

BORİK ASİT KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSA ŞAHİN

Danışman

Doç. Dr. İSMAİL DEMİR
YAPI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ŞUBAT 2009

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BORİK ASİT KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

MUSA ŞAHİN

DANIŞMAN
Doç. Dr. İSMAİL DEMİR

YAPI EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

ŞUBAT 2009

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. İSMAİL DEMİR danışmanlığında,
MUSA ŞAHİN tarafından hazırlanan
“BORİK ASİT KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI”
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca
06/02/2009
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Yapı Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan Yrd. Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

Üye Doç. Dr. İsmail DEMİR

Üye Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILDIZ

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

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORİK ASİT KATKILI TUĞLA ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Musa ŞAHİN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Doç. Dr. İSMAİL DEMİR

Bu çalışmada tuğla bünyesine eklenen borik asit katkısının tuğla özelliklerinde meydana getirdiği değişimler incelenmiştir. Afyonkarahisar bölgesi tuğla kiline, ağırlıkça % 0 (kontrol serisi) % 1 ve % 2 borik asit katkısı yapılarak ekstrüzyon yöntemi ile tuğla numuneleri üretilmiştir. Tuğla numuneler, laboratuvar tipi elektrikli ark fırınında; 50 °C' lik artışlarla 700 °C - 1000 °C' de 7 farklı sıcaklıkta pişirilmiştir.

Pişmiş örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür. Pişmiş örneklerin mikro yapılarındaki gelişmeler SEM ve XRD tekniği ile incelenmiştir. Sonuçta borik asit katkının sinterlemeyi olumlu yönde etkilediği ve mekanik özellikleri geliştirdiği belirlenmiştir.

2009, 58 sayfa

Anahtar kelimeler: Borik Asit, Kil, Tuğla, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

Ms.Sc.

AN INVESTIGATION on THE EFFECT of BORIC ACID ADDITION on BRICK PRODUCTION

Musa SAHIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

Supervisor: Doç. Dr. ISMAIL DEMIR

In this study; the changes took place in brick properties by addition of boric acid into the brick body have been investigated. Bricks have been manufactured by extrusion method with the addition of 0 % (control series), 1 % and 2 % boric acid into the Afyonkarahisar region brick clay. The brick samples have been fired in an electrically heated furnace at 7 different temperatures between 700 and 1000 °C with 50 °C intervals.

Physical and mechanical tests were performed on the fired samples. Microstructures of the fired samples were investigated by SEM and XRD techniques. As a result of the study, it was concluded that the boric acid additions have positive effect on firing and mechanical properties development.

2009, 58 page

Keywords: Boric Acid, Clay, Brick, Mechanical Properties

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda her türlü konuda yardımını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. İsmail DEMİR'e, katkılarından dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR'a,

Tez çalışmam boyunca her konuda desteğini esirgemeyen, deneylerin yürütülmesi ve akademik yazımdaki geniş tecrübesiyle yaptığı yardımlarından dolayı hocam sayın Arş. Gör. Gökhan GÖRHAN'a,

Tezimin literatür çalışmasında yardım ve katkılarından dolayı hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet YILDIZ'a,

Çalışmam süresi boyunca bana yardımcı olan Ali YİĞİT'e, Koray GÜL'e ve aileme teşekkür ederim.

Musa ŞAHİN

AFYONKARAHİSAR, Şubat 2009

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1 Kil	13
2.1.1 Kil'in Köken ve Oluşumu	13
2.1.1.1 Sedimanter Kökenli Killer	14
2.1.1.2 Hidrotermal Kökenli Killer	14
2.1.2 Killerin Sınıflandırılması	14
2.1.2.1 Amorf olanlar	14
2.1.2.2 Kristalin olanlar	15
2.1.3 Kil Minerolojisi ve Kimyasal Bileşimi	16
2.1.3.1 Killerin Bileşimine Giren Bazı Bileşiklerin ve Kirleticilerin Tesirleri	19
2.1.4 Killerin Plastisite Özellikleri	21
2.1.5 Killerin Kuruma ve Pişme Küçülmesi	21
2.1.6 Killerin Termik Özellikleri	22
2.1.7 Killerin Ateşe Dayanıklılık ve Sinterleşme Özellikleri	22
2.1.8 Killerin İmalat Özellikleri	22
2.1.8.1 Killerin Pişirilmesi	23
2.1.8.2 Üretim Yöntemi	25
2.1.9 Kil Minerallerinin Teknolojik Özellikleri	26
2.1.10 Killerde Aranılan Genel Özellikler	26
2.1.10.1 Bağlayıcı killerde göz önüne alınacak özellikler	27

2.1.11 Killerin Endüstride Kullanım Alanları	28
2.1.12 Dünya ve Türkiyede Kil Rezervleri	28
2.2 Borik Asit	30
2.2.1 Kolemanitten Borik Asit Üretimi	32
2.2.1.1 Filtrasyon	32
2.2.1.2 Kristalizasyon	33
2.2.1.3 Santrifüj	33
2.2.1.4 Kurutma	33
2.2.2 Üleksitten Borik Asit Üretimi	33
3. MATERYAL VE METOT	35
3.1 Kullanılan Malzemeler	35
3.1.1 Kil ve Borik Asit	35
3.2 Metot	36
3.2.1 Hammaddenin Hazırlanması	36
3.2.2 Numunelerin Kurutulması	37
3.2.3 Numunelerin Pişirilmesi	38
3.2.4 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	38
3.2.4.1 Su Emme	39
3.2.4.2 Porozite	39
3.2.4.3 Bulk Yoğunluk	39
3.2.4.4 Görünür Yoğunluk	40
3.2.5 Basınç Mukavemet Testi	40
4. BULGULAR	41
4.1 Porozite, Su Emme, Bulk Yoğunluk ve Görünür Yoğunluk Değerleri	41
4.1.1 Porozite Değerleri	41
4.1.2 Su Emme Değerleri	45
4.1.3 Bulk Yoğunluk Değerleri	46
4.1.4 Görünür Yoğunluk Değerleri	46
4.2 Kızdırma Kaybı Değerleri	47
4.3 Örneklerin Pişme Rengi Özellikleri	47

