında yayınladıkları çalışmada tuğla atıklarının tekrardan üretimde kullanılmasını incelemişlerdir. Karışımlardaki atık ilave miktarının artması kuru çekme değerlerinde azalma belirlemişlerdir. Bununla beraber, Toplam küçülmeye atık miktarı ve pişme sıcaklığının etkisinin olduğunu belirlemişlerdir. %30' luk atık içeriğinin Tuğla reçetesine katılarak en ekonomik pişme sıcaklığının 900°C'de olduğunu belirlemişlerdir (Demir ve Orhan, 2003).

Lavat vd. ise, seramik çatı kiremitlerinin, puzolanik katkı olarak kullanılabilirliğini inceleyerek, farklı kompozisyonlara sahip çimentolar oluşturarak, %30 atık katılacağını belirlemişlerdir. Öncelikle, atıkların karakteristik özellikleri SEM, XRD ve FT-IR analizleri ile belirlemişlerdir. FT-IR analizine göre pişmiş kildeki puzolanik aktivitenin kristalitenin azalması ile açıklanabileceği sonucuna varmışlardır. Bununla beraber, toz tuğlalardaki felsfat ve kuvars varlığının puzolanik aktivitede herhangi bir etkisini olmadığını belirlemişlerdir (Lavat, 2009).

Bentli vd. 2005 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin Tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımını incelemişlerdir. Dört farklı reçete oluşturarak fiziksel ve mekanik testlere tabi tutmuşlardır. Uçucu kül ilavesinin, birim hacim ağırlığını çok az artırdığını toplam küçülmede belirgin bir değişime sebep olmadığını belirlemişlerdir. Ek olarak hazırlanan reçetelerin basınç dayanımlarının referans tuğlaya göre azaldığını tespit ettiklerinden dolayı, basınç dayanımına yönelik ayrıntılı çalışma yapılmasını

önermişlerdir (Bentli vd. 2005).

Stapath, 2002'de zirkonyum uçucu kül katkılı tuğla üretmek su emme ve sertlik özelliklerini incelemiştir. Artan katkı oranı ile su emme azalırken, sertliğinde arttığını belirlemiştir. Eğilme dayanımında ise, %10'luk katkı oranı üstündeki bileşimlerde eğilme dayanım değerinin azaldığını belirtmişlerdir. (Stapath, 2002)

Uchida ve Ichikawa tarafından yapılan çalışmada; MgO-C tuğlalarına, değişik oranlarda Al ve Si tozları eklenerek termal özellikleri incelenmiştir. Üretimdeki reaksiyonda oluşan manyezit partiküllerindeki çatlaklar ve artan görünen porozite nedeniyle, oda sıcaklığındaki örnekler 500°C'deki örneklere benzer özellik gösterir. 1300°C' de, tuğla örnekler kılınmadan önce plastik deformasyon görülür. Tekrarlanan pişirme ve soğutma işlemi sonucunda; oda sıcaklığından, 500°C, 1000°C ve 1300°C'ye kadar tüm örneklerde, sıcaklıkta genişleme oranının azaldığı saptanmıştır (Uchida ve Ichikawa, 1998).

Çokca (1997), genişlemiş toprağın stabilizasyonunda, Türkiye'deki, Soma ve Tunçbilek Termik Santrallerindeki yüksek ve düşük kalsiyum içerikli C sınıfı uçucu külleri kullanmıştır. Genleşmiş toprak laboratuvar şartlarında %85 kaolin, %15 bentonit ve %10 oranında suyun kısmıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada genişlemiş toprak-kireç, genişlemiş toprak çimento, genişlemiş toprak-uçucu kül karışımları denenmiştir. Genleşmiş toprağa % 0-8 oranında kireç ve çimento, % 0-25 oranında Soma ve Tunçbilek uçucu külü katılmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal içerikleri, incelik oranları ve karışım limitleri tespit edilmiş, serbest şişme deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre genişlemiş toprak stabilizasyonunda uçucu küller başarılı sonuç vermiştir (Çokça, 1997).

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Hammaddeler

#### 4.1.1 Muttalıp kili

Deneysel çalışmalarda kullanılan tuğla kiremit kili Eşkişehir Muttalıp yöresinden temin edilmiştir. Kilin major ve minor elemet içeriği XRF analiz tekniği kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Analiz sonuçları ergitme ve pres yöntemlerden elde edilen sonuçların ortalaması olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 Muttalıp kilinin kimyasal bileşimi

Element	Bileşim (%)	Element	Bileşim (%)
SiO <sub>2</sub>	47.8	K <sub>2</sub> O	1.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.7	Na <sub>2</sub> O	0.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.1	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.3
CaO	8.8	MnO <sub>2</sub>	0.2
MgO	6.2	SO <sub>3</sub>	0.2
TiO <sub>2</sub>	1.8	CrO <sub>3</sub>	0.1
A.Z. (1000°C): 7.1			

#### 4.1.2 Kiremit atığı

Deneysel çalışmalarda reçeteye girmek üzere kullanılacak olan kiremit atığı Güral Kiremit fabrikasına ait üretim esnasında çıkan zayıttır. Atığın major ve minor elemet içeriği XRF analiz tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları ergitme ve pres yöntemlerden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak hesaplanmış ve yüzdesel sonuçlar Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2 Kiremit atığının kimyasal bileşimi

Element	Bileşim (%)	Element	Bileşim (%)
SiO <sub>2</sub>	49.07	K <sub>2</sub> O	1.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.88	Na <sub>2</sub> O	1.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.71	SO <sub>3</sub>	0.55
MgO	6.51	CrO <sub>3</sub>	0.05
CaO	9.20	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05
TiO <sub>2</sub>	2.28	MnO <sub>2</sub>	0.08
A.Z. (1000°C): 0.9			

#### 4.1.3 Uçucu kül

Kiremit reçetesinde yer alan uçucu kül numuneleri Tunçbilek ve Seyitömer Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu küllerin kimyasal içerikleri XRF analiz tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları ergitme ve pres yöntemlerden elde edilen sonuçların ortalaması olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Uçucu küllerin kimyasal bileşimi

Element	Tunçbilek (%)	Seyitömer (%)
SiO <sub>2</sub>	57.42	53.45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.09	16.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.13	12.25
MgO	3.48	0.47
CaO	3.40	6.20
SO <sub>3</sub>	1.66	3.04
K <sub>2</sub> O	1.57	1.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.28	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.79	0.82
NiO	0.18	0.24
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.47
MnO	0.15	0.11
A.Z. (1000 °C)	2.04	2.90

## 4.2 Karakterizasyon

### 4.2.1 X-Işını difraktometre cihazı (XRD)

Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin ve elde edilen ürünlerin kristal özellikleri, X ışınlarının 45 kV ve 40 mA değerlerinde  $\text{CuK}\alpha$  tüpünde üretildiği Philips Panalytical X'Pert Pro XRD cihazıyla incelenmiştir (Şekil 4.1). XRD analiz parametreleri Çizelge 4.4'te verilmektedir.



Şekil 4.1 XRD cihazı

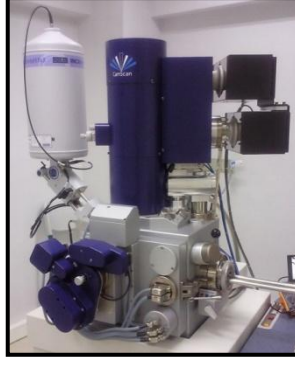
Çizelge 4.4 XRD analiz parametreleri

2 $\theta$ Difraksiyon Açısı Aralığı (2 $\theta$ °)	5-60
Adım (2 $\theta$ °)	0.01
Tarama zamanı (sn)	1.2

### 4.2.2 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Deneysel çalışmalarda elde edilen ürünlerin mikro yapıları CamScan marka SEM cihazı ile incelenmiştir. Ürün kristalleri altın (Au) ile kaplanarak iletken hale getirildikten sonra yapışkan bant yardımıyla cihazın örnek kabına sabitlenerek analiz için hazır hale getirilmişlerdir.





Şekil 4.2 SEM cihazı

#### 4.2.3 Diferansiyel termal analiz/termogravimetri cihazı (DTA/TG)

Malzemelerin termal analizlerinde STA503 DTA/TG cihazı (Şekil 4.4) kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.6'de verilmektedir.



Şekil 4.3 DTA/TG cihazı

Çizelge 4.5 DTA/TG analiz parametreleri

Sıcaklık Aralığı (°C)	20-1050
Isıtma Hızı (°K/dk)	30
Atmosfer	Oksijen
Kroze	Al
Numune kütlesi (mg)	31.3

#### 4.3 Numune Hazırlama Ekipmanları ve Test Cihazları

Deneysel çalışmalarda kullanılan test cihazlarının teknik bilgileri aşağıda verilmektedir. Kullanılan ekipman ve test cihazları Güral Kiremit Fabrikası AR-GE laboratuvarında bulunan TSE tarafından kalibrasyonu gerçekleştirilmiş cihazlardır.

#### 4.3.1 Çamur karıştırıcı

Çamur karıştırıcı, örnek ve reçetelerin su ilavesi sonrasında, 1 saat süre ile 1400 rpm ile karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Çalışmada ersöz karıştırıcı (Şekil 4.5) kullanılmıştır. Böylece, şekillenme öncesi malzemenin plastikliğinin artması sağlanmıştır. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.7’de verilmektedir.



Şekil 4.4 Karıştırıcı

Çizelge 4.6 Karıştırıcı analiz parametreleri

Model no	Ersöz
Çalışma Sıcaklığı (°C)	25
Karıştırma Hızı (d/d)	1400
Kapasitesi (kg)	30

#### 4.3.2 Extruder (vakum pres)

Extrude (vakum pres) cihazında, makinaya gönderilen hazırlanmış hammaddenin vakum yöntemi ile havası alınarak plastik hale getirilmektedir. Helezonlar vasıtası ile itilen hammadde vakum presin ağız kısmındaki ağızlık, yardımcı ile çubuk ve plakalar şekillendirilir (Şekil 4.6). Daha sonra, şekillenen malzemeler kurutmaya gönderilir. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.5 Extruder (Vakum Pres)

Çizelge 4.7 Extruder (Vakum Pres) parametreleri

Marka	Handle
Çalışma Sıcaklığı (°C)	25
Kapasite (kg)	4-20
Vakum Bacıncı (kp/cm <sup>2</sup> )	0-1

### 4.3.3 Kumpas

Kumpas ile extrude (vakum pres) çıkışı plakalara belirlenmiş olan ölçü işaretlemesi yapılır. Çalışmada, Mitutoyo markalı kumpas kullanılmıştır (Şekil 4.7). Daha sonra, şekillenen malzemeler kurutmaya gönderilir. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.9'da verilmektedir.



Şekil 4.6 Elektronik kumpas

Çizelge 4.8 Elektronik kumpas parametreleri

Marka	Mitutoyo
Çalışma Sıcaklığı (°C)	25
Model No	CD-15CPX
Ölçüm aralığı (mm)	0-150

#### 4.3.4 Mukavemet cihazı

Mukavemet cihazında kurutma ve fırın çıkışı çubukların mukavemet testi uygulaması yapılır. Çalışmada, Baz makineye ait cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.8). Daha sonra, şekillenen malzemeler kurutmaya gönderilir. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.10'da verilmektedir.



Şekil 4.7 Mukavemet cihazı

Çizelge 4.9 Mukavemet cihazı parametreleri

Marka	Baz makine
Çalışma Sıcaklığı (°C)	25
Ölçme Aralığı (kg)	0-180
Kapasite (kg)	200
Hız Ayarı (1dk=1mm için)	24

#### 4.3.5 Elektronik nem cihazı

Elektronik nem cihazında şekillenecek malzemenin nem yüzdesi azalan kütle miktarına bağlı olarak numunenin nem yüzdesi tespit edilir. Çalışmada, Mettler Toledo cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.9). Daha sonra, şekillenen malzemeler kurutmaya gönderilir. Gerçekleştirilen analizin parametreleri Çizelge 4.11’de verilmektedir.



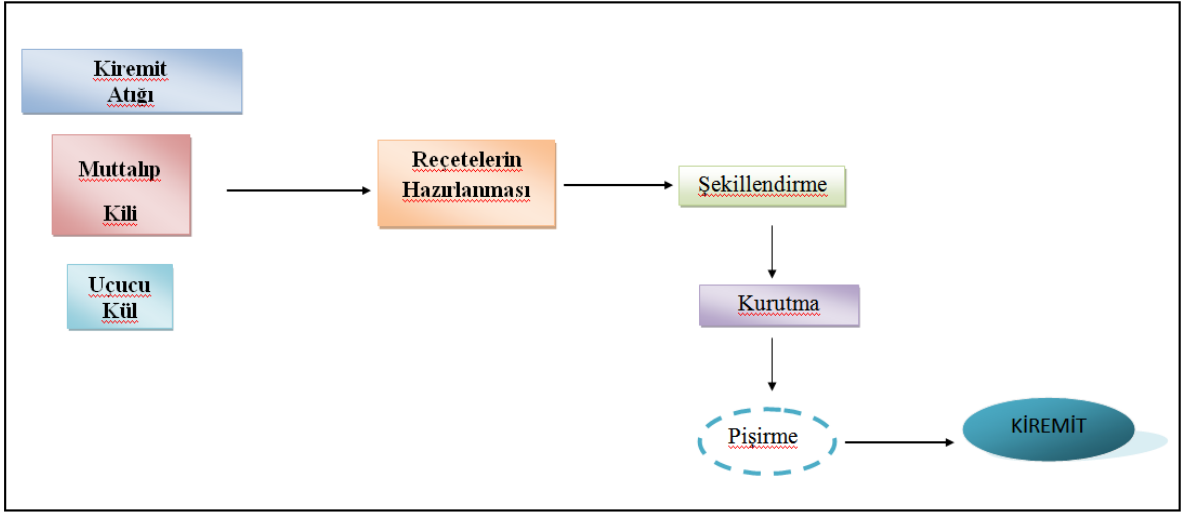
Şekil 4.8 Elektronik nem cihazı

Çizelge 4.10 Elektronik nem cihazı parametreleri

Marka	Mettler Toledo
Model No	HB 43
Çalışma Sıcaklığı (°C)	-10°C / 40 °C
Ölçüm aralığı (gr)	0.5-41

#### 4.4 Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmalarda, Şekil 4.10’da verilmekte olan yöntem izlenerek, kiremit üretimi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.9** Kiremit üretimi deneysel yöntemi

#### 4.4.1 Reçetelerin hazırlanması

Kiremit reçetesi oluşturulmadan önce kiremit atığı, Muattalıp kili, Seyitömer ve Tunçbilek hammaddelerinin kristal faz yapısı, kimyasal bağ özellikleri ve mikro yapıları sırasıyla XRD, FT-IR ve SEM enstrümantal analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir. XRD paternleri, FT-IR spektrumları ve SEM görüntüleri Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6’da verilmektedir. Bununla beraber, Muattalıp kili ve kiremit atığın elek analizi gerçekleştirilmiştir. Ön kırılma ve ufalanma işlemi yapılan kuru kilden, 100 gr hassas terazide tartılarak alınmıştır.

Elek analizi için kullanılan elekler, yukarıdan aşağıya doğru olmak üzere 1 mm, 0.6 mm, 0.5 mm, 0.4 mm, 0.3 mm, 0.2 mm, 0.106 mm ve 0.063 mm seçilerek üst üste sıralanmış ve sarsıntılı elek cihazına yerleştirilmiştir. Bekleme süresi 10 dakika seçilerek çalıştırılan cihaz işlem sonunda her bir fraksiyondaki madde miktarının tartılabilmesi için kapatılmıştır. Tartım sonuçları içeren elek analiz grafiği Şekil 5.1’de verilmektedir.

Kiremit atığı, Muattalıp kili ve Seyitömer ve Tunçbilek uçuçu külleri Çizelge 4.12’de verilmekte olan reçete oranlarında karıştırılarak, 12 farklı reçete kombinasyonu oluşturulmuştur. Bu reçeteler, nihai ürün kalitesi göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. Reçete belirleme işleme yapıldıktan sonra, hammaddeler ayrı ayrı hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda, kiremit üretiminde kullanılan standart örnek numune, 1 kodlu numara basılarak işaretlenmiştir. Şekillendirme işlemlerine geçilmeden önce hazırlanan, örnek ve 12 adet reçetenin davranışları DTA/TG tekniği kullanılarak incelenmiştir. DTA/TG eğrileri sırası ile

EK 1’de verilmektedir.

Çizelge 4.11 Kiremit atığı, Muttalıp kili ve ucuçu kül içeren reçete oranları

Numune Kodu	Reçete Oranları
1	Örnek numune
11	% 5 TB, % 5 Atık, % 90 Kil
12	% 5 TB, % 10 Atık, % 85 Kil
13	% 5 TB, % 15 Atık, % 80 Kil
14	% 5 TB, % 20 Atık, % 75 Kil
15	% 5 SÖ, % 5 Atık, % 90 Kil
16	% 5 SÖ, % 10 Atık, % 85 Kil
17	% 5 SÖ, % 15 Atık, % 80 Kil
18	% 5 SÖ, % 20 Atık, % 75 Kil
20	% 5 Atık, % 95 Kil
21	% 10 Atık, % 90 Kil
22	% 15 Atık, % 85 Kil
23	% 20 Atık, % 80 Kil

#### 4.4.2 Şekillendirme

Öncelikle şekillendirme işlemine geçilmeden önce, karışımların ortalama nemine, elektronik terazide bakılarak örnek ve reçetelerin neminin, % 18.5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Reçete karışımları, çamur karıştırıcıda homojen bir şekilde hazırlandıktan sonra 1 saat dinlendirilmiştir. Daha sonra, plastik şekillendirme kıvamına gelen çamur karışımından extruder (vakum pres) makinesinde, 15x40x80 mm boyutlarında dikdörtgen plakalar basılmıştır. Bu plakalar üzerinde, henüz yaş iken kumpas yardımı ile 50 mm’lik birim uzunluk belirlenerek işaretleme yapılmıştır. Ayrıca numunelerin karışmasını engellemek için her plaka üzerine, karışımın reçete kodunu simgeleyen bir rakam ve her plakaya ait sıra numarası basılmıştır. Mukavemet (dayanım) testi için gerekli olacak çubuklar ise 12x25x210 mm boyutlarına sahip kalıp ile şekillendirilmiştir. Her çubuğun üzerine, karışımın reçete kodunu simgeleyen bir rakam yazılmıştır.