4.4 Basınç Dayanım Değerleri	48
5. SONUÇLAR	53
6. KAYNAKLAR	54
7. ÖZGEÇMİŞ	x

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Ao	Basınç uygulanan yüzün alanı
Bd	Bulk Yoğunluk
Fb	Basınç mukavemeti
Gr.Y.	Görünür Yoğunluk
K	Numunenin biçim katsayısı (k=1)
P	Porozite
Pk	Kırılma anındaki yük
P ₁	Kuru Ağırlık
P ₂	Su Emmiş Ağırlık
Sa	Ağırlık olarak su emme
W ₁	Numunenin etüv kurusu ağırlığı
W ₂	Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı
W ₃	Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
AKÜ	Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi
BA	Borik Asit
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
MTA	Maden Teknik Arama
ÖİK	Özel İhtisas Komisyonu
SDÜ	Süleyman Demirel Üniversitesi
TMMOB	Türkiye Mimarlar Mühendisler Odası Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	Basit bir silis tetraeder ve oktahedral tabakanın görünümü	17
Şekil 3.1	Kil hammaddesinin X- ışınları difraktogramı	35
Şekil 3.2	Etüv	37
Şekil 3.3	Laboratuar tipi ekstrüzyon makinesinde üretilen tuğla örnekler	37
Şekil 3.4	Laboratuar tipi basınç pres	38
Şekil 4.1	900 °C'de pişen katkısız örneğe ait SEM görüntüsü.	42
Şekil 4.2	1000 °C'de pişen katkısız örneğe ait SEM görüntüsü.	42
Şekil 4.3	900 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait SEM görüntüsü.	43
Şekil 4.4	1000 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait SEM görüntüsü.	43
Şekil 4.5	Katkısız(A), % 1 BA katkılı(B) ve % 2 BA katkılı(C) örneklere ait porozite değerleri.	45
Şekil 4.6	Katkısız(A), % 1 BA katkılı(B) ve % 2 BA katkılı(C) örneklere ait su emme değerleri.	45
Şekil 4.7	Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait bulk yoğunluk değerleri.	46
Şekil 4.8	Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait görünür yoğunluk değerleri.	47
Şekil 4.9	1000 °C' de pişen örneklerin pişme rengi özellikleri	48
Şekil 4.10	Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait basınç dayanımı değerleri.	50
Şekil 4.11	900 °C'de pişen katkısız örneğe ait X-ışınları difraktogramı	51
Şekil 4.12	1000 °C'de pişen katkısız örneğe ait X-ışınları difraktogramı	51
Şekil 4.13	900 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait X-ışınları difraktogramı.	52
Şekil 4.14	1000 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait X-ışınları difraktogramı.	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Dünya kil rezervleri	29
Çizelge 2.2 Türlerine göre dünya kil rezervleri	29
Çizelge 2.3 Türkiye'deki kil oluşumlarının bölgelere göre dağılımı	30
Çizelge 3.1 Çalışmadan kullanılan kilin kimyasal bileşimi	35
Çizelge 3.2 Hazırlanan karışımların hammadde oranları	36
Çizelge 4.1 Karışımların fiziksel özellikleri	44
Çizelge 4.2 Karışımların basınç dayanım değerleri	49

1. GİRİŞ

Çeşitli yapı malzemeleri arasında yapılarda çok eski zamanlardan beri kullanılan pişmiş toprak malzemeler günümüzde de önemini kaybetmemiştir. Pişmiş toprak malzemeler özellikle tarımsal yapılarda gerek ucuz, gerekse temininin ve yapıda kullanımının kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler içerisinde ise en başta tuğla gelmektedir. Tuğla, uygun toprağın bulunduğu her yerde kolaylıkla üretilmesi, birim ağırlığın taş ve betona göre daha az, ısı yalıtımının daha yüksek olması, standart boyutları sebebiyle kolay kullanılması ve duvar kalınlığının ince tutulması ile yapının yararlı alanının artırması gibi faydaları vardır (Şişman vd 2006).

Tuğla; kum içeren killi toprakların su ile iyice karıştırılarak hamur haline getirildikten sonra kalıplanıp, özel fırınlarda pişirilmesiyle elde edilen yapı malzemesidir. Tuğla uygun toprakların bol olması, bu malzemenin ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermesi nedeniyle kentlerde olduğu gibi kırsal alanlarda tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılmakta ve üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde hayvan barınakları, tarımsal ürün depoları gibi yapılar genellikle tek katlı ve prefabrik yapı malzemeleri ile yapılmaktadır. Bunlar içerisinde önemli yeri bulunan tuğlalar, günümüzde eski yıllardaki gibi hala yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir (Marotta 2005, Karaman 2006).

Tarihte ilk kez Fırat-Dicle havzasında bulunan yapı kalıntılarında M.Ö. 6000 yıllarında güneşte kurutulmuş tuğlaların kullanıldığı saptanmıştır. M.Ö. 600 – 500 yıllarında tuğla daha dayanıklı yapı malzemesi üretimi için fırınlarda yakılarak pişirilmeye başlanmıştır.

Çiğ ya da pişmiş tuğla Mezopotamya'da kullanılan inşaat gerecidir. Uzaklardan getirilen ve çok masraflı olan taş, yalnız heykel yapımında kullanılmıştır. Duvarlar genellikle çiğ tuğlalar ile örülmüş, tapınak ve saraylar cephelerine bir sıra pişmiş tuğla kaplanmıştır. Döşemelerin, kuyuların vb. yapımında da kullanılan tuğla, yalancı tonozların örülmesine olanak vermiştir (Ur'da III. Hanedan mezarları). Krallar, tapınakların köşelerine, üzerlerinde adları, sıfatları, din için yaptıkları hizmetlerin listesi ve tanrının adı yazılmış tuğlalar gömdürmüştür. Sırlı tuğla ancak İ.Ö. 1000 yıllarında doğru ortaya

çıkmiştir. Ortaçağ'da pişmiş tuğlalar, özellikle Toulouse ve Kuzey Almanya'nın dinsel mimarlığında, XVII. yy'da taşla birlikte sivil mimarlıkta kullanılmıştır.

Anadolu'da tuğlanın kullanımı Roma'dan Bizans'a, ondan da Türk Mimarlığı'na geçmiştir; Anadolu Selçukluları yapılarında genellikle taşı yeğlerken, özellikle Batı Anadolu Beylikleri ve Osmanlılar taşın yanı sıra tuğla gerecede yaygın biçimde yer vermişlerdir. Taş ve tuğla dizilerinden meydana gelen duvar örgü tekniği de Roma'dan Bizans'a, ondan da Türkler'e geçmiştir. Bizanslılarda olduğu gibi Osmanlılarda da tuğlalar yassıca ve oldukça büyüktür.. Fatih Sultan Mehmet dönemi tuğlaları 4,5x28x28 cm. boyutlarındadır. Hatılarda kullanılan tuğlalar ise daha incedir. Zemine döşenen tuğlalar da 25x25 cm. boyutlarında kare ya da çapı 30 ila 60 cm. arasında değişen altıgen biçimindedir. Osmanlı mimarlığında kullanılacak tuğlaların boyutları ve ağırlıkları belirli kurallara bağlanmıştır (İnt. Kyn. 1).

Geçmişte tuğla işleri genellikle kraliyet ailelerine aitti ve kalıplanıp şekillendirilen tuğlaların üzerine ailelerin isimleri işaret olarak belirtiyordu. Aynı durumu ise günümüzde tuğla üreticileri uygulamaktadır. Teknolojik ilerlemeler tuğla üretim proseslerini geliştirmesine rağmen, pişmiş tuğla üretiminin temel teorisi neredeyse hiç değişmemiştir (Marotta 2005).

Daha Antikçağ'dan başlayarak killi maddelerin suyla karışınca plastik kazanma ve böylece kolayca işlenebilme özelliğinden yararlanılarak, güneş altında kurutulan tuğlalar yapılmıştır. Kurutulmuş tuğlaların yeterli sıcaklıkta pişirilmesiyle killi malzemenin sert bir gerece dönüştüğü yüzyıllardan beri bilinmektedir.

Tuğla üretiminde kullanılacak olan kil minerallerinin; plastisite, su emme kabiliyeti, büzülme, şişme, bağlama kuvveti, kesme kuvveti, konsolidasyon ve geçirimsizlik gibi özellikleri göz önünde bulundurulmalı ve tuğla üretiminde kullanılmaya müsait olan killer tercih edilmelidir. Tuğla üretiminde kullanılacak olan killerin ayrıca; tane çapları ve dağılımları, kalıplanma müddeti, pH değeri, pişme büzülmesi, viskozite konsantrasyonu, su emme ve parlaklığının da göz önüne alınması gerekmektedir (Kibici 2005).

Yeryüzünün en yaygın materyallerinden biri olmasına rağmen kili bütünüyle tanımlamak kolay değildir. Killerin çoğu, kil olmayan mineraller ve organik maddelerin karışımını kapsar. Kil terimi genel olarak kil, şeyl ve kilimsi toprağı kapsamaktadır (Kuşçu 1991).

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

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

Kil, kimyasal bileşimindeki, oluşum zamanı ve oluşum şeklindeki farklılık, kristal yapılarının büyüklüklerinden dolayı farklı özellikler gösterir.

Kayaç oluşturan kil mineralleri değişik oranlarda bir kayaç içerisinde bulunabilirler ve bunlar killi kayaçların temel bileşenleridirler. Genellikle kristalin formda ve küçük partiküller halinde oluşmaktadırlar. Killer sulu alüminyum silikatlardır. Mineralojik bileşiminde % 90'a kadar kil minerali bulunduran kayaçlara kil denilmektedir (Okyay ve Yıldız 2005).

Killer, kimyasal bileşimlerine ve yapılarına göre sınıflandırılabilirler. Yapılarına göre; şekilsiz (amorf) ve kristalli olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Kristalin killerde atomların iç dizilişleri iki tabaka halindedir. Tabakalardan biri SiO₂ diğeri ise Al₂O₃ tabakaları şeklindedir. Kristalli yapıda olan kil mineralleri; kaolinit, montmorillonit, illit, klorit ve sepiyolittir (Kibici 2005).

Kil mineralleri hidrotermal veya sedimanter kökenlidir. Farklı tipteki kayaların bozunmasında kil minerallerinin oluşumunda etkilidir (Okyay ve Yıldız 2005).

Kil gerek tanım olarak gerek madde olarak kullanıldığı alana ve amaca göre birçok sınıflamalardan biri içine girebilir. Her ne kadar kil kesinlikle tanımlanamamışsa da hammadde olarak kullanımları geniş ve değişik alanlarda olmaktadır (Aktürk 1978).

Bu çalışmada tuğla kiline belli oranlarda borik asit katılarak ekstrüzyon yöntemi ile tuğla örnekler üretilmiştir. Örnekler 700 °C ile 1000 °C arasında 50 °C aralıklarla pişirilmiş, pişmiş örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülmüştür. Sonuçta geleneksel tuğla pişirim sıcaklık derecelerinde, borik asit katkının tuğla örneklerin mekanik özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Kil, doğal olarak bulunduğundan, kalıplamak için plastik hale getirilip kurutularak pişirilmesinden veya fırınlanmasından sonra sert, dayanıklı ve sabit şekilli bir malzeme haline getirebilmesinden dolayı ticari bakımdan önemlidir. Ürünleri kil eşyalar, kil ürünler veya seramikler olarak bilinir.

Bütün killer ilkel (volkanik) kayaların bozulup parçalanması ile oluşmuşlardır ve bileşimleri değişmektedir. Killer esas olarak silis ve alümin içermekle birlikte diğer bileşenleri demir oksit, kireç, manganez ve sudur. Ham kil içerisinde alümin genellikle silis ile hidratlı alüminyum silikatlar şeklinde kimyasal olarak birleşir, fakat silis, kil içerisinde kumla birbirine karışık olarak da bulunabilir. Bu şekilde aşırı miktarda kum içeren killer balçık olarak nitelendirilir. Diğer bazı killer belli miktarda tebeşir içerirler, bunlar ise marn (kireçli balçık) olarak bilinirler. Kaolin minerali (çini kili) yaklaşık tamamen saf hidratlı alüminyum silikat içerir ve örneğin ateşe dayanıklı çimento gibi özel niteliklerinden dolayı çok kullanışlıdır. Renginin beyaz olmasından dolayı beyaz portland çimentosu üretiminde de kullanılır. Boksit, hidratlı alüminyum oksit içeriği yüksek olan kile verilen addır ve alüminyum metalinin filizi ve alüminyumlu çimentoların hammaddesi olarak bilinir.

Plastik veya saf kil yüksek oranda alümin içerenlerdir ve bunlar çok işlenebilir ham killeri oluştururlar. Killerin dokuları, çok işlenebilir veya plastik şekillerden, şeyl olarak bilinen arduvaz (kayağantaş) özelliği gösteren çok katı tabakalaşmış killere kadar değişmektedir. Arduvazlar kilin çok yoğunlaşmış halleridir. Ham killerin bileşimleri ve dokularındaki değişikliğin çok geniş oranda olması, pişmiş kilin fiziksel özelliğinde de benzer değişikliklere yol açar ve kilin kendi doğal yapısı uygun olacağı ürünü belirler (Salman 2001).

Kil, tanecik büyüklüğü iki mikrondan küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan sulu alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika,

alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. Ayrıca demir, alkali ve toprak alkalileri fark edilebilir derecede içerirler (DPT 2001).