#### 4.4.3 Kurutma

Şekillendirme sonrası elde edilen plaka ve çubuklar, 40°C ve 105°C’de olmak üzere 24 saatlik 2 periyot halinde kurutularak yoğrulma nemi ortamdan uzaklaştırılmıştır. Kurutma işlemi sonrasında, desikatöre alınan numunelerin oda sıcaklığına soğuması sağlanmıştır. Kurutulan plaka ve çubukların, öncelikli olarak kuru çekme ve kuru mukavemet özellikleri incelenmiştir (Şekil 4.11). Kuru plakalar, kumpas yardımı ile yeniden ölçümlendirilerek kuru uzunluk

değeri belirlenmiştir (Eşitlik 4.1). Kuru küçülme ölçümleri 4 adet farklı plaka ile yapılmış ve kuru uzunlukların ortalamaları alınarak kuru çekme değerleri hesaplanmıştır.

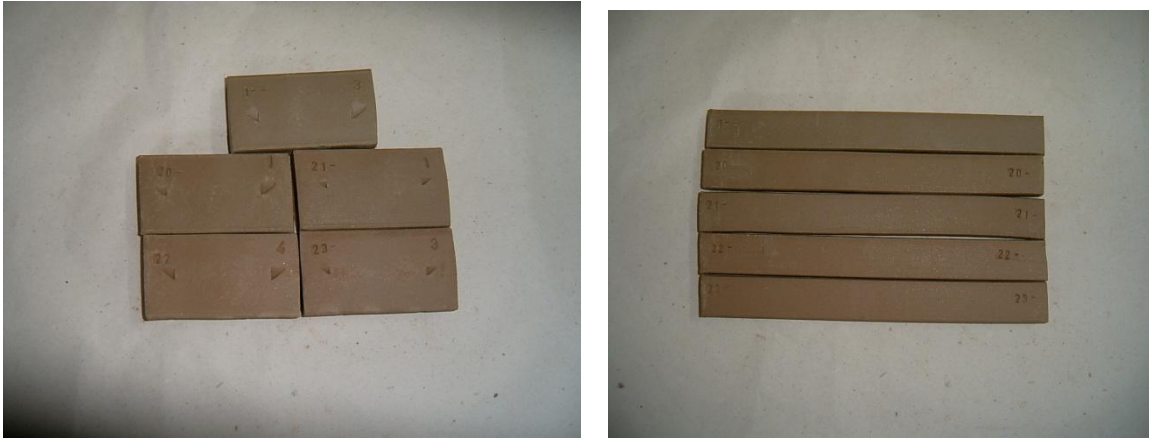
$$\% \text{ Kuru çekme} = \frac{L_Y - L_K}{L_Y} \times 100 \quad (4.1)$$

$L_Y$ : Plakanın Yaş Uzunluğu (mm),  $L_K$ : Plakanın Kuru Uzunluğu (mm).

105°C'de etüv'de kurutulan 12x25x210 mm boyutlarındaki kuru çubuklar, ayrı ayrı ölçüm yapılmak üzere mukavemet cihazında kırılmıştır. Bulunan kırma ağırlığı, aşağıda verilmiş olan formülde yerine konularak mukavemet değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 4.2).

$$\% \text{ Kuru Mukavemet} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \times 100 \quad (4.2)$$

Kuru mukavemet: kg/cm<sup>2</sup>, P: Kırma ağırlığı (kg), L: Destek aralığı (cm), b: Çubuk genişliği (cm), h: Çubuk kalınlığı (cm).



Şekil 4.10 Atık katkılı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların kurutma çıkışı görüntüsü

#### 4.4.4 Pişirme

Kuru numuneler, elektrikli fırında sırası ile 900 °C, 940 °C, 980 °C ve 1020 °C'de 10 °K/dk pişirme hızı ile 2 saat beklemeli olarak pişirilmiştir. Kuru ve pişme küçülmesinin birlikte hesaplanması ile toplam küçülme belirlenmiştir. Toplam küçülme yüzdeleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 5.13 ve 5.14'te verilmiştir.



$$\% \text{ Toplam küçülme} = \frac{L_Y - L_p}{L_p} \times 100 \quad (4.3)$$

$L_Y$ : Plakanın yaş uzunluğu (mm),  $L_p$ : Plakanın pişmiş uzunluğu (mm)



Şekil 4.11 Atık katkı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların 1020° C' deki fırın çıkışı görüntüsü

Plakalar, içi saf su dolu olan ve kaynayan kapalı kap içerisine konulmuş ve iki saat kaynatılarak su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Su emme deneyleri dört paralel olacak şekilde yapılmış ve ölçülen dört ayrı parçanın su emme değerleri belirlenerek ortalama değer hesaplanmıştır. Kaynama işlemi sonrası, su içerisinden çıkarılan parçalar, üzerlerindeki parlaklık tam olarak giderilmeden kurularak yaş tartımları hassas bir terazide yapılmıştır. Yaş tartım ile kuru tartım arasındaki fark, plakanın emdiği su miktarını vermektedir. Su emme, pişmiş bir tuğla-kiremit kilinin, açık porlarına alabildiği su olarak tanımlanmaktadır. Su emmeyi etkileyen faktörler, kilin plastikliği ve pişme sıcaklığıdır. Plastiklik ve pişme sıcaklığı artıkça, kilin su emme yeteneği azaldığı bilinmektedir. Su emme yüzdesi Eşitlik 4.4'ye göre hesaplanmaktadır. Pişirilmiş plaka ve çubuklar, aynen kuru mukavemet testi analizinin yapılan işlem tekrarlanarak, pişirilme sonrası, mukavemet değişimi incelenmiştir (Şekil 5.15, 5.16, 5.17) verilmiştir.

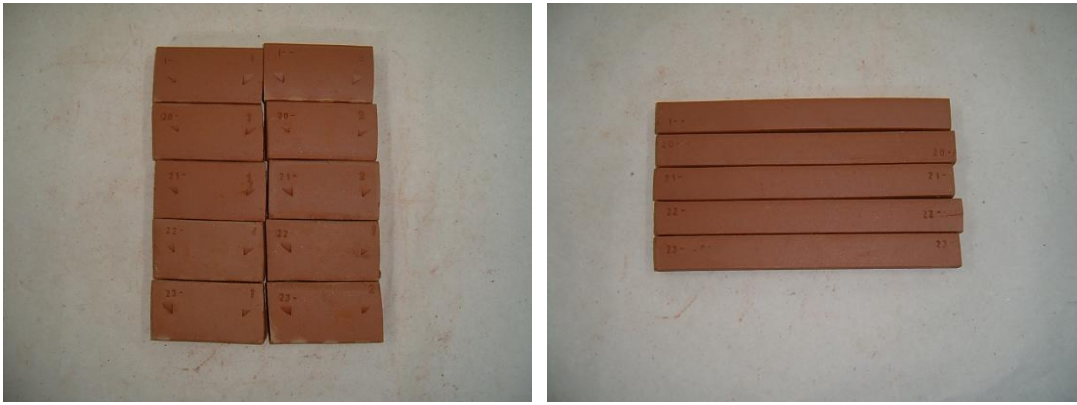
$$\% \text{ Su emme} = \frac{S_{ya} - S_{ka}}{S_{ka}} \times 100 \quad (4.4)$$

$S_{ya}$ : Plakanın yaş pişmiş ağırlık (g),  $S_{ka}$ : Plakanın kuru pişmiş ağırlık (g)

Son olarak, 900 °C, 940 °C, 980 °C ve 1020 °C'deki sıcaklıklarda elektrikli fırınında pişirilen örnek ve reçetelere ait plakaların ateş zaiyatı hassas terazide tartılarak, aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır. Yüzde ateş zaiyatı sonuçları, Şekil 5.21'de verilmektedir.

$$\% \text{ Ateş zaiyatı} = \frac{A_k - A_p}{A_k} \times 100 \quad (4.5)$$

$A_k$ : Plakanın kuru ağırlığı (g),  $A_p$ : Plakanın pişmiş ağırlığı (g)



Şekil 4.12 Atık katkı, kil reçetelerinin plaka ve çubukların fırın çıkışı görüntüsü

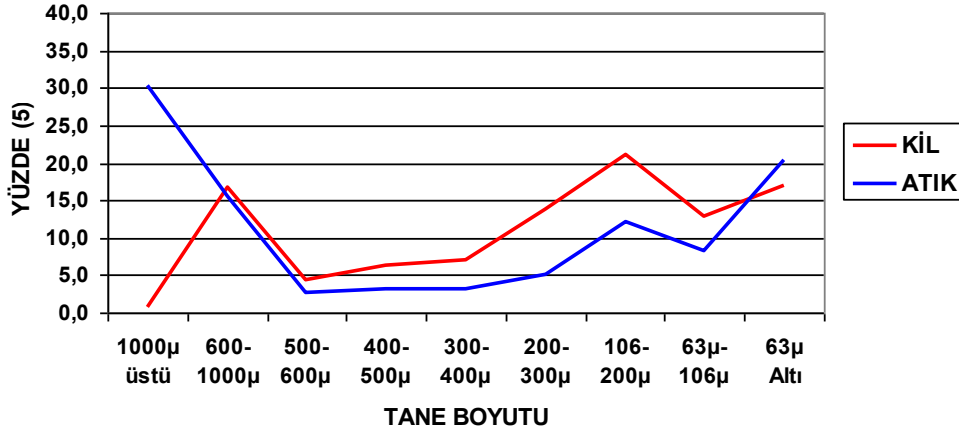
## 5. DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.1 Hammaddelerin karakterizasyon sonuçları

Deneysel çalışmalarda, kiremit üretimi için oluşturulan 12 farklı reçetede kullanılan Muttalıp kili, kiremit atığı, seyitömer ve tunçbilek uçuçu küllerinin karakterizasyonu XRD ve SEM teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte Muttalıp kili ve kiremit atığının elek analizi de yapılmıştır.

#### 5.1.1 İşletme kili ve kiremit atığının elek analizi sonuçları

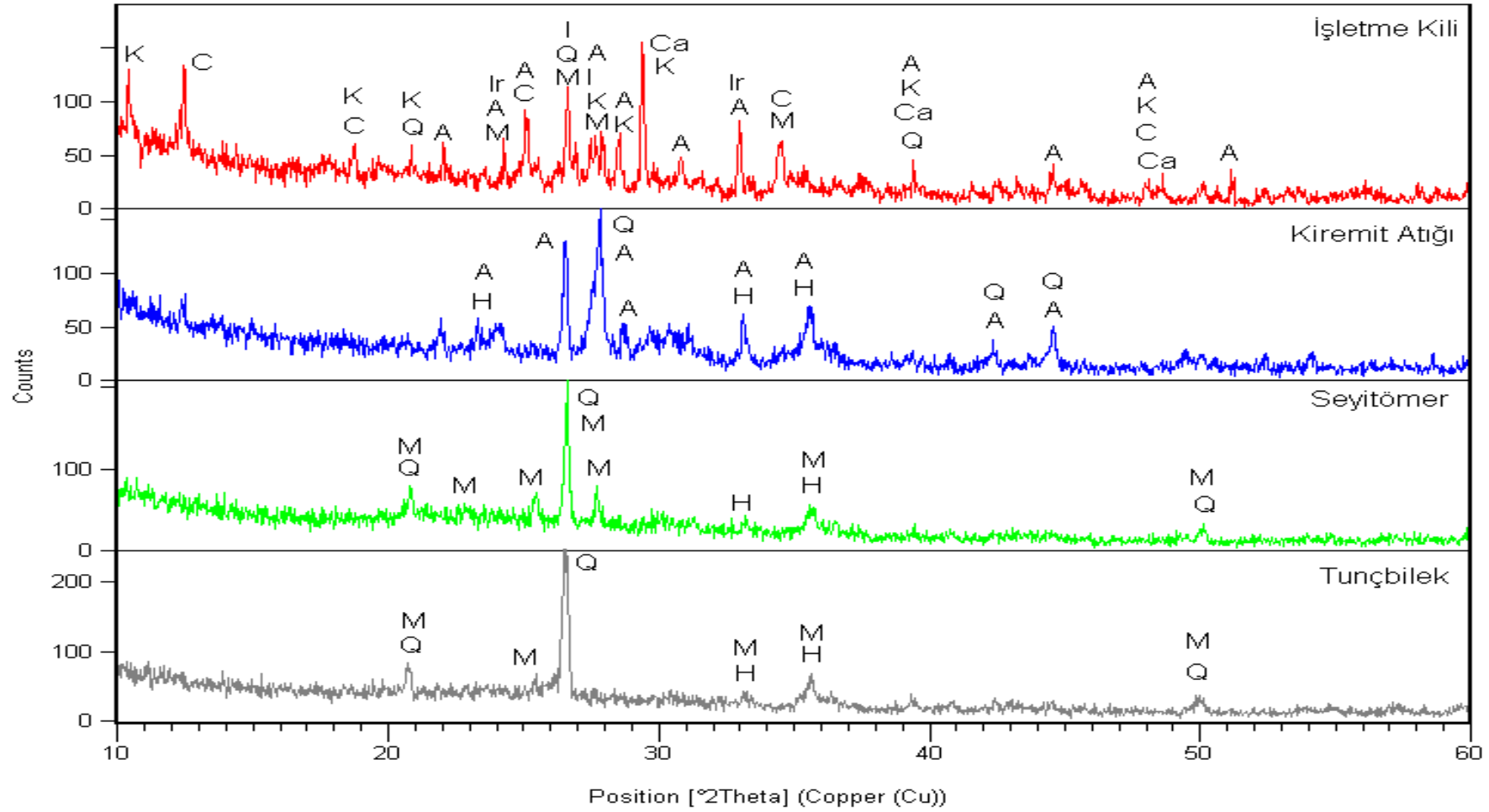
Elek analizi için kullanılan 1 mm, 0.6 mm, 0.5 mm, 0.4 mm, 0.3 mm, 0.2 mm, 0.106 mm ve 0,063 mm'lik elekler, yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde üst üste sıralanmıştır. 10 dakikalık eleme işlemi neticesinde elde edilen elek analiz sonuçları Şekil 5.1'de verilmektedir. Deneysel çalışmalarda, 1 mm altı tane boyutundaki Muttalıp kili ve kiremit atıkları kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Muttalıp kili ve kiremit atığının elek analizi

#### 5.1.2 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçuçu küllerin XRD analiz sonuçları

Reçetelerin bileşiminde bulunan hammaddelerin, 10-60° 2θ difraksiyon açıları aralığında, XRD analizi gerçekleştirilerek, kristal faz özellikleri belirlenmiştir. Şekil 5.2'de verilen XRD paternine göre, Muttalıp kili; kuvars, kalsit, klinoklor, hematit, albit, illit, muskovit ve potasyum magnezyum alüminyum silikat içermektedir (Çizelge 5.1).



Şekil 5.2 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerinin XRD paternleri

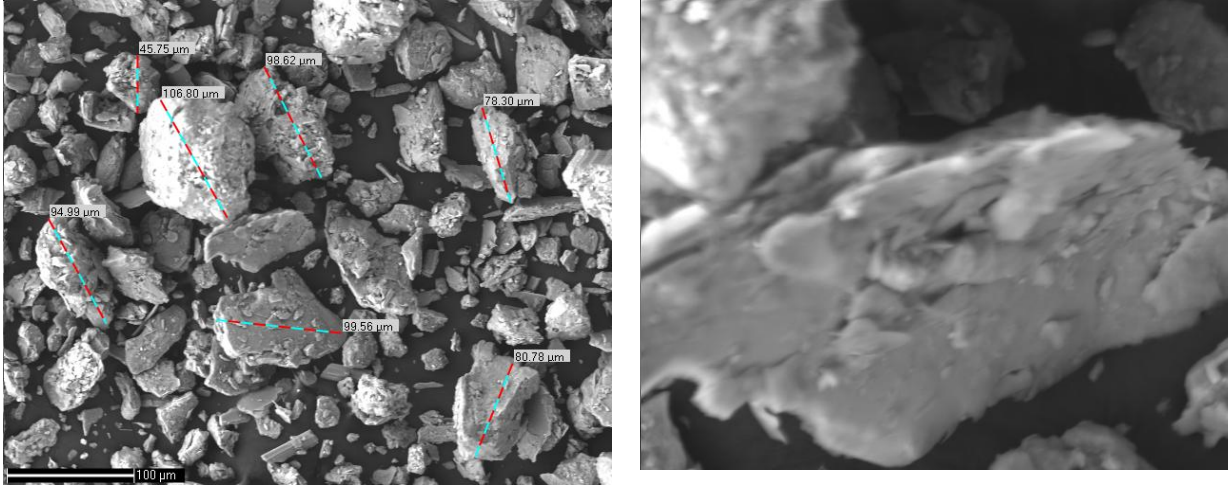
Çizelge 5.1 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerin kristal faz

Hammadde	Kristal Faz	Formül	PDF no
Muttalıp Kili	Kuars, Kalsit, Klinoklor, Demir Oksit, Albit, İllit, Muskovit, Potasyum magnezyum alüminyum silikat	SiO <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , Mg <sub>6</sub> O <sub>18</sub> Si <sub>4</sub> H <sub>8</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , AlK <sub>0.2</sub> Na <sub>0.18</sub> O <sub>8</sub> Si <sub>3</sub> , AlO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> H <sub>2</sub> KO <sub>12</sub> SiO <sub>4</sub> , Al <sub>4.26</sub> K <sub>0.24</sub> Mg <sub>2</sub> O <sub>18</sub> Si <sub>4.74</sub>	00-046-1045, 00-005-0586, 00-029-0701, 00-005-0637, 01-083-2215, 00-026-0911, 00-046-1311, 01-080-2316
Kiremit Atığı	Hematit, Kuvars, Albit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , AlNaO <sub>8</sub> Si <sub>3</sub>	00-024-0072, 01-083-0541, 01-083-1606
Seyitömer Uçucu Külü	Kuars, Hematit, Muskovit	SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>3.17</sub> H <sub>1.72</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>2.92</sub>	03-065-0466 01-073-0603 01-089-5401
Tunçbilek Uçucu Külü	Kuars, Hematit, Muskovit	SiO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>3.17</sub> H <sub>1.72</sub> KO <sub>12</sub> Si <sub>2.92</sub>	01-089-1961 01-073-0603 01-089-5401