Kil minerallerinde, toplam mineral bileşimi, tane boyut dağılımı, konsolidasyon derecesi ve işleme şartları, kilin teknolojik özelliklerini belirler. Bu özellikler şunlardır; tane boyutu dağılımı, plastiklik, kuru mukavemet, pişmiş ürün mukavemeti, termal vitrifikasyon aralığı, pişme rengi, kuruma ve pişme küçülmesi, su emme kapasitesi, pişmiş bünyenin porozitesi vb. Geleneksel seramikler genelde üç karışımın bileşiminden oluşur; kil, eritken madde ve filler. Kilin tane boyutu 2 µm'dan küçüktür. Tanelerde suyun varlığı herbirini diğeri üzerinde kolayca kaydırarak plastik özellik kazandırır (Konta 1995).

Tuğla-kiremit ve porselen gibi birçok ürünün hammaddesi olarak kullanılan killer, üretilecek sanayi ürününün çeşidine göre farklı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Kum, çakıl vb iri materyal içermeyen tuğla-kiremit hammaddesi kaynakları, daha çok akarsular tarafından taşınan ve suyun enerjisini kaybettiği alanlarda çökelen sedimentlerin birikmesi ile oluşmaktadır. Bu tür malzemenin endüstride kullanılması işletmeciler tarafından kolay bir yol olarak tercih edilmekte, tarımsal üretim açısından büyük önem taşıyan verimli ova topraklarının tarımsal üretim potansiyellerini kaybetmelerine neden olmaktadır (İnt. Kyn. 3).

Yapısal kil ürünlerin üretiminde pahalı olmayan hammaddeler kullanılır. Kil ürünlerin diğeri inşaat malzemeleri ile rekabet edebilmeleri için düşük maliyetli bir ürün elde etmek ve verimli malzeme kullanımı gereği vardır. Kil mineralleri normal olarak; kuvars, feldspat, mika ve diğeri safsızlıklarla karışık olarak bulunur. İkincil safsızlıklar dolomit, rutil, ve demirli malzemeler içerir. Normal pişirme sürecinde iri kuvars taneleri ve diğeri ikincil mineraller normal olarak etkilenmez. Kullanılan kil önemli miktarda safsızlıklar içererek kolayca camsı faz oluşturur. Meydana gelen yapı normalde iri taneli ikincil bileşiklerden oluşan ince dağılımlı mullit matrisi ve cam içinde yataklanmıştır. Pişirme sırasında sıkça rastlanan camsı bir yapı ve ergime oluşur (Kingery 1975). Seramik yapı içerisindeki akıcılar veya safsızlıklar geride kalan katı ile reaksiyona girerek tane sınırlarında sıvı bir faz oluşturur. Sıvı gözeneklerin yok edilmesine neden

olur ve soğuma ile birlikte camsı yapıya dönüşür. Camsı fazın varlığı bağlayıcı olarak hizmet verir ve seramik bağlayıcısı olarak adlandırılır (Askeland 2000). Ortaya çıkan yapının kilin bileşik özelliklerine ve uygulanan pişirme yöntemine bağlıdır. Yetersiz pişen kil malzemede çok sayıda küçük gözenek bulunur. Bu gözenekler mukavemetin düşmesine yol açar, dona dayanımı azaltır ve malzemenin genel özelliklerini olumsuz yönde etkiler (Kingery 1975).

İçinde kil minerali ihtiva eden, belli ölçülerde su ile karıştırıldığında plastik hamur halinde şekillenme özelliğine sahip ve 900-1000 °C' de pişirildiğinde çatlamadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla-kiremit imaline elverişli hammaddelerdir. Tuğla toprağı genellikle illit, az montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri (limonit, hematit, vb.), az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar ihtiva eder (Köktürk 1997).

Tuğla yapımına en uygun killer kaolinit ve illit tipi killerdir. Montmorillonit tipi killer fazla şişme ve büzülme gösterdiklerinden tuğla için kullanımının fazla uygun olmadığı bilinmektedir.

Pişme esnasında CaCO_3 ' in sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesi ve daha sonra bunun sönmüş kirece (Ca(OH)_2) dönüşerek çatlama ve kireç patlamalarını meydana getirmesi nedeniyle tuğla kilinin kimyasal bileşimindeki CaCO_3 miktarının % 25' i geçmemesi gereklidir. Kirecin granüler halde değil, ince tanecikler halinde ve hammadde içine iyice dağılmış olarak bulunması tercih edilmektedir. Kireç toprağın erime ve sinterleşme derecelerini birbirine yaklaştırdığından, fazla kireç bulunması pişirme tekniğini güçleştirmektedir. Ayrıca sağlamlığı ve sinterleşmeyi arttırmak için pişirme ısı arttırıldığından CaCO_3 ' in etkisi ile renk sarıya dönerek, pişme esnasında tuğlalarda şekil bozukluğunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır (İnt. Kyn. 3). Tuğla topraklarında kireç yüzdesini tam olarak sınırlandırmak pek mümkün olmamakta, bazı topraklarda % 8 oranındaki kireç, patlama ve dağılmalar gösterdiği halde, diğer bir toprakta % 15 oranındaki kirecin pek etki göstermediği, buna kirecin daha ince taneler halinde dağılmasının neden olduğu belirlenmiştir (Dökmen 1989). Toprakta genellikle oksit halinde bulunan ve miktarının % 8–10 arasında olması istenen demir, pişme sonunda

sertliğin daha fazla olmasını sağlar ve su emme yüzdesini düşürerek, tuğlaya kırmızı rengi verir. Pişme esnasında yanarak geriye siyah karbon birikintileri bırakan organik madde, fazla olması halinde tuğlanın mukavemetini azaltır. Fazla oranda su emerek ürünün dayanıklılığını azaltan tuzun ise % 1,5'i geçmemesi istenir (İnt. Kyn. 3).

Kuruma sırasında en kritik çatlak periyodu sabit hız periyodunun sonunda meydana gelir. Genel olarak çatlama veya çarpılma olarak ifade edilen hasarlar ürünün bünyesinde farklı olarak gelişen çekme sebebiyle oluşur (Cooper 1978). Karışımı oluşturan malzemenin ısıtılması sonucu su ve diğer uçucular buharlaşır. Yaklaşık 1000°C ve daha yüksek sıcaklıklarda kil taneleri ve eritken maddeler kalıcı bir camsı kütle meydana getirmek için birbirleri ile reaksiyona başlarlar, bu aşama sinterleşme aşamasıdır ve yoğunlaşma gerçekleşir (Davidge 1975). Şekillendirilmiş toz karışımın ana bileşeninin ergime sıcaklığı altında pişirilmesi sonucu tozlar arasında kimyasal bağlar meydana gelmesi işlemine sinterleme denir. Sinterleme itici gücü toplam yüzey alanının azaltılması ile sistemin toplam serbest enerjisinin azaltılmasıdır. Katı hal sinterleme işlemi süresince iç yapıda sıvı faz oluşmaz ve bütün olaylar (difüzyon, yoğunluk artışı v.b) katı halde meydana gelir. Sıvı faz sinterlemesinde sinterleme sıcaklığında katı parçacıkların yanında sıvı fazda oluşur. Sıvı faz difüzyon hızını büyük ölçüde arttırarak tanecikler arası bağ oluşumunu hızlandırır ve gözenek yapısı, mukavemet, süneklik, vb. özellikleri önemli ölçüde etkiler (German 1985).

Ülkemizde tuğla kilinin yaşlı alüvyoner sahalardan istihsaline alışılmıştır. Ancak bu topraklar verimli ova arazilerinde bulunmaktadır. Bu ovalarda açılan ocakların daha sonra bataklık haline dönüşmesi, tarımsal faaliyetlere zarar verilmesi, kuruma-pişme küçülmesi ve su emme oranlarında sorunlarla karşılaşılması son yıllarda alternatif saha aramalarını hızlandırmıştır. Çevrenin korunması nedeniyle Bursa, Çorum, Salihli-Turgutlu bölgeleri bu arayışların en yoğun olduğu bölgelerdir. Kuvaterner yerine Tersiyer yaşlı killi kayaçların gerektiğinde öğütülerek tuğla-kiremit toprağı yerine kullanılması pek çok yörede ekonomik bir çözüm olarak kendini göstermiştir. Böylece tuğla ocaklarının düz ovalardaki verimli tarım arazileri yerine tepelik arazileri oluşturan Tersiyer formasyonları içinde açılması mümkün hale gelmiştir (İnt. Kyn. 4).

Tuğla killerinin rezervleri konusunda bir darboğaz bulunmamasına rağmen bunların kalitesi ve kullanıma hazırlanması çok önemlidir ve dikkatli olunmasını gerektirmektedir. Genellikle piştikten sonra tuğlanın kırmızı renkte olması istenir. Mesela hammaddede fazla kireç varsa mamulün rengi açılır ve sarı renkteki bir kiremit teknik özellikleri bakımından çok iyi olsa bile piyasada tutulmaz. Kireçtaşı parçalarının iri taneli olması çatlamalara sebebiyet vermektedir. Fazla kireç muhtevası erime ve sinterleşme aralığını daraltarak da sorunlara sebebiyet verir.

Farklı plastiklik derecelerine sahip iki kilden aşırı plastik olanında işlenebilirliği artırmak için gereken su miktarı artacak ve aşırı gözenekli sistem nedeniyle kuruma sırasındaki su kaybı çok yavaş olacaktır. Aynı zamanda plastikliği yüksek olan kilin çekmesi (kuruma ve pişme küçülmesi) yüksek olacak ve büyük ihtimalle çatlaklar gelişecektir (Grahl 2001).

Kil'in plastikliğini ve işlenme kabiliyetini arttıran organik humus asitlerinin tuğla hammaddelerinde bulunması makbuldür. Toprağın fazla miktarda pirit ihtiva etmesi ise mahzurludur. Piritin bozulması esnasında çıkan gazlar mamulü çatlatabilir veya pişme şartlarına göre suda çözünen tuzlar oluşturabilir. Bu tuzlarla çiçeklenen tuğlanın basınca ve dona mukavemeti azdır.

Fazla miktarda mika ihtiva eden killer su geçirme oranını arttırdıklarından zararlı maddelerden sayılır (İnt. Kyn. 4).

Tuğla hammaddesi % 18-23 arasında nemlendirilerek vakum preslerde, yarı kuru preslemede ise hammaddenin % 8-14 arasında nemlendirildikten sonra 100 -250 kgf/cm², lik basınç altında preslerle şekillendirilir. Her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları olduğu, yarı kuru presleme yönteminde kuruma ve pişme küçülmesi düşük olmasına karşın nispeten dona dayanımının düşük, yüzeyin pürüzlü olduğu ve blok tuğla üretimi gibi yüksek boşluklu ürün eldesinin zor hatta imkansız hale geldiği, bu nedenle kuruma ve pişme küçülmesi ve kuruma probleminin daha fazla olmasına karşın, şekillendirme problemlerini aşabilmek ve üretim hızını arttırabilmek amacıyla tuğla sektöründe plastik şekillendirme tercih edilmektedir (Üzere ve Tola 1987).

Tuğla üretiminde kullanılan killerde aranan standartlar şunlardır: CaCO_3 muhtevası % 25'in altında olmalıdır. 3 mm den iri tanelerin miktarı % 1'i geçmemelidir, plastiklik suyu % 25–35 arasında bulunmalıdır. 100 °C sıcaklıkta pişirildiğinde sertliği MOHS skalasına göre 2'nin üzerinde olmalı, kuruma küçülmesi % 10'dan az, su emmesi tuğlada % 8'den fazla, kiremitte % 18'den az olmalıdır. Tuğlalar 800–1400 °C' de patlama ve çatlaklar göstermeden kiremidi renkte pişmelidir. Bu killerin 0,2 mm den iri tane yüzdesi, iri tanelerin cinsi, kalıplanma yeteneği ve kuru kırılma dayanımı da tespit edilmelidir (İnt. Kyn. 4).

Tuğlalar "Seramik" olarak tanımlanan bir malzeme türüdür. Bunlar inorganik, yüksek ısılarda işlem görmüş silikatlar ve metal oksitlerdir. Oksitlenmiş bir malzeme olmaları kimyasal bakımdan denge noktasında olan ve yeni bir kimyasal işleme girmeyen bir malzeme olmaları demektir. Fiziki olarak sert, gevrek ve ısıya dayanıklıdır. Tuğla malzemenin içindeki kuvars kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuvars kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar, inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 900–1000 °C civarındadır. Tuğla üretimi önemli ölçüde yakıt gerektirir. Adi tuğlalar, harman tuğlası, 800 °C pişirilirken, sert tuğla (klinker tuğlaları) için pişirme ısısının 900–1000 °C'nin üzerinde olması gerekir.

Tuğlaların pişirilmesi sırasında, içinde sonsuz sayıda mikroskobik çatlak, boşluk ve geçitler oluşur. Bunlar "boşluk" olarak adlandırılır. Bu boşluklar tuğlanın bütün önemli özelliklerini etkilerler. Porozite, malzemedeki boşluk hacminin tüm hacme oranı olarak belirtilir ve yüzde ibaresi ile kullanılır. Bunun için tuğla önce kuru olarak tartılır, daha sonra suyun içinde tutularak bütün deliklerin su ile dolması sağlanır ve tekrar tartılır. Aradaki ağırlık farkı suyun özgül ağırlığına bölünerek boşluk hacmi bulunur. Ancak tuğladaki boşluklar içinde bulunan hava, suyun boşluğa girmesini engelleyebilir. Bunun için tuğlaların su içinde kaynatılması ve soğuduktan sonra bu boşluklara suyun dolması beklenir.