### 5.1.3 Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu küllerinin SEM görüntüleri

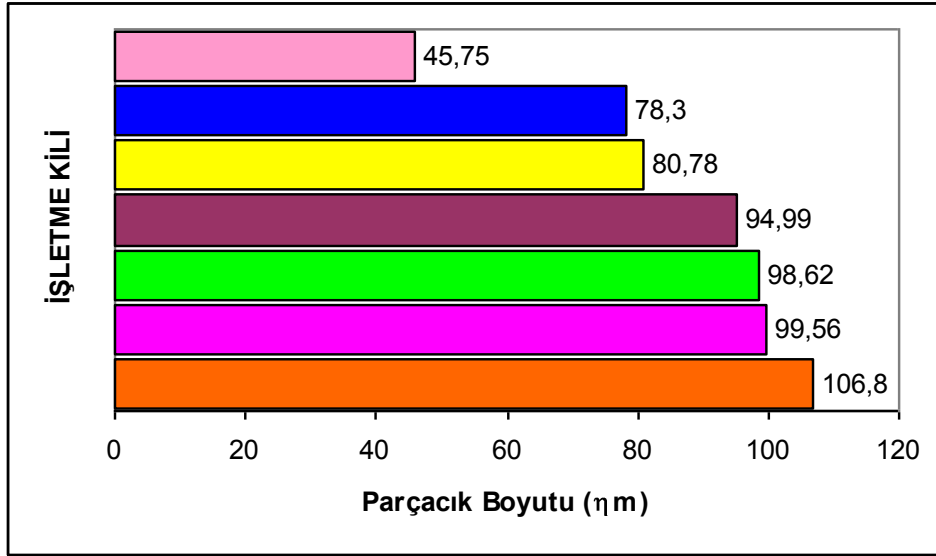
Deneysel çalışmalarda kullanılan hammaddelerin mikro yapıları SEM analizi ile incelenmiştir. 500 ve 1500 kat büyütme oranlarına ait görüntüler aşağıda verilmektedir (Şekil 5.3, 5.4, 5.5, 5.6). Hammaddelerin parçacık boyut dağılımları, her numunede farklı 6 parçacık seçilerek ve boyutları ölçülerek belirlenmiştir. Muttalıp kilinin parçacık boyut dağılımı incelendiğinde,

minimum 45.75  $\eta\text{m}$  iken, maksimum parçacık boyutunun 106.8  $\eta\text{m}$  olduğu belirlenmiştir [Şekil 5.3(c)].



(a)

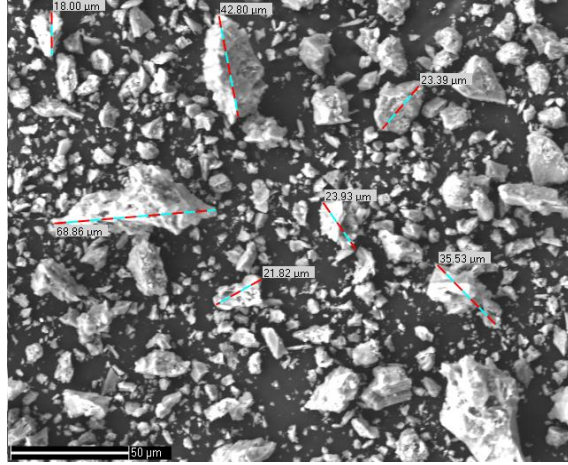
(b)



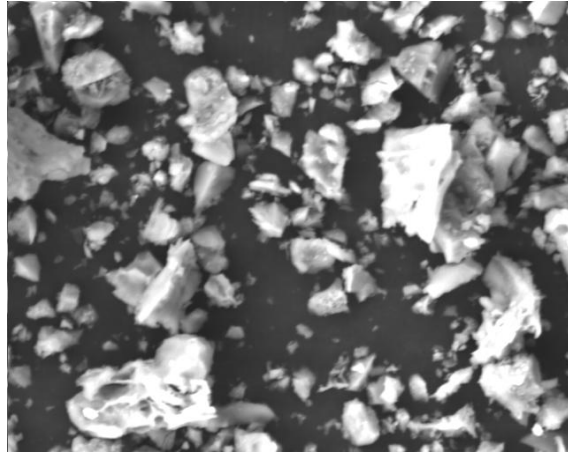
(c)

Şekil 5.3 Muttalıp kilinin SEM görüntüleri, (a) X500, (b) X1500, (c) Parçacık boyut dağılımı

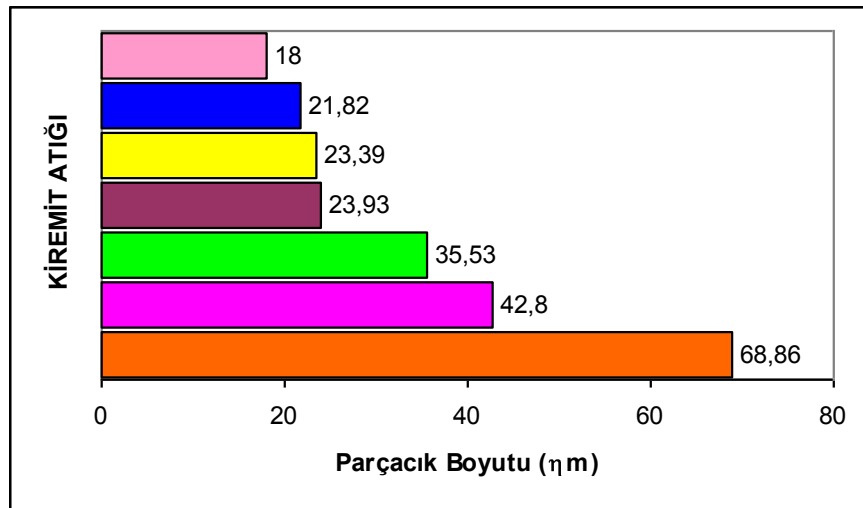
Kiremit atığının parçacık boyut dağılımı incelendiğinde minimum 18  $\eta\text{m}$  iken, maksimum parçacık boyutunun 68.86  $\eta\text{m}$  olduğu belirlenmiştir [Şekil 5.4 (c)]. Seyitömer uçucu külünün, parçacık boyut dağılımı Şekil 5.5 (c)'de incelendiğinde, minimum 13.21  $\eta\text{m}$  iken, maksimum parçacık boyutunun 36.05  $\eta\text{m}$  olduğu belirlenmiştir. Tunçbilek uçucu külünün, parçacık boyut dağılımı incelendiğinde, minimum 13.53  $\eta\text{m}$  iken, maksimum parçacık boyutunun 38.92  $\eta\text{m}$  olduğu belirlenmiştir [Şekil 5.6 (c)].



(a)

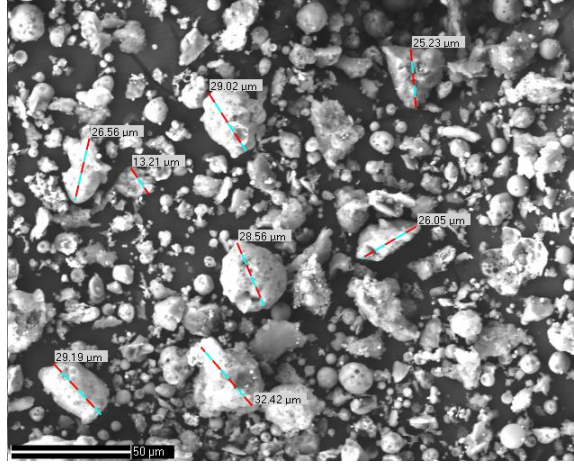


(b)

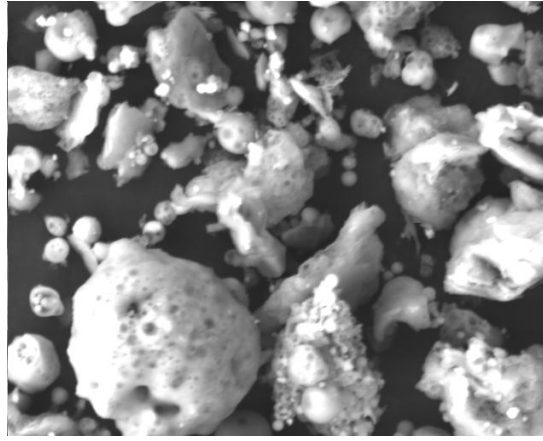


(c)

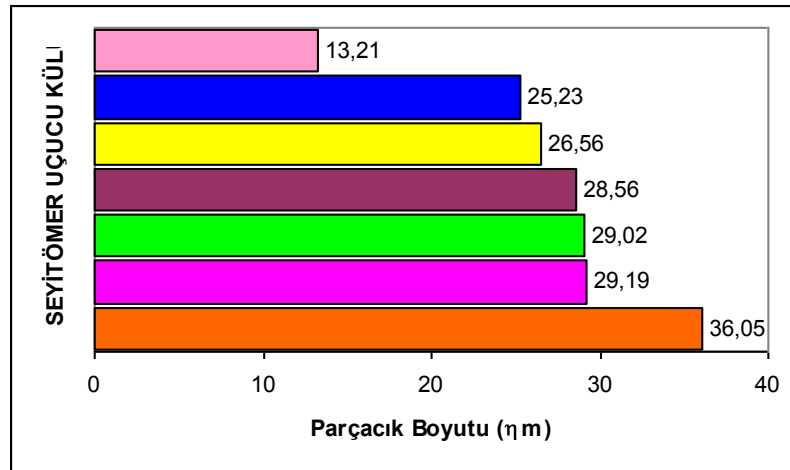
Şekil 5.4 Kiremit atığının SEM görüntüleri, (a) X500, (b) X1500, (c) Parçacık boyut dağılımı



(a)



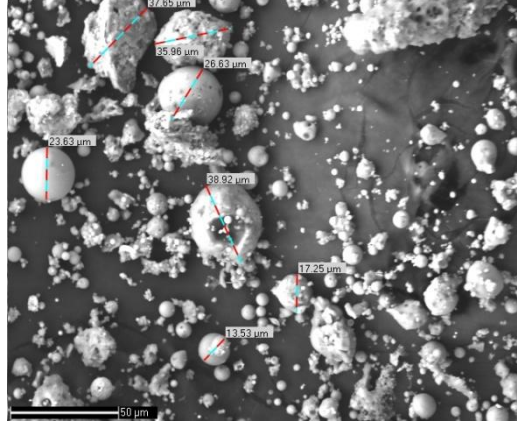
(b)



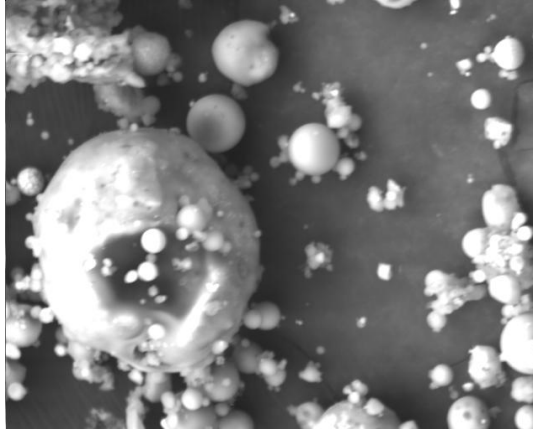
(c)

Şekil 5.5 Seyitömer uçucu külünün SEM görüntüleri, X 500, (b) X 1500, (c) parçacık boyut dağılımı

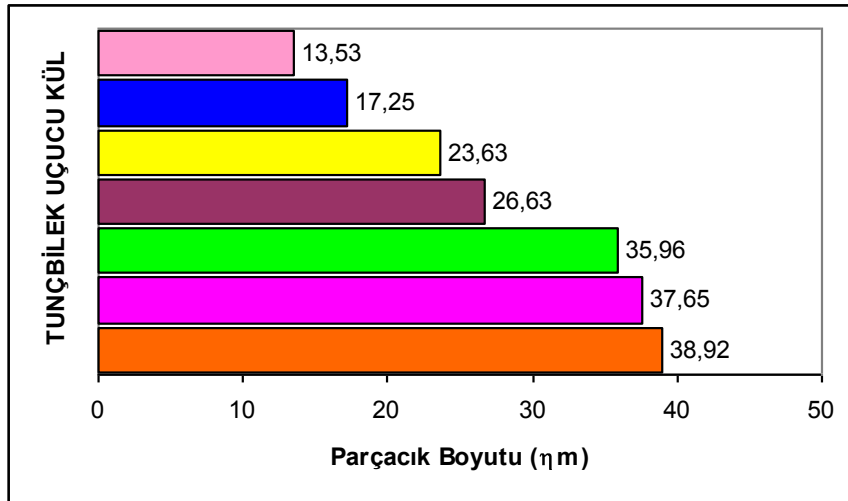




(a)



(b)



(c)

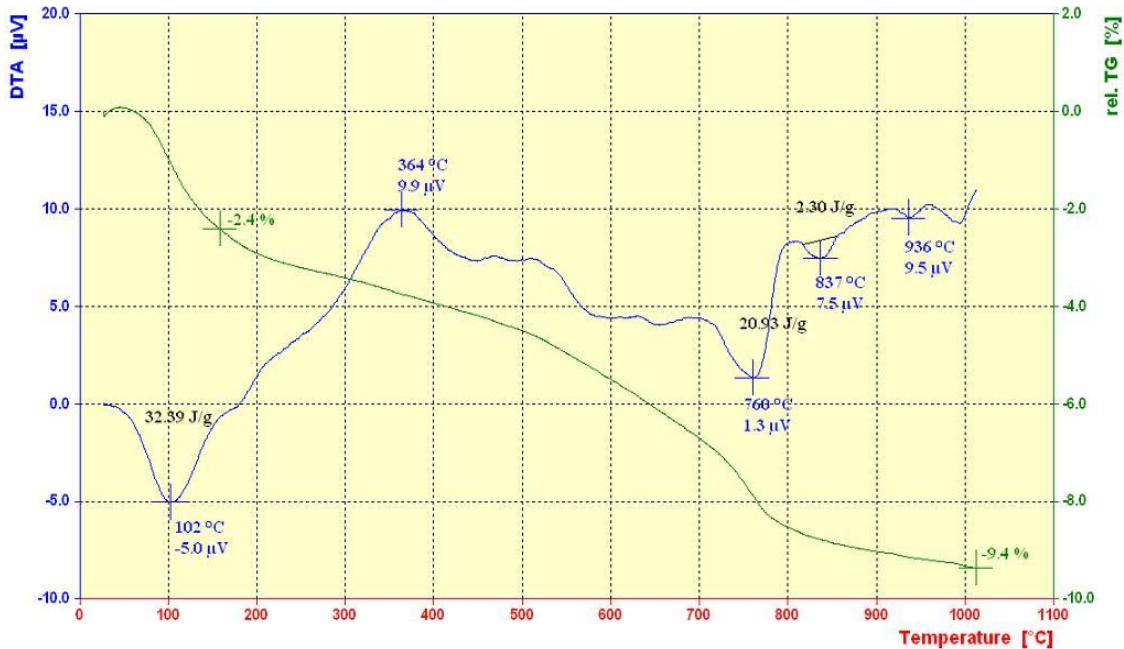
Şekil 5.6 Tunçbilek uçucu külünün SEM görüntüleri, (a) X 500, (b) X 1500, (c) parçacık boyut dağılımı

## 5.2 Örnek Numunenin ve Reçetelerin DTA/TG Eğrileri

Örnek ve 12 adet reçete karışımının termal özellikleri 30-1000 °C'e sıcaklık aralığında oksijen atmosferi altında incelenmiştir. Killi malzemelerin pişmesi sırasında meydana gelen ekzoterm ve endoterm reaksiyonlar DTA eğrileri ile tespit edilmiştir. Genel olarak; higroskopik suyun buharlaşması ve kristalin atom şebekesinin parçalanması gibi olaylar endoterm, organik maddelerin ve pirit gibi yapıların yanması ve amorf fazdan kristallenmeye geçiş gibi olaylara da ekzoterm reaksiyonlardır.

### 5.2.1 Örnek numunenin DTA/TG eğrisi

Şekil 5.7'de verilmekte olan örnek numunenin DTA/TG eğrisi incelendiğinde, 100-200 °C sıcaklık aralığında % 2.4'lük ağırlık azalması ile meydana gelen endotermik reaksiyonun; numunenin bünyesindeki nem kaybından meydana geldiği belirlenmiştir. DTA eğrisi incelendiğinde ise nem kaybının 102 °C'de maksimum hız ile gerçekleşmektedir. Genel olarak, hümik asitin bozunması 350-400 °C'e arasında, kuvvetli bir ekzotermik tepkime ile tanımlanırken; örnek numunede 364 °C'deki pik tepeli ekzotermik reaksiyon olarak belirlenmiştir. 300-500 °C aralığında ise karbon ve organik maddelerin ekzotermik bozunması meydana gelmektedir (Tan, 1978).