Genellikle tuğlanın porozitesi % 25'ten fazla ise giderek basınç dayanımı azalır. Dış cephelerde kullanılacak tuğlalarda, hava koşullarına açık ve sıva ile kaplanmayacak tuğlalarda porozite % 15'ten yüksek olmamalıdır.

Basınç dayanımı tuğlanın en önemli özelliğidir. Pek çok faktöre bağlıdır. Tuğlanın porozitesi, pişirilme ısı, üretim biçimi. Delikli tuğlada ise deliklerin miktarı, yeri, kenarlarının biçimi, yükleme yönü, vb. basınç dayanımı üzerinde etkili olan faktörlerdir. Tuğlanın yapıldığı toprağın cinsinin de tuğla basınç dayanımı üzerinde etkisi vardır.

Türkiye'de üretilen tuğlaların basınç dayanımları genellikle düşüktür. Üretilen tuğlaların üzerinde sistemli bir basınç dayanımı saptama deneyleri yapılmamaktadır. Özellikle harman tuğlalarında basınç dayanımları genellikle düşük olduğu gibi aynı ocaktan gelen tuğlalarda çok büyük basınç dayanımı farklılıkları görülebilmektedir. Daha kontrollü olarak üretilen fabrika tuğlalarında bile basınç dayanımlarında % 50'nin üzerinde basınç dayanımı farklılıkları olabilmektedir. Türkiye'de üretilen tuğlalarda en çok 200 kgf/cm² basınç dayanımına rastlanmaktadır. Basınç dayanımı düşük olan tuğlaların üretimi Türkiye'de yönetmelik ve standartlarda tuğla yığma yapıların kat adetlerinin sınırlı tutulmasında, yığma yapıların deprem dayanımının düşük olmasından sonra, en etkili faktör olmaktadır (Çörez 2002).

Demir ve Orhan (2002) tarafından yapılan çalışmada, kimyasal bileşiminde % 35,08 borik asit ihtiva eden bor atığı, pomza kumu ve kil ile karıştırılarak tuğla örnekleri üretilmiş ve 900 °C de pişirilmesiyle porozitesi yüksek birim hacim ağırlığı düşük bir malzeme üretileceği belirlenmiştir.

Demir ve Orhan (1998) Afyon yöresinde tuğla üretiminde kullanılan killerde aşırı plastisite nedeniyle kuruma ve pişme sırasında oluşan çatlamları önlemek amacıyla yaptıkları deneysel çalışmada; hammadde içerisine ağırlıkça % 10-15 oranında ince tane boyutunda karbonat içermeyen temiz dere kumu katılarak kuruma ve pişirme testleri uygulamıştır. Sonuçta % 10-15 oranındaki kum katkının kuruma ve pişme sırasında oluşan çatlamları önlediği saptanmıştır.

Kavas ve Emrulloğlu (1999) Seydişehir kırmızı çamuru ile Kırka bor atık killerini değişik oranlarda karıştırarak yüksek mukavemetli ve düşük su emme özelliğine sahip tuğla imal etmişlerdir. Bu karışımların endüstride kullanılacağı belirlenmiştir.

Yaman (1997) Kırka ve Bandırma bor atıkları türevlerinin döşeme tuğlası, yer karosu ve fayans hamurlarına % 6 ya kadar ilave edilebileceğini bildirmiştir (İnt. Kyn. 5).

Deford ve Wirtz (1993) tarafından yapılan çalışmada ise uçucu küllü yapı malzemesi, % 95,5 C sınıfı uçucu kül, % 2 borik asit, % 1,5 polimerik bağlayıcı, % 1 lignosülfanat ve % 12 plastiklik suyu ile hazırlanmıştır. Bu örneklerin bulk yoğunluğu 980 kg/m^3 , mukavemetleri ise 55 MPa olarak elde edilmiştir (Pimraksa vd 2001).

Van ve Bloem (1989) yaptıkları çalışmada; % 87 kil, % 13 uçucu kül ve % 0,32 BaCO_3 kullanarak tuğla örnekleri üretilmiş ve bu örneklerin basınç mukavemet değerlerinin 45 MPa olduğu belirtilmiştir (Pimraksa vd 2001).

2.1 Kil

Kilden üretilen yapı malzemeleri, ilk çağlardan başlayarak mimarlıkta önemli yer tutmuşlardır. Farklı dönemlerde ve farklı bölgelerdeki teknik olanaklar ve beğeniler bu malzemelerin üretimine çeşitlenme getirmiştir. Pişmiş toprak yapı malzemeleri, seramik (keramik) malzemeler olarak da isimlendirilir.

Toprakta ana madde olan kil, “kaolin” veya “kaolinit” denilen inorganik maddeden oluşur. Saf halde iken, rengi beyaz olmakla birlikte, doğada genellikle saf olarak bulunmaz. İçinde magnezyum ve demir bulunduğu için rengi esmer, kırmızı veya sarı renktedir.

Kilin en önemli özelliği, çok ince tanelerden oluşması ve su ile karıştırıldığında istenilen şeklin verilebileceği plastik hamur haline gelmesidir (Çelebi 2007).

2.1.1 Kil’in Köken ve Oluşumu

Genel olarak kil, tanecik büyüklüğü iki mikrondan küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan sulu alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. Ayrıca demir, alkali ve toprak alkalileri fark edilebilir derecede içerirler (DPT 2001).

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

Kil’i oluşturan ana elemanlar sulu alüminyum silikat mineralleridir. Killer; silisyum, alüminyum ve sudan oluştuklarını göstermektedir. Demir, alkaliler ve alkali topraklarda değişik miktarlarda yer almaktadır (Karaman vd 1999).

2.1.1.1 Sedimanter Kökenli Killer

Oluşumda atmosferik olayların etkisi büyüktür. Atmosferik koşullar etkisiyle daha önce oluşmuş kayalar yüzey sularının da etkisiyle ayrışır ve kil mineraline dönüşürler. Yani oluşumda sedimentasyon vardır. Sedimentasyon:

1-Ayrışma

2-Aşınma

3-Taşınma

4-Parçalanma

5-Çökelme

6-Taşlaşma

7-Metamorfizma şeklinde gerçekleşir.

2.1.1.2 Hidrotermal Kökenli Killer

Magmatik kaynaktan yükselen sıcak çözeltilerin camsı yapıdaki volkanik kayaları ayrıştırmasıyla oluşmaktadır. Yağışlarla yeryüzüne düşen suların bir bölümü yeraltı sularına karışmaktadır. Yeraltında olası bir volkanik kaynak bu suların ısınmasına sebep olacaktır. Isınan sularda yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle kırık ve çatlaklardan yukarı çıkma eğilimi gösterecektir. Yüzeğe çıkarken, içersinde dolaştığı kayaların yapısını bozacak ve ayrıştıracaktır. Bu tür bir ayrışma sedimanter kökenli kil yataklarını oluşturmaktadır (Yıldız 1999).

2.1.2 Killerin Sınıflandırılması

Çeşitli kil mineralleri yapısal özelliklerine bağlı olarak bir sınıflamaya tabi tutulmuştur. Nispeten basit olan bu sınıflama aşağıda verilmiştir:

2.1.2.1 Amorf olanlar:

Allofon grubu

2.1.2.2 Kristalin olanlar:

A. İki tabakalı tipler (levhavi yapılar bir adet silis tetraederi tabakası ile bir adet alüminyum oktaederi tabakasından ibarettir)

1. Eşboyutlu olanlar:
Kaolin grubu (kaolinit, dikit, nakrit).
2. Uzamış olanlar:
Halloysit grubu

B. Üç tabakalı tipler (levhavi yapılar 2 silis tetraederi tabakasıyla 1 adet merkezi dioktaedral veya trioktaedral tabakadan ibarettir).

1. Genişleyen şebeke yapılı olanlar:
 - a) Eşboyutlu olanlar:
Montmorillonit grubu: montmorillonit, sasonit, vb.
 - b) Uzamış olanlar:
Montmorillonit grubu: montronit, saponit, hektorit.
2. Genişlemeyen şebeke yapılı olanlar:
 - a) İllit grubu

C. Düzenli karışık tabakalı tipler (farklı tiplerin münavebeli tabakalarının düzenli istifleri)

1. Klorit grubu:

D. Zincir yapılı tipler (Hornblende benzer silis tetraederi zincirleri birbiriyle Al ve Mg atomlarını ihtiva eden hidroksiller ve oktaedral oksijen gruplarıyla bağlanır.)

1. Atapuljit, sepiolit, paligorsikit.

Killer yapılarına göre ya şekilsiz (amorf) veya kristalli olmak üzere 2 ana grupta toplanırlar. Kristalin killerde atomların iç dizilişleri 2 tabaka halindedir. Tabakalardan biri SiO₂, diğeri ise Al₂O₃ tabakaları şeklindedir.

Farklı tipteki kayaçların bozulması da kil minerallerinin oluşumunda etkilidir. Kil minerallerinin oluşum şekilleri bir kaç tane faktör etkisindedir. Bunlar ana kayaç tipi, iklim, topografya, bitki örtüsü ve zamandır. Çimento sektöründe hammadde olarak kullanılan killer ise alterasyon ürünü metal oksitlerin taşınıp depolanma havzasında yığılmasından veya yerinde alterasyon örtüsü halinde Neojen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlarda, Neojen havzalarının üst düzeylerindeki karasal koşullarda oluşmuş çoğu killi ve kireçli topraklardır. Çimento sektöründe en çok tercih edilen kil minerali kaolin dir (Yıldız 1999).

2.1.3 Kil Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi

Kil minerallerinin genel olarak incelendiğinde mineralojik ve kimyasal özellikleri açısından sulu alüminyum, magnezyum ve demir silikatlardan oluştuğu görülmekler beraber kalsiyum, potasyum ve diğer iyonları da içerirler. Doğada kil mineralleri ender olarak saf halde bulunurlarsa da genellikle kil minerallerinden olmayan diğer mineraller kil kayacının içine girerek özelliğine etki etmektedirler. Yukarıda değinilen gruplar altında verilen kil mineralleri kristallografik özelliklerine göre ayırt edilmiştir. Kaolenit grubundan olan iki tabakalı kil minerallerinde kristal yapı levhamsı olup bir kat silika tetradronları ve bir kat alümina oktaedronlarından oluşmuştur. İllit ve vermikülit grubu ise düzenli bir şekilde değişik levhamsı katların birbirleri üzerine yağışması ile oluşmuştur.

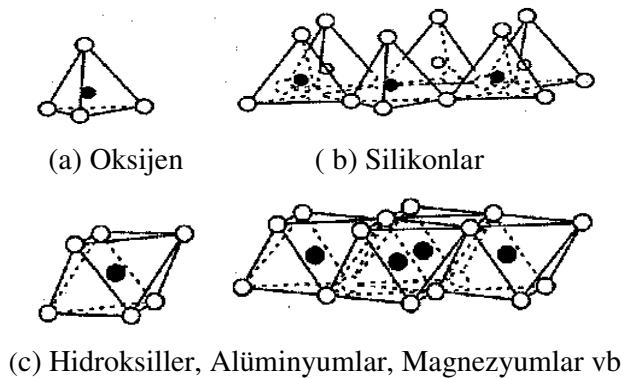
Kayacı oluşturan kil mineralleri değişik oranlarda bir kayaç içerisinde bulunabilirler ve bunlar killi kayaçların temel bileşenleridirler. Genellikle kristalin formda ve küçük partiküller halinde oluşmaktadırlar. Mineralojik bileşiminde % 90'a kadar kil minerali bulunduran kayaçlara kil denilmektedir (Kuşçu 1991).

Killer gerçekte bir mineralin veya bir maddenin son derece küçük mineral grubunun üyelerinden meydana gelirler. Bir kil kümesinin bir kristal maddeye benzememesine rağmen, yine de X - Ray Difraksiyon ve elektron mikroskobu onun basitçe mineral olduğunu ortaya koyar. Kil minerallerinin büyük bir çoğunluğu monoklinik veya triklinik kristal sistemlerine aittirler. Onların büyümesi ise ya saç örgüsü gibidir veya çubuğumsudur.

Optik metodlar ile spesifik kil minerallerinin tayini çoğunlukla kesin sonuçlar vermemektedir. Kil minerallerindeki optik özellikler bireysel kristallerden çok bileşik parçacıklar şeklinde olmaktadır. Örnek olarak montmorillonit sık sık illit ile klorit tabakaları arasında oluşur. Kaynak kayacın karakterine ve kaynak alanının çevresine bağlı olarak değişim sunan depolanma zamanında killi tortullardaki kil mineralleri mükemmeldir (Yıldız 1999).

Kil mineralleri genellikle fillosilikat grubunda yer alırlar. Silikatlar metalik katyonlarla bağlanmış SiO_4 iyonik gruplarından oluşur. Oksijen iyonları yapıda yer alan katyonlardan genellikle daha büyük boyutlu olup, hacimsel olarak silikatların bünyesini oluşturur. Silikat mineralleri, yer kabuğunun %60'tan, oksijen ise % 94'ten fazlasını meydana getirir. Silikat mineralleri sıkı paketlenmiş oksijenlerle bunların aralarını dolduran küçük katyonlardan oluşur (Karakaya 2006).