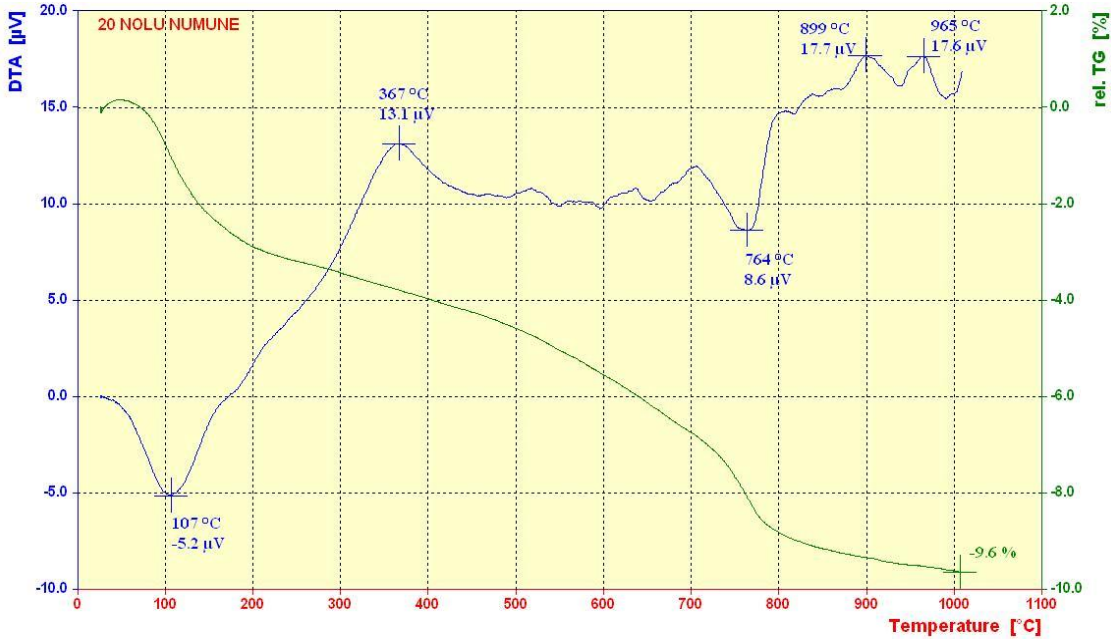


Şekil 5.7 Örnek numunenin DTA/TG eğrisi

500-600 °C'e sıcaklık aralığında; yapıdaki kristal suyun ayrılması ve mineralinin parçalanması ana endotermik reaksiyonu ile gerçekleşmektedir. 760° C'de görülen endotermik pik ise illit/mika'nın bozulmasını göstermektedir. 750-950° C'de arasındaki sıcaklıklarda görülen endotermik pikler, karbonat minerallerinin (kalsit, dolomit) bozulma reaksiyonlarını göstermektedir. 950-1000 °C'de görülen ekzotermik reaksiyonlar, silikat minerallerinin oluşmasını işaret etmektedir.

### 5.2.2 Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri

Muttalıp kili ve kiremit atığı içeren 20, 21, 22 ve 23 kodlu reçete karışımlarının termal özellikleri DTA/TG tekniği kullanılarak; örnek numune ile aynı çalışma parametrelerinde incelenmiştir. Şekil 5.8'de ve Ek 1'de verilmekte olan DTA/TG eğrileri incelendiğinde; 20, 21, 22 ve 23 kodlu reçetelerin örnek ile benzer termal özellikler gösterdikleri belirlenmiştir. Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin termal davranışlarının ayrıntılı açıklaması Çizelge 5.2'de verilmektedir.



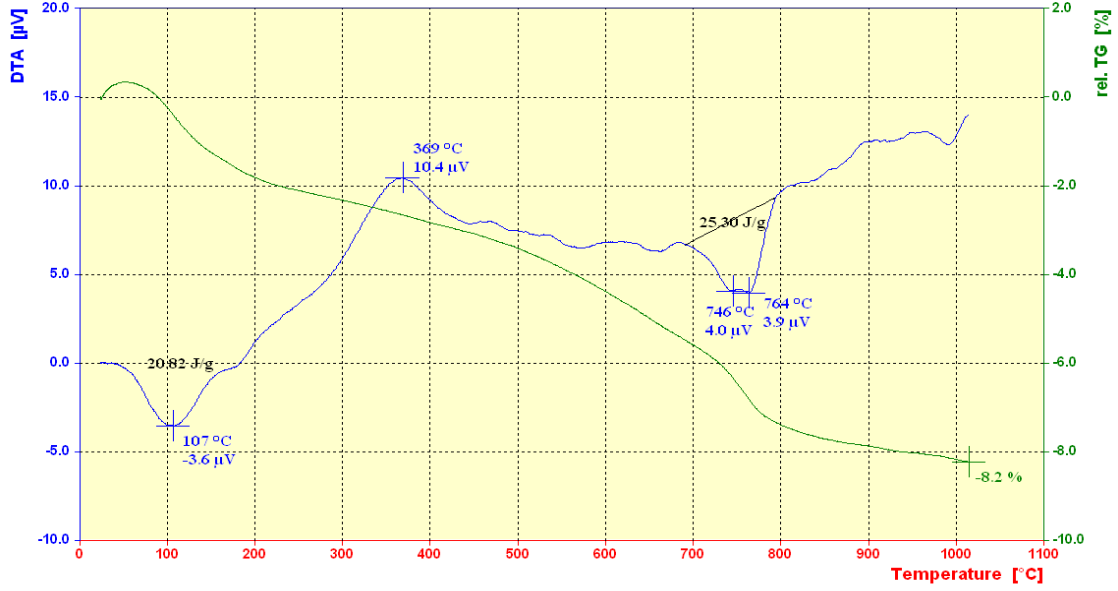
Şekil 5.8 Muttalıp Kili-Kiremit atığı içerikli 20 kodlu reçetelerin DTA/TG eğrileri

### 5.2.3 Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri

Muttalıp kili, kiremit atığı ve seyitömer ve tunçbilek uçucu küllerini içeren 11-14 ve 15-17 reçete karışımlarının termal özellikleri örnek numune ve 20-23 kodlu reçeteler ile aynı çalışma parametrelerinde incelenmiştir. Şekil 5.9'da ve Ek 2'de verilmekte olan DTA/TG

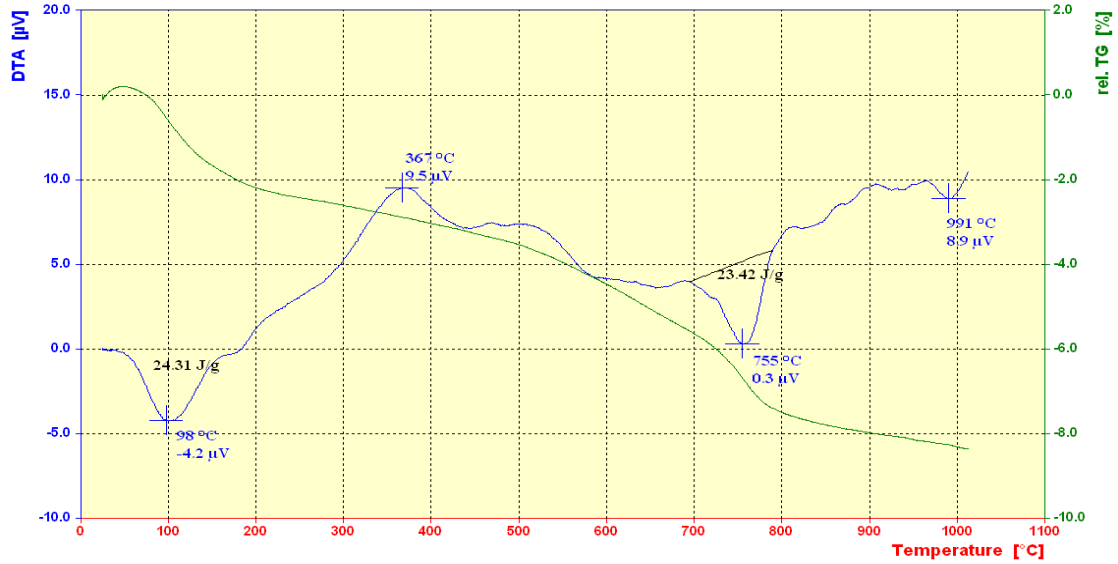
eğrileri incelendiğinde; uçucu kül katkısının termal özellikler üzerinde herhangi bir değişmeye sebep olmadığı belirlenmiştir. Uçucu kül içerikli reçetelerin farklı sıcaklık aralıklarında meydana gelen reaksiyonlar ve açıklamaları Çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

ÖRNEK: 11 NUMARALI NUMUNE



(a)

ÖRNEK: 15 Numaralı Numune



(b)

Şekil 5.9 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Uçucu Kül içerikli reçetelerin DTA/TG eğrileri, (a) 11,

(b) 15

Çizelge 5.2 Örnek ve reçete erin termal davranışları

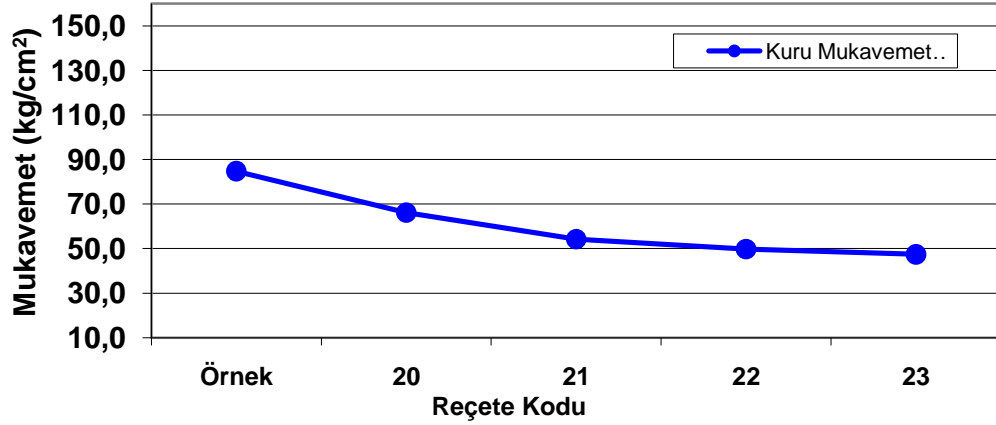
Sıcaklık (°C)	Reaksiyon tipi	Açıklama
100 – 200	Endotermik	Nem kaybı
350 – 400	Ekzoterm	Hüyük asit bozunması
400 - 550	Ekzoterm	Karbon ve organik maddelerin bozunması / yanması
500 – 600	Endoterm	Mineral bozunması ve kristal su kaybı
700 - 760	Endoterm	İllit/mika bozunması
750 – 950	Endoterm	Karbonat minerallerinin bozunması
899- 965	Ekzoterm	Silikat minerralerin oluşması

### 5.3 Kuru Mukavemet ve Kuru Çekme Sonuçları

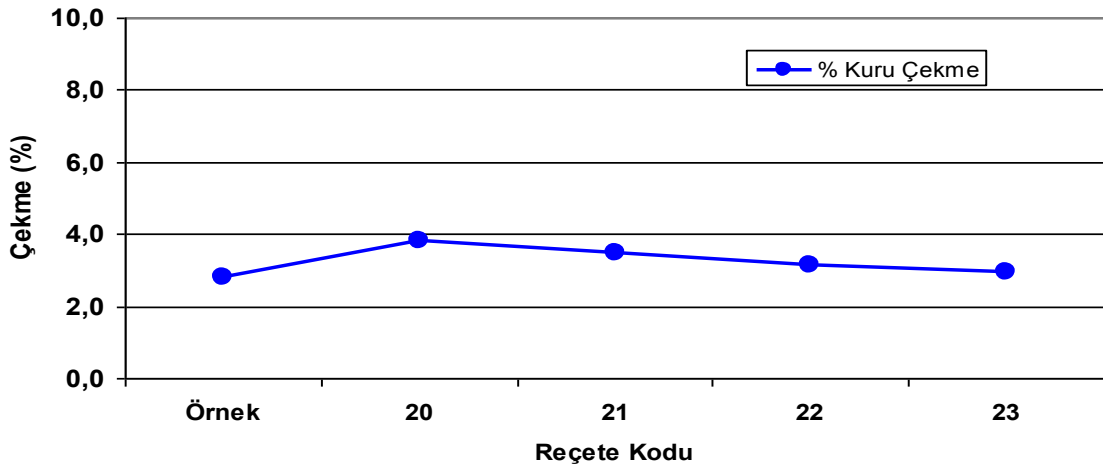
#### 5.3.1 Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme sonuçları

Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme sonuçları Şekil 5.10’da verilmektedir. Örnek numunenin de kuru mukavemet ve kuru çekme analizleri yapılarak, reçeteler için hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Reçetelerdeki atık oranı artıkça, kuru mukavemetin düştüğü belirlenmiştir. 20 kodlu reçete içeriğinin, kuru mukavemetinin örnek numuneye en yakın olduğu görülmektedir. Bununla beraber, reçetelerdeki atık oranı artıkça, kuru çekmenin de artığı görülmektedir. 20 kodlu reçete kuru çekme yüzdesi % 3.8, 21 kodlu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 3.5, 22 kodlu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 3.2, 23 kodlu reçetenin kuru çekme yüzdesi ise % 2.9 olarak tespit edilmiştir.



(a)



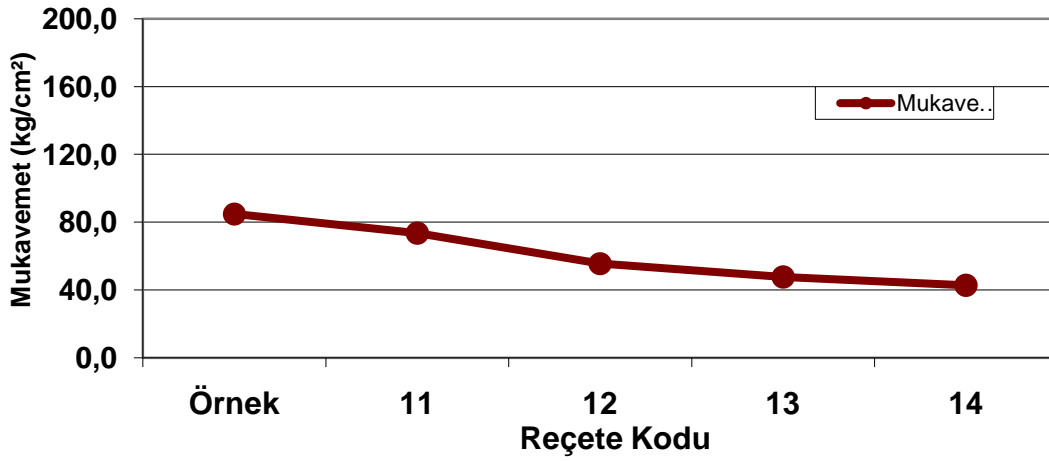
(b)

Şekil 5.10 Muttalıp Kili-Kiremit atığı içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme eğrileri, (a) kuru mukavemet, (b) kuru çekme

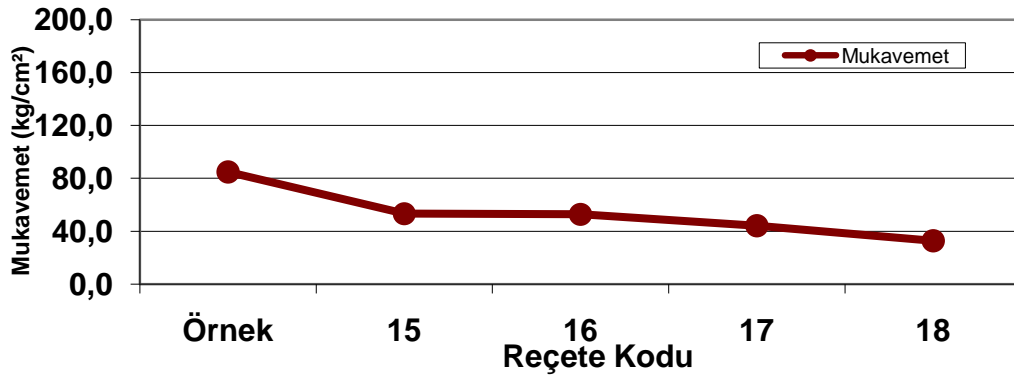
### 5.3.2 Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin kuru mukavemet ve kuru çekme sonuçları

Şekil 5.11 incelendiğinde, reçete içeriğindeki kiremit atığı oranı arttıkça, kuru mukavemetin düştüğü dikkate çekmektedir. Örnek numunenin kuru mukavemet değeri  $84,8 \text{ kg/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. 15, 16, 17 ve 18 kodlu reçetelerin kuru mukavemet değerleri sırasıyla 53,2

kg/cm<sup>2</sup>, 52.8 kg/cm<sup>2</sup>, 44.2 kg/cm<sup>2</sup> ve 32.8 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 11 kodlu reçete içeriğinin kuru mukavemet değerinin, örnek numuneye en yakın olduğu görülmektedir. 11, 12, 13 ve 14 kodlu reçetelerin kuru mukavemet değerleri sırasıyla 73.5 kg/cm<sup>2</sup>, 55.5 kg/cm<sup>2</sup>, 47.6 kg/cm<sup>2</sup> ve 42.7 kg/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 11 kodlu reçete içeriğinin kuru mukavemet değerinin, örnek numuneye en yakın olduğu görülmektedir.



(a)

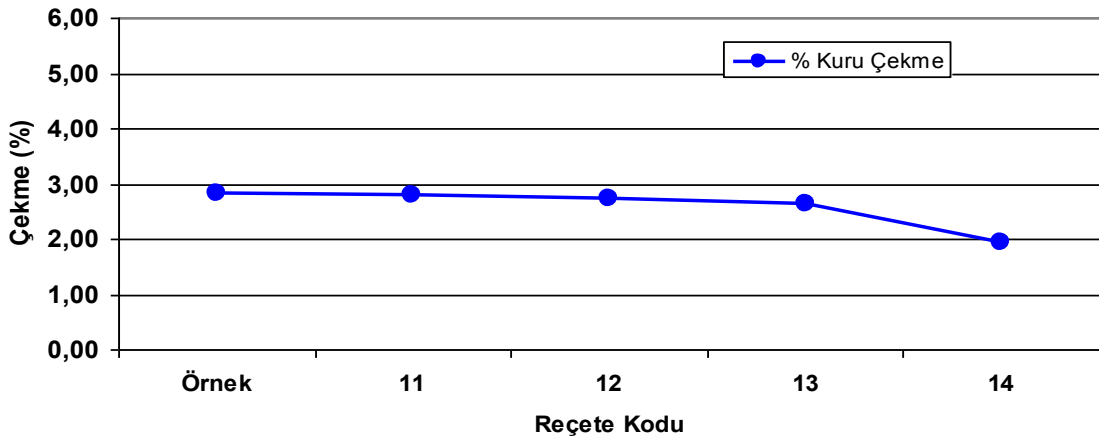


(b)

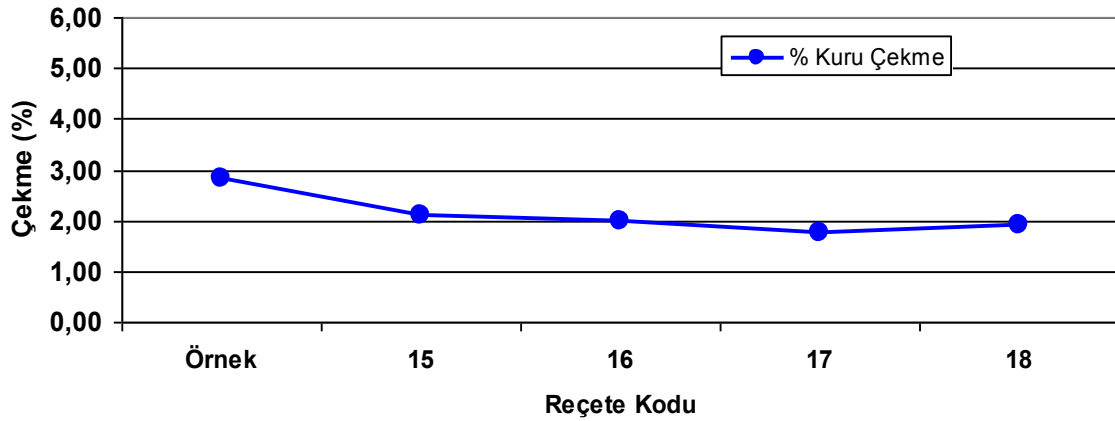
Şekil 5.11 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Uçucu kül içerikli reçetelerin kuru mukavemet eğrileri,  
(a) Tunçbilek, (b) Seyitömer

Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin kuru çekme eğrileri verilmektedir. Reçetede ki, kiremit atığı oranı arttıkça kuru çekme oranında azalma olduğu görülmektedir. Şekil 5.12 incelendiğinde, 11 ve 12 nolu reçetelerin kuru çekmesi örnek numuneye yakın

çıkacağı görülmüştür. Örneğin kuru çekme yüzdesi % 2.82, 11 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 2.8, 12 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi %2.7 olduğu görülmüştür. 13 ve 14 nolu reçetelerde atık oranı arttığı için, kuru çekmede düşme olduğu görülmüştür. 13 nolu reçetenin % 2.6 ve 14 nolu reçetenin ise %1.9 olduğu grafikten gözükmektedir. Şekil 3.20 incelendiğinde, Örnek numunenin kuru çekme yüzdesi, %2.82, 15 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 2.1, 16 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 2.0, 17 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 1.8, 18 nolu reçetenin kuru çekme yüzdesi % 1.9 olarak çıkmıştır. Örnek numune dışındaki, diğer reçetelerde atık oranı arttıkça kuru çekme yüzdesinin azaldığı görülmüştür.



(a)



(b)

Şekil 5.12 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Uçucu Kül içerikli reçetelerin kuru çekme eğrileri, (a) Tunçbilek, (b) Seyitömer

Hazırlanan tüm reçetelerin kuru çekme ve kuru mukavemet değerleri incelendiğinde, Tunçbilek uçucu külü içerikli 11 kodlu reçetenin, örneğe en yakın sonuçları gösterdiği

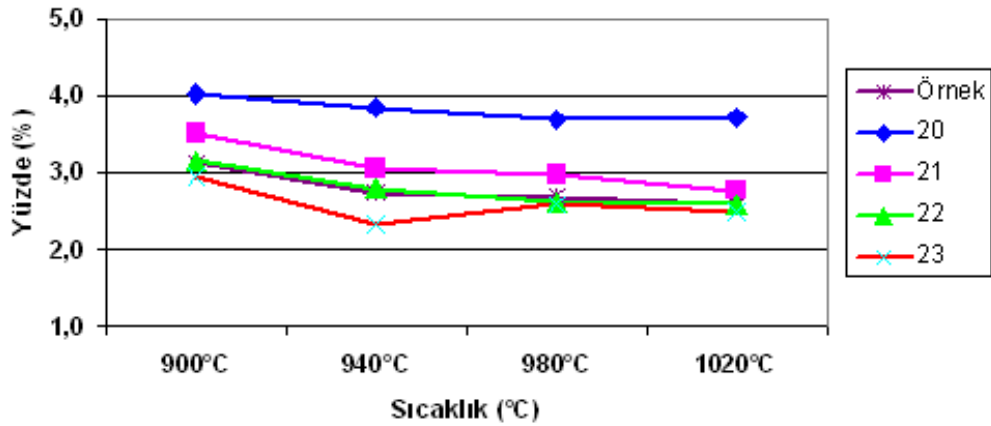


belirlenmiştir. Ağırlıkça %5 Tunçbilek uçucu külünün reçetete eklenmesi ile kuru mukavemet değerinde %10.96 azalma görülürken, kuru çekme değeri ise örnek ile aynı olduğu belirlenmiştir.

#### 5.4 Toplam Küçülme Sonuçları

##### 5.4.1 Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin toplam küçülme sonuçları

Şekil 5.13 incelendiğinde, sıcaklık yükseldikçe toplam küçülme değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Reçetelerdeki atık oranı arttıkça çekme oranının azaldığı görülmektedir. Örneğe en yakın sonucu 22 nolu reçetenin olduğu görülmüştür. 23 nolu reçetenin ise sadece, 980°C ve 1020°C'deki sonuçları birbirine çok yakın, diğer sıcaklıklarda örnekten daha düşük çıkmıştır. 20 ve 21 nolu reçetelerin toplam küçülmeleri, örnek numuneden yüksek çıkmıştır.



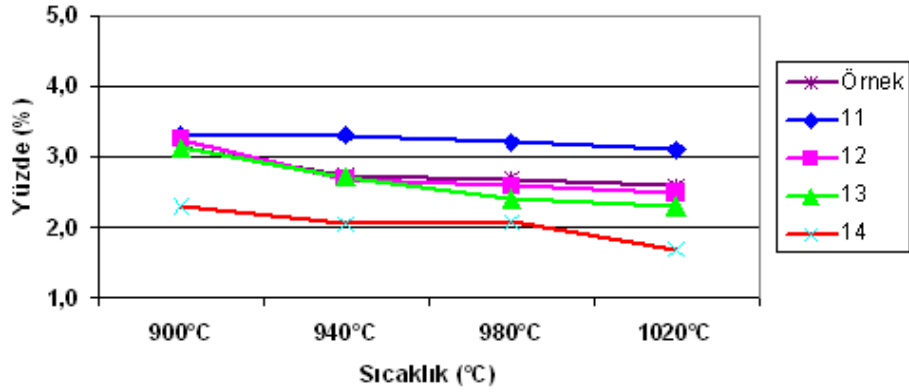
Şekil 5.13 Muttalıp kili-Kiremit atığı içerikli reçetelerin toplam küçülme eğrileri

##### 5.4.2 Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin toplam küçülme sonuçları sonuçları

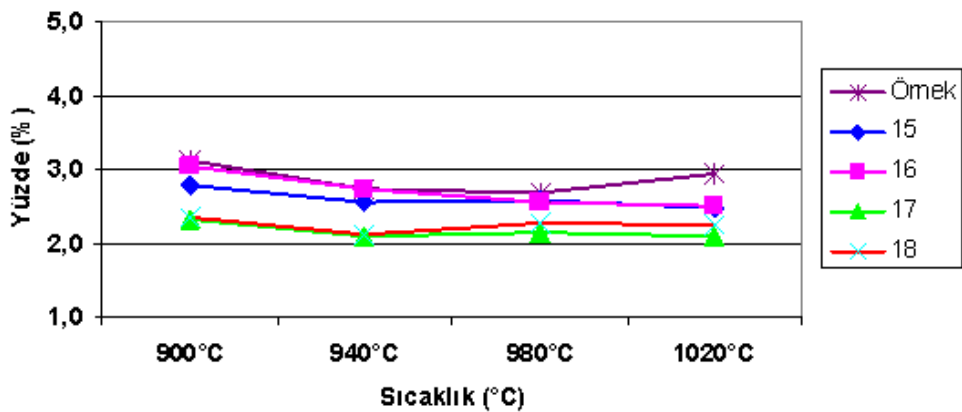
Şekil 5.14 (a) incelendiğinde, 14 nolu reçetenin sonuçları örnek' ten daha düşük toplam küçülme yüzdesi çıktığı görülmüştür. 900° C ile 940° C' deki sıcaklıklarda, örnek ile 12 nolu reçetenin değerleri birbirinin aynısı, 980° C'de ise örnek numuneden % 0.3 fazla çıkmış, 1020° C' de ise örnek numuneden % 0.3 daha az çıktığı görülmüştür. 11 nolu reçeteye bakıldığında, toplam küçülmelerin örnek numuneden daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Şekil 5.14 (a) incelendiğinde, 14 nolu reçetenin sonuçları örnek' ten daha düşük toplam

küçülme yüzdesi çıktığı görülmüştür. 900° C ile 940° C’ deki sıcaklıklarda, örnek ile 12 nolu reçetenin değerleri birbirinin aynısı, 980° C’ de ise örnek numuneden % 0.3 fazla çıkmış, 1020° C’ de ise örnek numuneden % 0.3 daha az çıktığı görülmüştür. 11 nolu reçeteye bakıldığında, toplam küçülmelerin örnek numuneden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Şekil 5.14 (b) incelendiğinde, tüm sıcaklıklara bakıldığında, 15, 16, 17 ve 18 nolu reçetelerin toplam küçülme yüzdeleri, örnek numuneden düşük çıkmıştır. Sadece, 16 nolu reçetenin toplam küçülme yüzdesi, örnek numuneden % 0.1 daha yüksek çıkmıştır. Hazırlanan tüm reçetelerin toplam küçülme değerleri incelendiğinde, atık (22 kodlu) ve seytömer uçucu (16 kodlu) külünün örneğe en yakın sonuçları gösterdiği belirlenmiştir. Bununla beraber, tunçbilek içerikli reçetelerde ise, toplam küçülme değerlerinin örnek’ten uzaklaştığı ve pişirme sonrasında nihai ürünün renk kalitesinin bozulduğu belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.14 Muttalıp kili-kiremit atığı-uçucu kül içerikli reçetelerin toplam küçülme eğrileri,

(a) Tunçbilek, (b) Seytömer

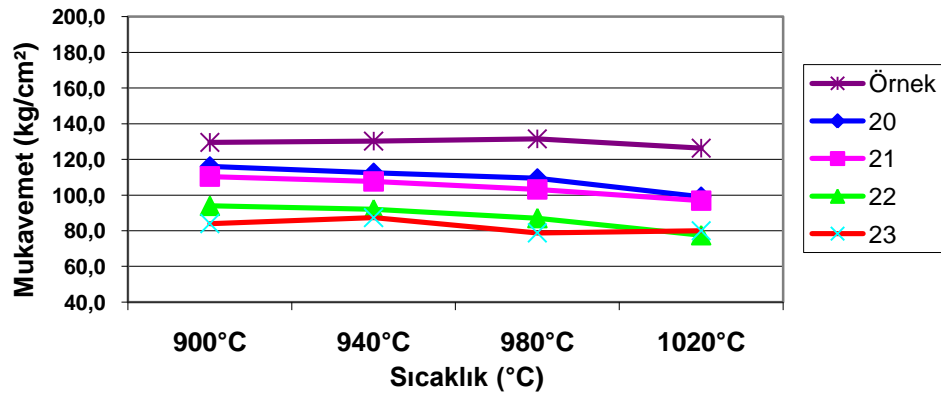
## 5.5 Mukavemet Sonuçları

### 5.5.1 Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin mukavemet sonuçları

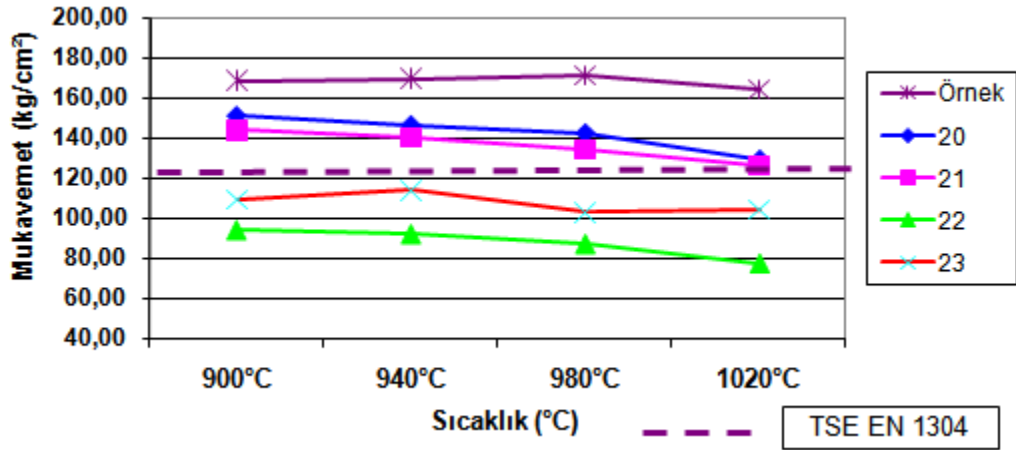
Şekil 5.15 incelendiğinde, 20, 21, 22 ve 23 nolu reçetelerin mukavemet değerleri, örnek numuneden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ancak, laboratuarda koşullarında elde edilen sonuçların İşletme şartlarına dönüştürülmesinde tuğla-kiremit sektöründe kullanılan bir dönüşüm faktörü kullanılmaktadır (Telbasi, 2010). Bu tez çalışması kapsamında, Çizelge 5.3'te verilen faktörle çarpılarak, Şekil 5.15 (a)'daki mukavemet değerleri işletme koşullarına dönüştürülmüştür (Şekil 5.15 (b)). Tanımlanan dönüşüm faktörü, Kütahya Gürallar Kiremit Fabrikası'nın son üç yılı Arge-Lab. ve Fabrika mukavemet değerleri temel alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5.15 (b) incelendiğinde, 20 ve 21 nolu reçetelerin TSE EN 1304'e göre uygun olduğu görülmektedir. 22 ve 23 nolu reçetelerde, mukavemet TSE EN 1304'ün dışında kaldığı görülmüştür [5].

Çizelge 5.3 Mukavemet dönüşüm faktörü

Yıllar	Arge-Lab. Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )	Fabrika Mukavemet (kg/cm <sup>2</sup> )
2008	142	182
2009	128	179
2010	138	170
Ortalama	136	177
Mukavemet Dönüşüm Faktörü		0.301



(a)



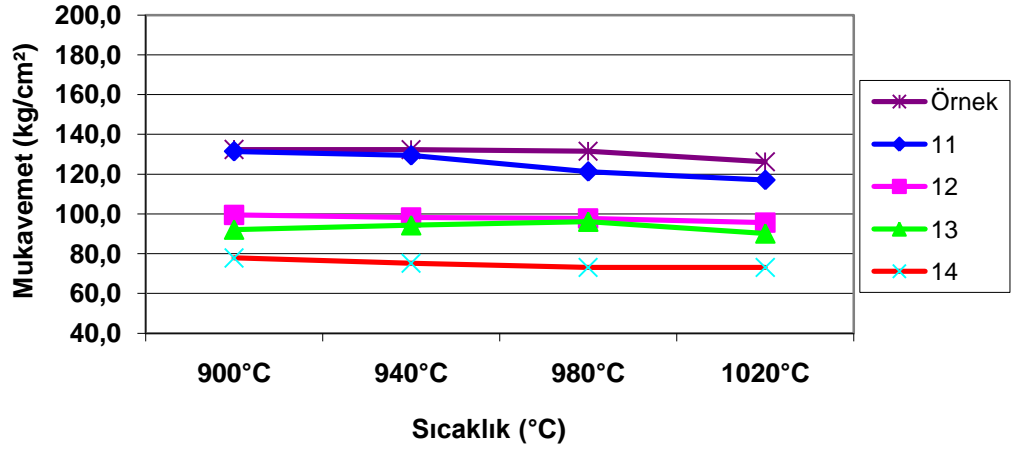
(b)

Şekil 5.15 Muttalıp Kili-Kiremit atığı içerikli reçetelerin mukavemet eğrileri, (a) Mukavemet, (b) Dönüştürülmüş Mukavemet

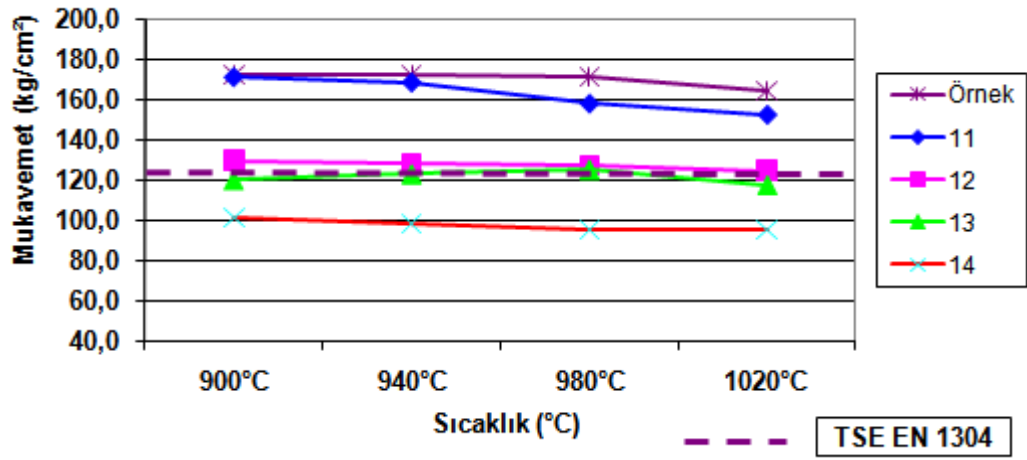
### 5.5.2 Muttalıp kili – kiremit atığı – uçucu kül içerikli reçetelerin mukavemet sonuçları

Şekil 5.16 (a) incelendiğinde, 12, 13 ve 14 nolu reçetelerin mukavemet değerleri, örnek numuneden daha düşük çıktığı görülmüştür. Ancak, 11 nolu reçetenin, 940°C'deki mukavemet değeri  $129.4 \text{ kg/cm}^2$  olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, Çizelge 5.3'de verilen faktörle çarpılarak, Şekil 5.16 (a)'deki mukavemet değerleri işletme koşullarına dönüştürülmüştür (Şekil 5.16 (b)). Şekil 5.16 (b) incelendiğinde, 11 ve 12 nolu reçetelerin dönüştürülmüş TSE EN 1304'e göre uygun olduğu görülmektedir. Fakat 11 nolu reçetenin örneğe çok daha yakın olduğu görülmüştür. Bununla beraber, 13 ve 14 kodlu reçetelerin mukavemet değerlerinin TSE EN 1304'e göre düşük olması sebebi ile standart dışı olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5.17 incelendiğinde, sadece 15 reçetenin TSE EN 1304'e göre uygun olduğu görülmektedir. 16, 17, ve 18 nolu reçetelerin, mukavemetinin TSE EN 1304'ün dışında kaldığı görülmüştür. Dönüştürülmüş mukavemet değerleri incelendiğinde, atık katkılı 20 kodlu reçetenin örneğe en yakın ve TS EN 1304'e en uygun olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, uçucu kül içerikli bir reçete seçilmesi durumunda ise 11 kodlu reçetenin uygulanması önerilmektedir.

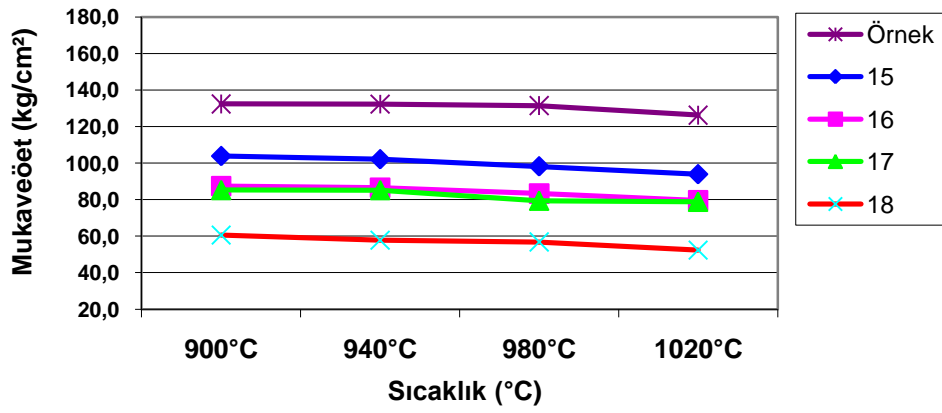


(a)

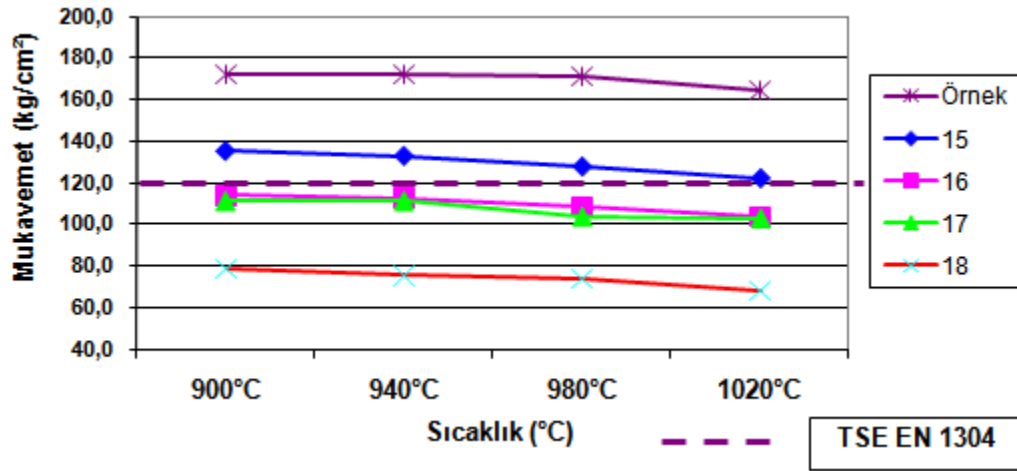


(b)

Şekil 5.1 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Tunçbilek içerikli reçetelerin mukavemet eğrileri, (a) Mukavemet, (b) Dönüştürülmüş Mukavemet



(a)



(b)

Şekil 5.2 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Seytitömer içerikli reçetelerin mukavemet eğrileri, (a) Mukavemet, (b) Dönüştürülmüş Mukavemet

### 5.5.3 Su Emme Sonuçları

#### 5.5.3.1 Muttalıp kili – kiremit atığı içerikli reçetelerin su emme sonuçları

Şekil 5.18 incelendiğinde, 20, 21, 22 ve 23 nolu reçetelerin su emme değerleri, örnek numuneden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ancak, laboratuarda koşullarında elde edilen sonuçların İşletme şartlarına dönüştürülmesinde tuğla-kiremit sektöründe kullanılan bir dönüşüm faktörü kullanılmaktadır (Telbasi, 2010). Bu tez çalışması kapsamında, Çizelge 5.4’de verilen faktörle çarpılarak, Şekil 5.18 (a)’deki su emme değerleri işletme koşullarına dönüştürülmüştür (Şekil 5.18 (b)). Tanımlanan dönüşüm faktörü, Kütahya Gürallar Kiremit Fabrikası’nın son üç yılı AR-GE ve Fabrika su emme değerleri temel alınarak hesaplanmıştır.

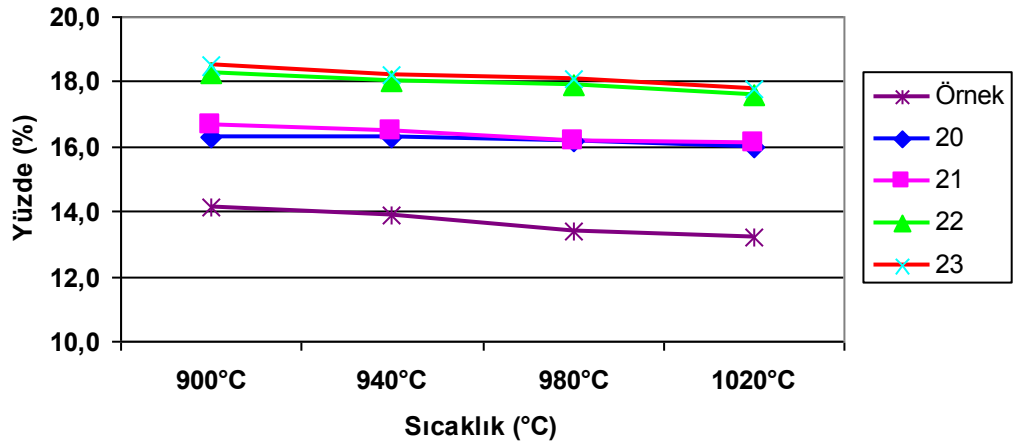
Çizelge 5.4 Su emme dönüşüm faktörü

Yıllar	AR-GE Su Emme (%)	Fabrika Su Emme (%)
2008	16.2	11.2
2009	15.9	11.6
2010	16.5	11.5
Ortalama	16.20	11.4
Su Emme Dönüşüm Faktörü		0.29

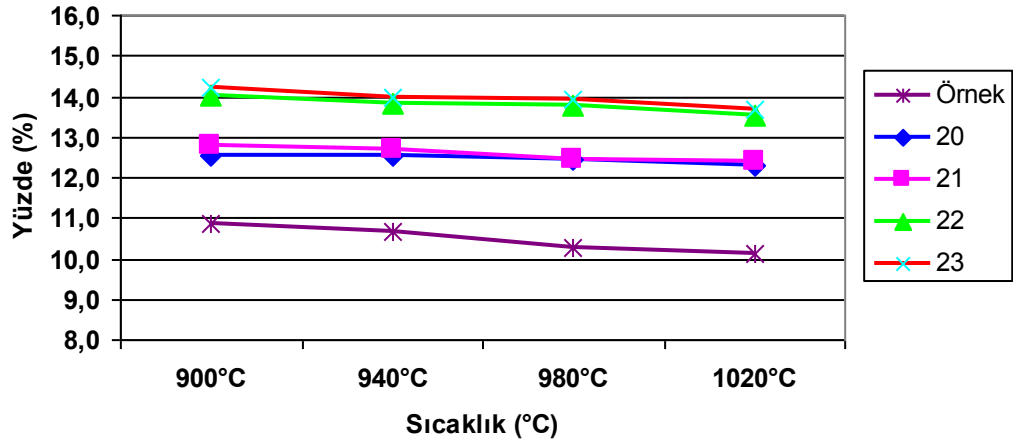
Şekil 5.18(b) incelendiğinde, atık oranı artıka su emme değerlerinin örneğe göre artığı, 20 ve 21 nolu kodlu reçetelerin su emme yüzde değerleri, örneğe daha yakın çıkmıştır. TS 562’nin 1.2.4 maddesine göre su emme oranı değerinin her biri kiremidin %16’ dan büyük olmamak üzere aritmetik ortalamasının %13’ ten küçük olmaması gerektiği belirtilmiştir [5]. Atık içerikli reçetelerin su emme yüzde değerleri incelendiğinde, 20 ve 21 kodlu reçetelerin standarda uygunluğu görülmüştür.

#### 5.5.3.2 Muttalıp kili – kiremit atığı- uçucu kül içerikli reçetelerin su emme sonuçları

Şekil 5.19 incelendiğinde, 11, 12, 13 ve 14 nolu reçetelerin su emme değerleri, örnek numuneden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Dönüştürülmüş su emme değerleri incelendiğinde ise, 11 ve 12 kodlu reçetelerin TS 562’ye uygun olduğu belirlenmiştir.



(a)

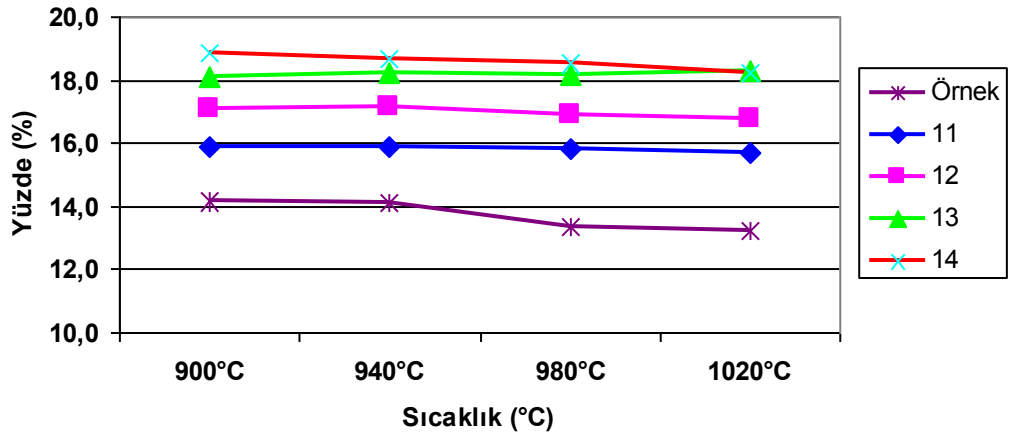


(b)

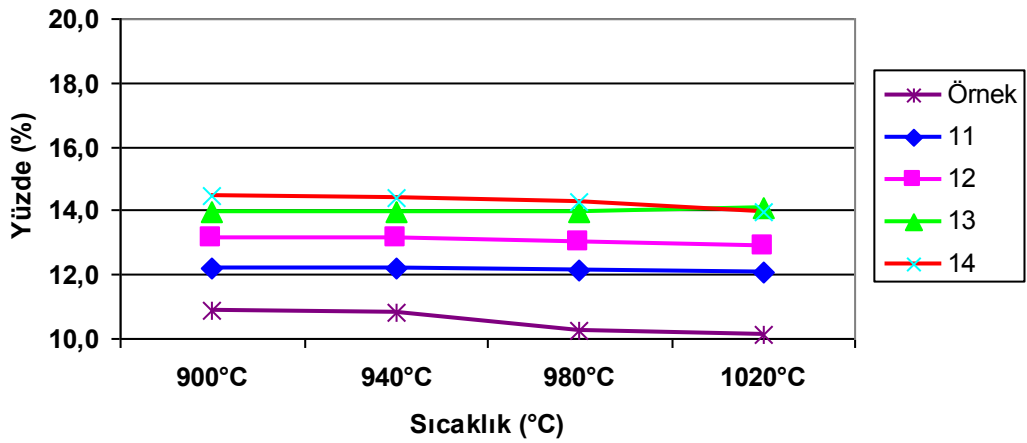
Şekil 5.3 Muttalıp Kili-Kiremit atığı içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme.

Şekil 5.19 (b) incelendiğinde, 15, 16, 17 ve 18 nolu reçetelerin su emme değerleri, örnek numuneden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Dönüştürülmüş su emme değerleri incelendiğinde ise, 15, 16, 17 ve 18 nolu reçetelerin TS 562'ye uygun olmadığı belirlenmiştir.



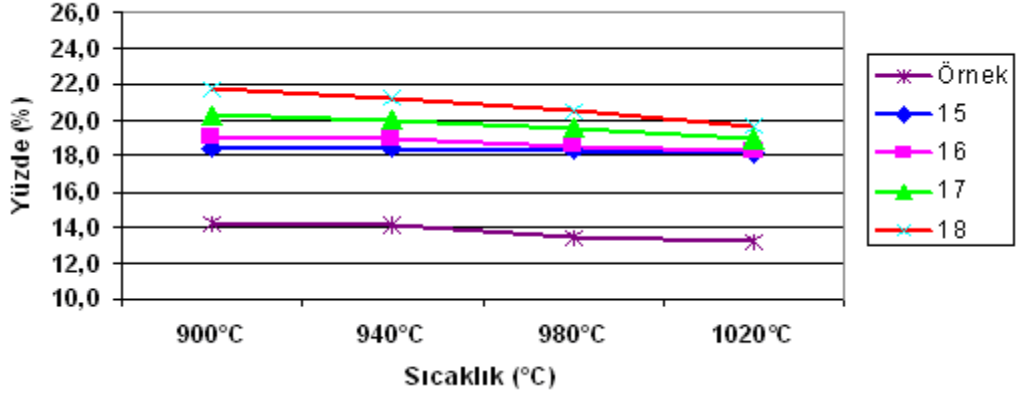


(a)

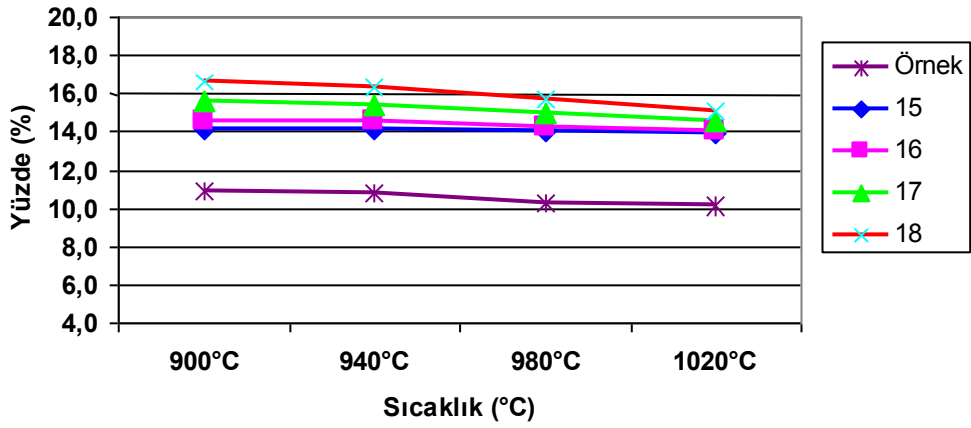


(b)

Şekil 5.4 Muttalıp Kili-Kiremit atığı-Tunçbilek içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme.



(a)

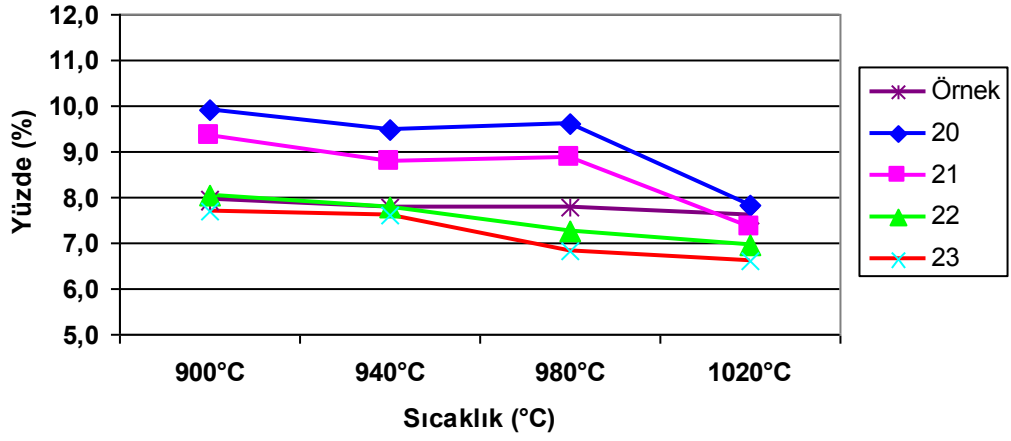


(b)

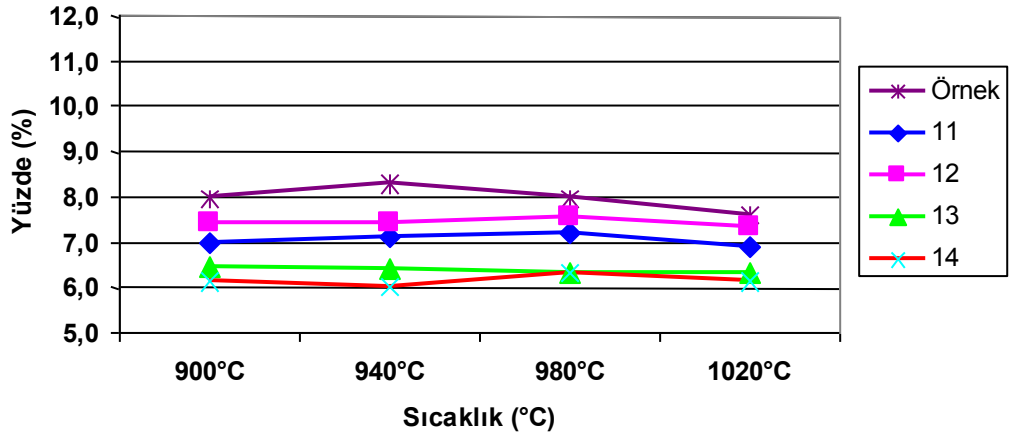
Şekil 5.5 Muttalıp kili-Kiremit atığı-Seyitömer içerikli reçetelerin su emme eğrileri, (a) Su emme, (b) Dönüştürülmüş su emme.

## 5.6 Ateş Kaybı Sonuçları

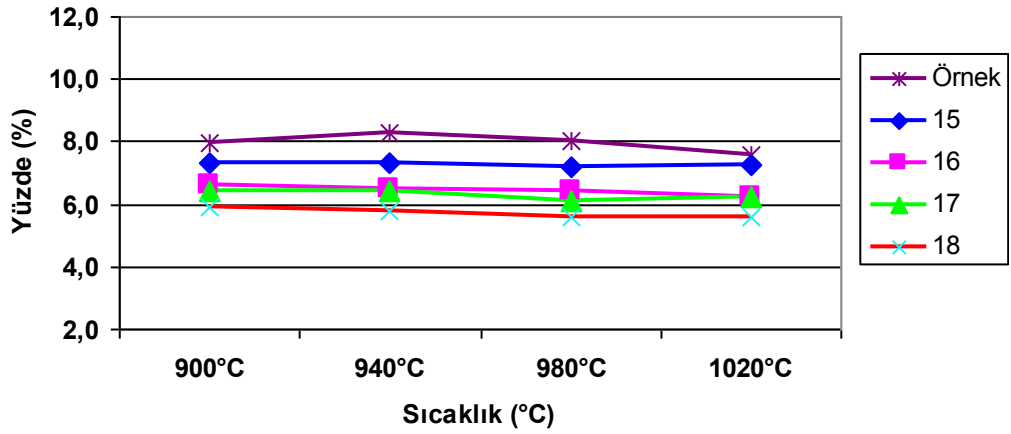
Tüm reçetelere ait ateş kaybı sonuçları incelendiğinde, reçeteki kiremit atığı ve uçucu oranı katkı oranı artıkça, ateş kaybı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bununla beraber sinterleşme sıcaklıkları artıkça, ağırlık kaybında artış olduğu görülmüştür (Şekil 5.21).



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.6 Muttalıp kili-Kiremit atığı-Uçucu kül içerikli reçetelerin ateş kaybı sonuçları, (a) Muttalıp kili-Kiremit atığı, (b) Muttalıp kili, Kiremit atığı, Tunçbilek uçucu külü, (c) Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer uçucu külü

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gittikçe artan endüstrileşme, sanayi ürünlerinin tüketimi ve bu tüketim sonucu olarak, atık maddelerin oranının artması, Türkiye olmak üzere bütün dünya ülkeleri için oldukça önemli bir sorun haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda, Türkiye’de hızla gelişmekte olan sanayi kollarından olan Tuğla ve Kiremit imalatından %2-5 oranında zaiyat çıkmaktadır. Buna ek olarak, kömür ile çalışan Termik santrallerden yılda 15 milyon toz uçucu kül atığı ortaya çıkmaktadır. Endüstriyel atıkların biriktirilmesi veya atılması önemli ölçüde çevre kirliliğine ve problemlere yol açmaktadır.

Günümüzde, Tuğla ve Kiremit atıklarının bir kısmı toz haline getirilip, spor alanlarında kullanılmaktadır. Ancak büyük bir kısmı düzensizce depolanmaktadır. Uçuşu küllerin ise en çok kullanıldığı alan çimento sektörüdür. Ancak, bu atıkların farklı sektörlerdeki kullanım alanlarının kısıtlı olması sebebi ile ekonomiye katkıları az olmakla beraber, çevre olan kötü etkilerinin de giderek artmaktadır. Bununla beraber, Türkiye’de inşaat sektörünü temel taşlarını oluşturan tuğla-kiremit ve çimento sanayilerinin kapasitelerinin giderek artması, bu sektörlerin hammadde sağlandığı doğal kaynakları tüketmektedir. Dolayısı ile çevre ve doğal dengenin bozulmaması, atıkların değerlendirilmesi ve ekonomik kazanç sağlanabilmesi için endüstriyel açıdan değerli bu atıkların değerlendirilmesi kaçınılmaz bir sonuçtur.

Bu tez çalışmasında, kiremit atığı ve uçucu küllerin kiremit sektöründe değerlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaçlar, Muttalıp kili, kiremit atığı, Seyitömer ve Tunçbilek uçucu baca küllerini farklı oranlarda içeren 12 reçete oluşturulmuştur. Bu reçeteler aynı şartlarda, yaş şekillendirme ile kurutmaları yapılmış ve sonra farklı 4 sıcaklık segmenti pişirilmiştir. Pişirme sonrası üretilen plakaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için, kuru mukavemet, toplam küçülme, su emme, mukavemet ve ateş kaybı testlerine tabi tutulmuştur. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kuru mukavemet sonuçları incelendiğinde, atık katkılı 20 kodlu reçetenin (%5 Atık + %95 Kil) örneğe en yakın, Tunçbilek uçucu külü içerikli 11 kodlu reçetenin (%5 Tunçbilek uçuşu külü + %5 Kiremit Atığı + %90 Kil) örneğe en yakın sonuçları gösterdiği belirlenmiştir.
- Toplam küçülme deney sonuçları incelendiğinde, Atık katkılı 22 kodlu reçetenin (%15 Atık + %85 Kil) örneğe en yakın, Seyitömer uçucu külü içerikli 16 kodlu reçetenin

(%5 Seyitömer uçucu külü + %10 Kiremit atığı + %85 Kil) örneğe en yakın sonuçları gösterdiği belirlenmiştir.

- Dönüştürülmüş Su emme deney sonuçları incelendiğinde; Atık içereklî reçetelerin su emme yüzde değerleri incelendiğinde, 20 (%5 Atık + %95 Kil) ve 21 (%10 Atık + %90 Kil) kodlu reçetelerin standarda uygunluğu görülmüştür. Uçucu Kül katkılı reçetelerin, su emme değerleri incelendiğinde ise, 11 (%5 Tunçbilek uçucu külü + %5 Kiremit Atığı + %90 Kil) ve 12 (%5 Tunçbilek uçucu külü + %10 Kiremit Atığı + %85 Kil) kodlu reçetelerin TS 562'ye uygun olduğu belirlenmiştir.
- Dönüştürülmüş mukavemet değerleri incelendiğinde; atık katkılı 20 kodlu (%5 Atık + %95 Kil) reçetenin örneğe en yakın ve TS EN 1304'e en uygun olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, uçucu kül içereklî bir reçete seçilmesi durumunda ise 11 kodlu (%5 Tunçbilek uçucu külü + %5 Kiremit Atığı + %90 Kil) reçetenin uygulanması önerilmektedir.
- Tüm reçetelere ait ateş kaybı sonuçları incelendiğinde, reçeteki kiremit atığı ve uçucu oranı katkı oranı artıkça, ateş kaybı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bununla beraber sinterleşme sıcaklıkları artıkça, ağırlık kaybında artış olduğu görülmüştür.

Kiremit atığı oranı artıkça, nihai ürün üzerindeki kireç patlama miktarı azalmasına rağmen, bünye rengi referans kiremit rengine göre açılmaktadır. Bu durumda tüketicinin tercih etmediği bir ürün ortaya çıkmaktadır.

Uçucu Kül ve Atık katkılı reçetelerde, Tunçbilek uçucu külünde %1.66 SO<sub>3</sub>, Seyitömer uçucu külünde %3.04 oranında SO<sub>3</sub> bulunmaktadır. Bu nedenle, Seyitömer içeren reçetelerde, nihai üründe görülen çiçeklenmede de artış bulunması beklenen bir sonuçtur. Bununla beraber, Tunçbilek uçucu külünün, Seyitömer uçucu külüne göre daha fazla Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine sahip olması sebebi ile Tunçbilek uçucu kül katkılı reçeteli ürünlerin plastikliğinin artması, fiziksel sonuçların örneğe daha yakın çıkmasına neden olmaktadır.

Tunçbilek uçucu külünde % 3.40 CaO, Seyitömer uçucu külünde %6.20 CaO olması nihai üründe hem kireç patlamasının artmasına hem de çiçeklenmenin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Tunçbilek uçucu kül içeriğindeki % 3.48 MgO içeriği, sinterleşmeyi etkileyerek, mukavemetini Seyitömer uçucu kül içerikli reçetelere göre daha yüksek

olmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak, 20 (%5 Atık + %95 Kil) ve 11 (%5 Tunçbilek uçucu külü + %5 Kiremit Atığı + %90 Kil) kodlu reçetelerin referans kiremide temsil eden örnek numuneye en yakın fiziksel ve mekanik özellikler göstermesi sebebi ile kiremit atığı ve/veya uçucu kül içerikli en uygun reçeteler olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Aksin, E., (2007), “Endüstriyel Atıkların Tuğla ve Kiremit üretiminde değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir.

Arcasoy, A., (1983), “Seramik Teknolojisi”, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Beşiktaş, 30-42.

Baykara, M.A., (2000), “Seramik yapı malzemelerinde mikro yapının biyolojik boyutu”, Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi, 9, 10-14.

Bentli, İ., Uyanık, A.O., Demir, U. ve Şahbaz, O. (2005), “Seyitömer Termik santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı”, Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2005, İzmir.

Çelik Karakaya, M., (2006), “Kil Minerallerinin Özellikleri ve Tanımlama Yöntemleri”, 504-539.

Çokca, E., (1997), “Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash”, Journal of Energy Engineering, Vol. 123, No. 1, 1-10.

Demir, I. ve Orhan, M., (2003), “Reuse of waste bricks in the production line” Afyon Kocatepe University, Afyon.

DPT, (2000). “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş Ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu”, Ankara.

Erdoğan, D., Kayalar, A.Ş., Altun, S. ve Göktepe, A.B., (2001), “Turgutlu Tuğla ve Kiremit Fabrikaları Katı Atıklarının Geoteknik Özellikleri”, 409-410.

Fischer, P., (1984), “Some comments on the colour of fired clays”, Die Ziegelindustrie International, 2, 475.

Grimshaw, R. W., (1971), “The chemistry and physics of clays”, Tech boks, 4012 William Court, İndia, 1023.

Lavat, A., Trezza, M., and Poggi M., “Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture” Waste Management, 29 (2009) 1666-1674.

Satopathy, L.N., “A Study On The Mechanical Abrasion and Microstructural Properties of Zirconia-Flyash Materials”, Elsevier, Ceramics \_nt., Vol 26, 2000, pp 39-45.

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, DPT: 2530-ÖİK:546, 2000.

Tan, K.H., (1978), “Formation of metal-humic acid complexes by titration and their characterization by differential thermal analysis and infrared spectroscopy.” Soil.Biol.Bio Chem. 10, 123-129.

TSE 562, (1996), “Türk Standartları Enstitüsü, Oluklu Kiremitler ve Mahya Kiremitleri-Akdeniz Oluklu, Marsilya Oluklu”, Ankara.

TSE EN 1304, (2007), “Türk Standartları Enstitüsü, Çatı Kiremitleri ve Bağlantıları Parçaları-kilden imal edilmiş-Tarihler ve Özellikler”, Ankara.

TSE EN 538, (2000), “Türk Standartları Enstitüsü, Çatı Kiremitleri kilden yapılmış sürekli olmayan (Bindirmeli) Eğilme Dayanımı Deneyi”, Ankara.

Uchida,S., and ICHIKAWA,K., (1998) “High Temperature Properties of Unburned MgO-C Bricks Containing Al and Si Powders” Journal of The American Ceramic Society, vol:81, No: 11, November , pp. 2910-2916.

Yanık, G., (2005), “Turgutlu (Manisa) Neojen Oluşuklarının Tuğla Kiremit Hammaddesi Yönünden Minerolojik Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



- [1] [http://www.tukder.com/foto\\_galeri/1392010172711İ.pdf](http://www.tukder.com/foto_galeri/1392010172711İ.pdf)
- [2] [http://www.yapi.com.tr/V\\_Images/arastirma/tuglakiremit\\_tukder\\_06.pdf](http://www.yapi.com.tr/V_Images/arastirma/tuglakiremit_tukder_06.pdf)
- [3] <http://www.sarantugla.com.tr>
- [4] [http://www.ius.imoizmir.org.tr/ius\\_bildiriler/15\\_k40\\_ius\\_karacasu\\_cakar.pdf](http://www.ius.imoizmir.org.tr/ius_bildiriler/15_k40_ius_karacasu_cakar.pdf)
- [5] <http://www.tse.org.tr/TSEIntWeb/Standard/Standard/Standard.aspx?...>

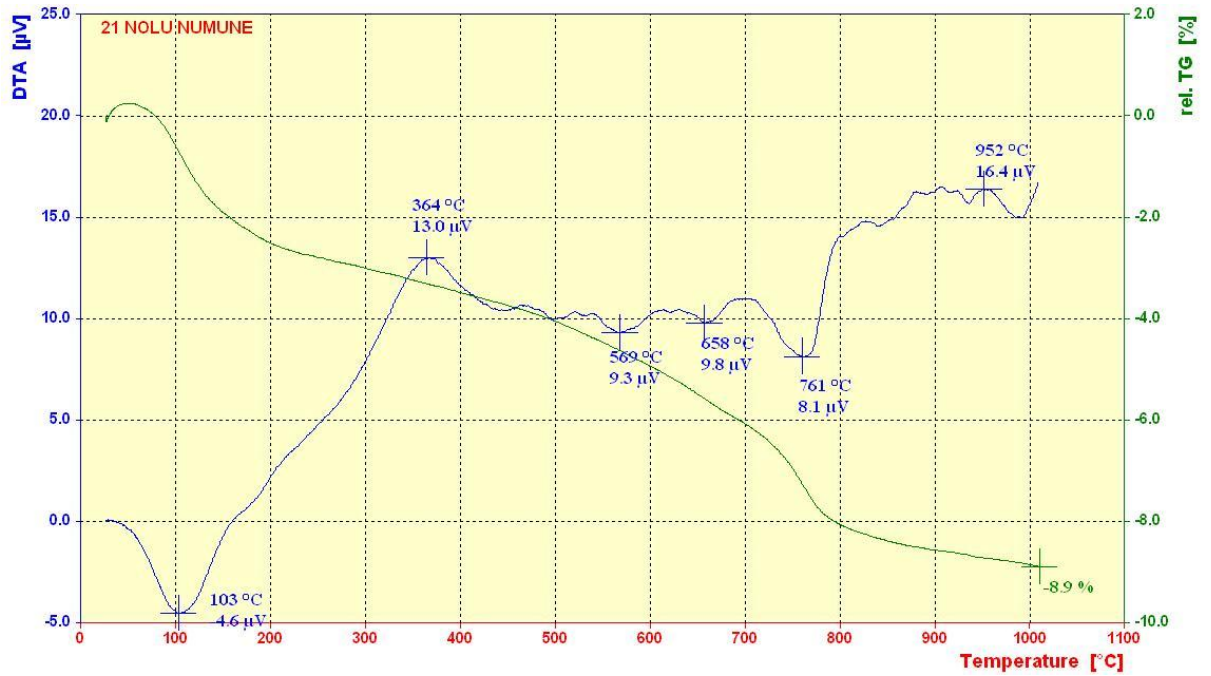
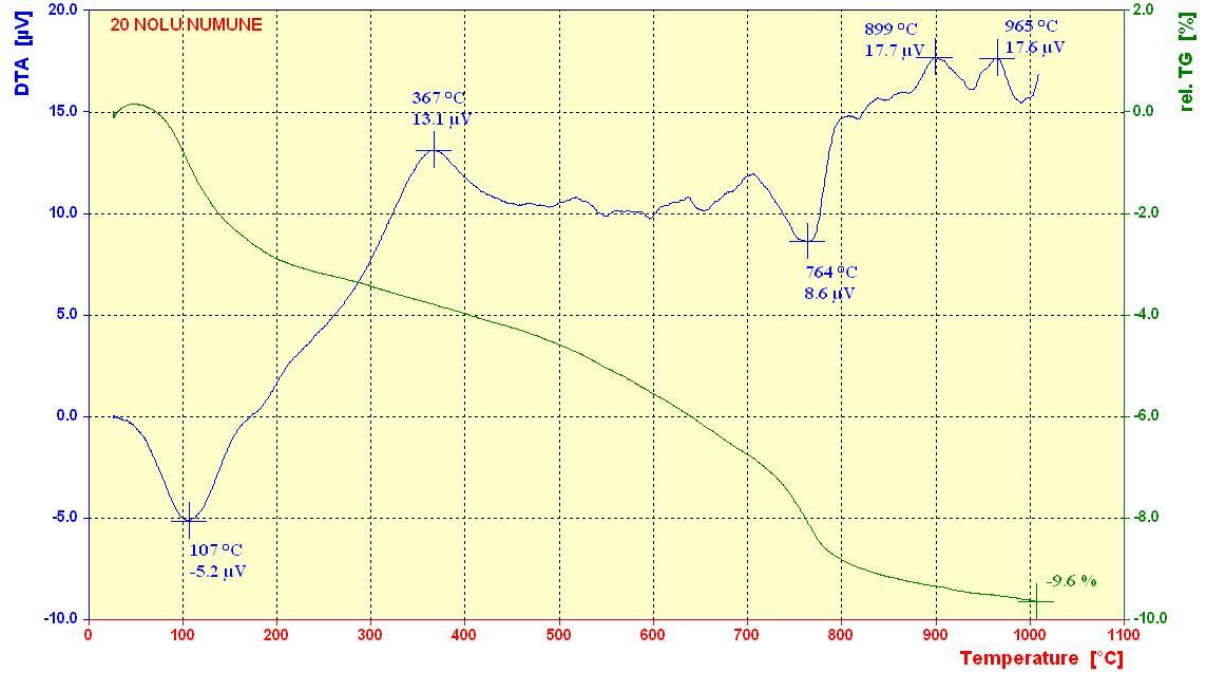
**ÖZGEÇMİŞ**

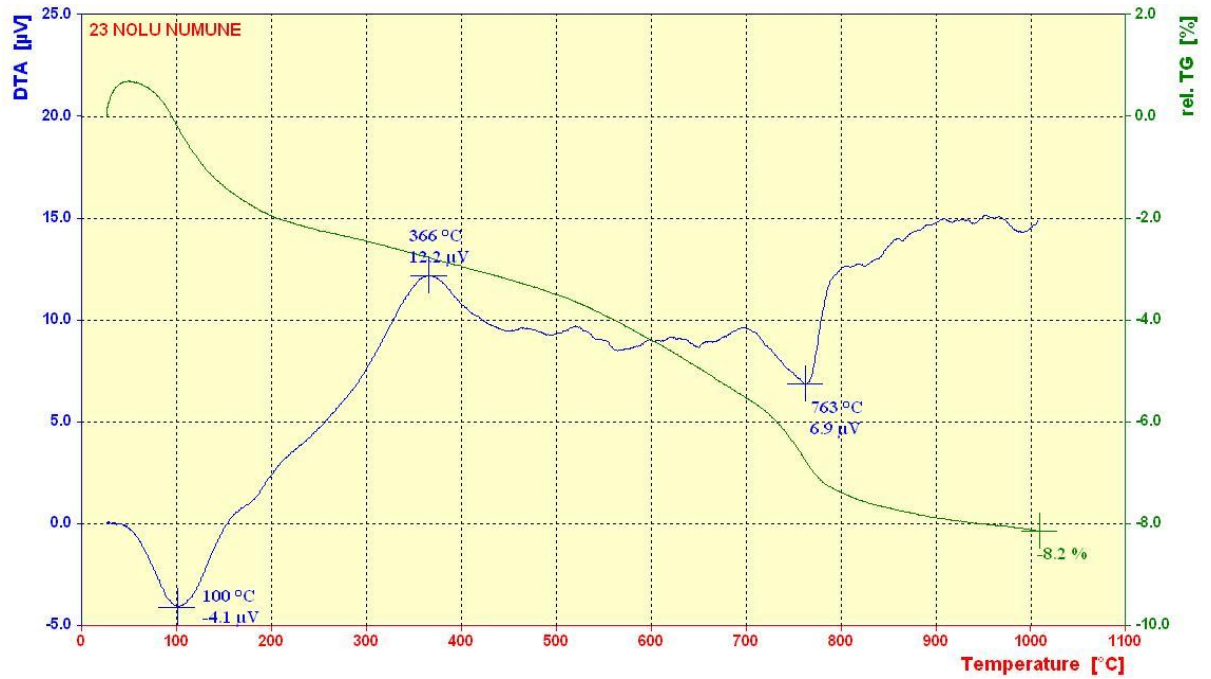
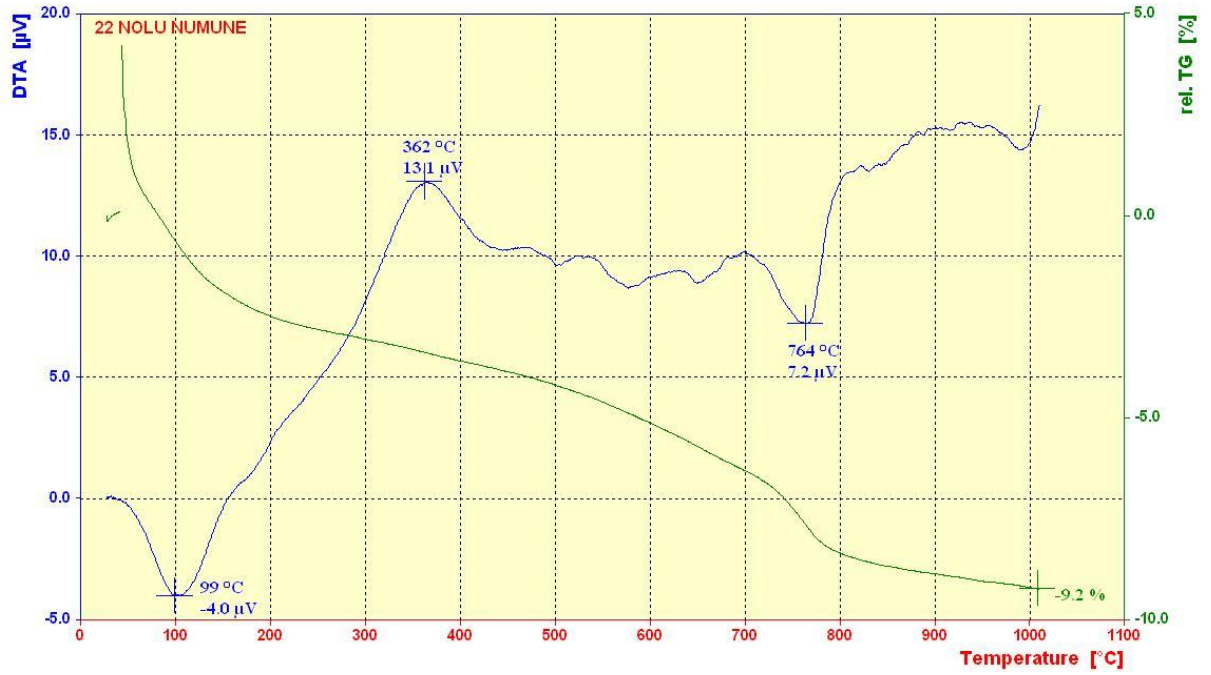
Doğum tarihi	04.02.1972	
Doğum yeri	Kütahya	
Lise	1986-1990	Kütahya Teknik Lisesi
Lisans	1991-1996	Yıldız Üniversitesi Kimya-Metallurji Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Anabilim Dalı, Kimya Müh. Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

1996-1997	Kütahya Seramik Fabrikası, Vardiya Amiri
1997-1998	Kütahya Porselen Fabrikası, Sırlama Sorumlusu
1999-2001	Güral Porselen Fabrikası, Dökümhane Sorumlusu
2001-2002	Gıda Üretim Sorumlusu
2002-	Gürallar Kiremit Fabrikası, Arge-Laboratuvar Sorumlusu, , ISO-9001:20008 KYS Sorumlusu

## EK 1: MUTTALIP KİLİ – KİREMİT ATIĞI İÇERİKLİ REÇETELERİN DTA/TG EĞRİLERİ



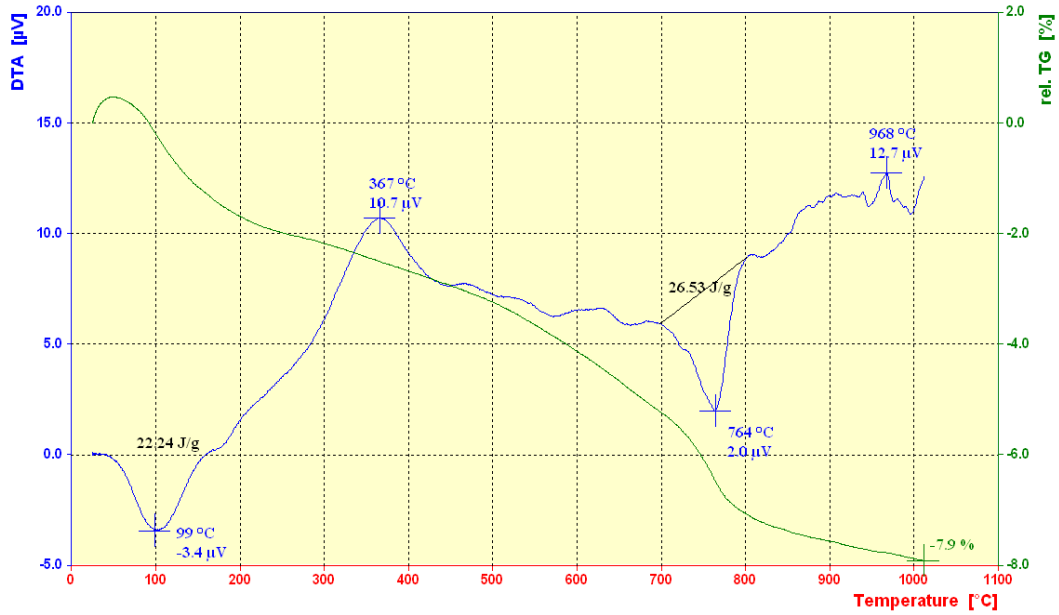


## EK 2: MUTTALIP KİLİ – KİREMİT ATIĞI – UÇUCU KÜL İÇERİKLİ REÇETELERİN DTA/TG EĞRİLERİ

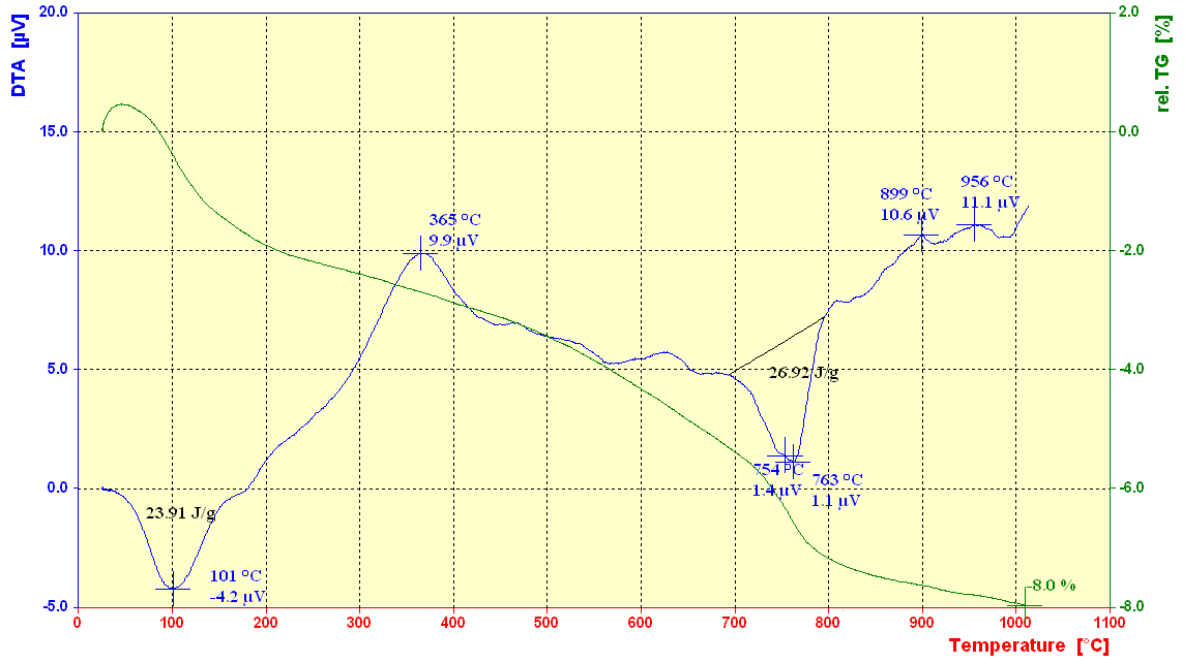
ÖRNEK: 12 NUMARALI NUMUNE



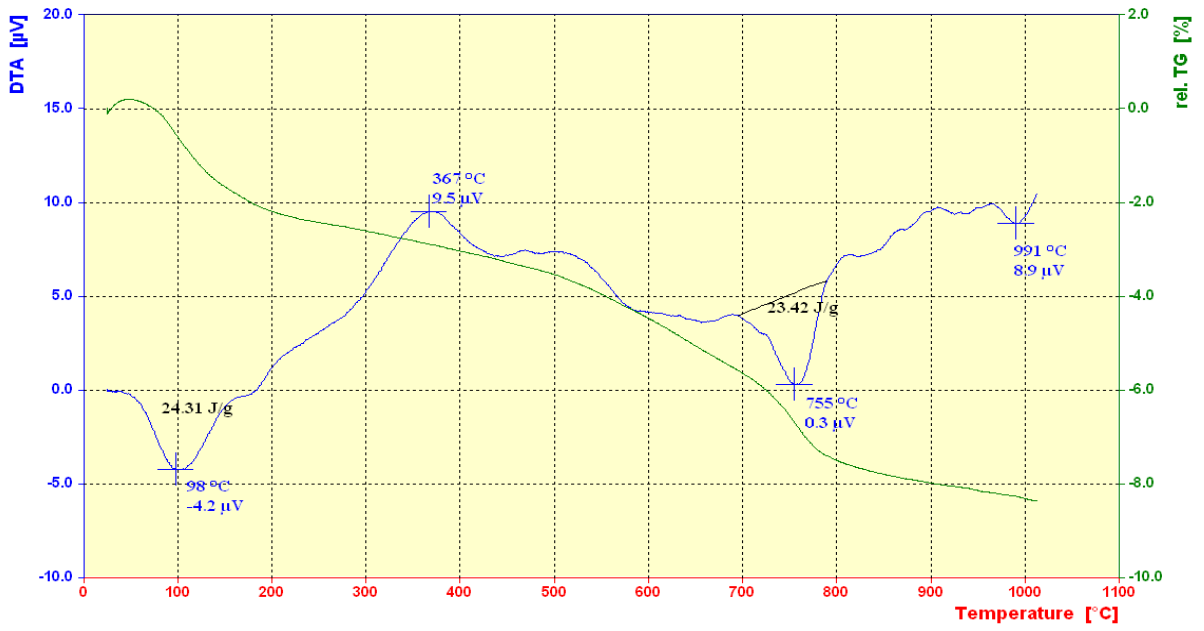
ÖRNEK: 13 NUMARALI NUMUNE



ÖRNEK: 14 NUMARALI NUMUNE



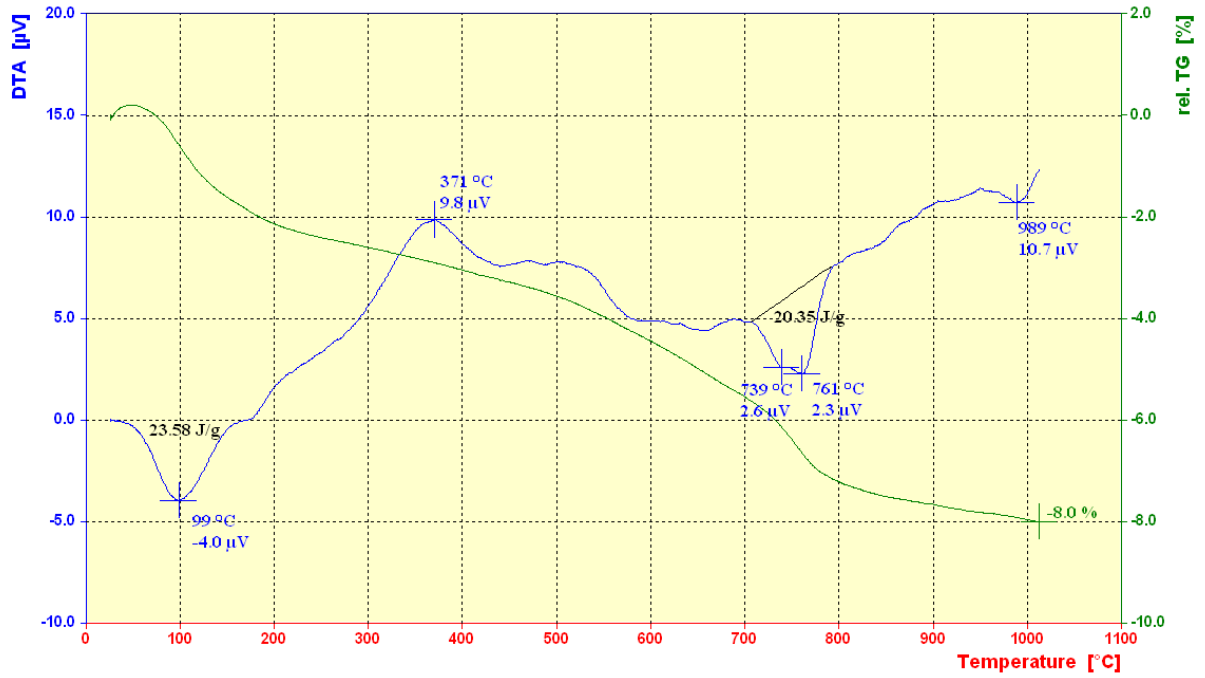
ÖRNEK: 15 Numaralı Numune



ÖRNEK: 16 Numaralı Numune



ÖRNEK: 17 Numaralı Numune



ÖRNEK: 18 Numaralı Numune