Silikat minerallerinin ana çatısında oksijenle tetrahedral koordinasyonda Si yer alır. Çok sayıda çeşitli silikat mineralleri apikal oksijenleri silis tetraederini birlikte paylaşarak oluşurlar (Şekil 2.1 a,b,c).



Şekil 2.1 Basit bir silis tetraederi ve oktahedral tabakanın görünümü (Karakaya 2006).

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

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

Kil minerallerinin çoğu laboratuvar koşullarında sentez edilmiştir. Bu deneylerden, minerallerin oluşum ortamları ve çevresel koşullarla ilgili pek çok sonuç ortaya çıkarılmıştır. Düşük sıcaklıklarda asidik ortamlarda kaolinit, alkali ortamda montmorillonit oluşabilmektedir.

Düşük ısı ve basınç altında ve asidik ortamda kaolinit tipi mineral teşekkül etmekte, hâlbuki alkali iyonu olarak potasyum mevcutsa ve bunun konsantrasyonu yeterli ise montmorillonit veya mika meydana gelmektedir. Magnezyumun varlığı montmorillonitin teşekkülüne yol açar. 350 °C'nin üstündeki sıcaklıkta ve orta dereceli basınç altında kaolinit yerine pirofillit teşekkül eder. Al₂O₃ oranı biraz artarsa, böhmite meydana gelir. Daha yüksek sıcaklık ve basınçlarda diğer alüminyum fazları gelişir. Metalik cevherlerin civarında hidrotermal faaliyet sonucu kilimsi ayrışma ürünleri de oluşur. Böyle ayrışma ürünleri aynı zamanda sıcak kaynaklar ve gayzerlerle ilgili olarak da bulunabilir.

Killer kimyasal bileşim bakımından çok değişkendirler. Saf kaolinit ile fazla miktarda yabancı maddeleri ihtiva edenler arasında değişik bir sıralanma gösterirler. Killerin kimyevi analizleri nadiren kil minerali tiplerini birbirinden ayırt etmede kullanılırlar. Fakat X ışınları difraksiyonu ve diferansiyel termik analizler gibi tanıma metotları için iyi bir yardımcı usuldür.

Kaolin tipi mineraller genelde montmorillonit, illit ve klorit tipi minerallerden $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ oranıyla ayrılırlar. Bu oran iyi kaolin veya kaolinit killerinde genellikle 2/1 olup, diğçerlerinde ise 3/1'dir. Kimyasal analizler, meselâ seramiğın kullanma sahalarında demir muhtevasının çok düşük olması veya bazı refrakterler de alüminyum muhtevasının istenen bir yüzdenin üstünde olması icap ettiğı hallerde önem kazanmaktadır.

2.1.3.1 Killerin Bileşimine Giren Bazı Bileşiklerin ve Kirleticilerin Tesirleri

A. Serbest Silis:

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

B. Alüminyum Bileşikleri:

- Plastik olmayan alüminyum bileşikleri halinde ise kilin plastikliğini azaltır;
- Kilin refrakterliğini artırır.

C. Alkali Bileşikleri:

- Bir alkali ihtiva eden mineral ve çözünebilir tuzun bulunması daima vitrifikasyon ve refrakterlik ısısını indirir;
- Çözünebilir tuzlar refrakterliğı azaltır, bazıları plâstikliğı artırma eğilimindedir;
- Alkali ihtiva eden minerallerin çoğı plastik değildir. Bu sebeple kilin kuruma küçülmesini azaltırlar, kuruma işlemlerini kolaylaştırırlar.

D. Kalsiyum Bileşikleri:

- Vitrifikasyon ve refrakterlik ısını düşürürler;
- Düşük ısıda kalsiyum bileşikleri kilin küçülmesini azaltabilir ve kurumasını kolaylaştırır;
- Kırmızı rengi ağartabilirler;
- Kireç havadaki nemi adsorbe edebilir;
- CaSO₄ adi tuğla ve iyi kaliteli kaplama tuğlalarında en sık rastlanan çiçeklenme sebebidir;
- Bazı tuğla killerde az miktarlardaki kalsiyum bileşikleri vitrifikasyon sahasını genişletir;
- Porselen çamurlarında ve sırlarında eritici olarak kalsiyum bileşikleri genişmeyi azaltır. Fakat alkalilerle yer değiştirdikleri zaman pişme ısını yükseltirler.

E. Demir Bileşikleri:

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

F. Titanyum Bileşikleri:

- TiO₂ renege tesir eder ve alüminyum ile beraber erime noktasını yükseltirler.

Killer plastik olan ve olmayan unsurlar ihtiva ederler. Plastik olanlar kaolinit ve montmorillonit grubu kil mineralleridir. Plastik olmayanlar ise kalsit, kuvars, feldspat ve mika gibi muhtelif minerallerdir. Plastik olanlar ateşe dayanıklı, plastik olmayanlar ise eritken özelliktedirler. Özellikle kil mikalarının pres altında dizilişi, kuruma ve pişme kaybını arttıran en önemli faktördür (Yıldız 1999).

2.1.4 Killerin Plastisite Özellikleri

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

Killerde plastisite kil tanelerinin boyutuna, katyon değişim kapasitesine ve ortamın pH'ına göre değişen kenar-yüzey yüklerine bağlıdır. Plastik killerin tane boyutu genelde çok incedir. Bunun yanı sıra, katyon değişim kapasitesi yüksek olan killer de iyi plastik davranış sergilerler. Ancak, killerin bu önemli özelliği katyonik çevre değişimlerinden kolayca etkilenmektedir. Dolayısıyla, bir kilin yapısına değişik katyonların ve çözünebilir tuzların girmesi killerin plastisitesini etkilemektedir (Demir 2006).

2.1.5 Killerin Kuruma ve Pişme Küçülmesi

Kuruma küçülmesi fazla olan killer ince taneli çok plastiktir. Bunlar kurumaya karşı hassastırlar. Çatlamaya sebep olabilirler. Kuruma ve pişme küçülmeleri toplamı refrakter killerde % 6 'dır. Ancak killerin çok küçük taneli oluşu ve organik madde ihtiva etmeleri bu rakamları değiştirebilir. Karbonat içinde aynı şey söylenebilir. Şamot imalinde dış yüzeyin erken sinterlenip gözeneklerin tıkanması üzerine killer de mevcut organik maddelerin yanıp uzaklaşmadığı görülür. Bu bakımdan şamot killerin karbon analizine önem verilmelidir. İnce seramik killerinde bol miktarda bulunan kuvarstan dolayı pişme küçülmesi % 2-3 'e kadar düşebilir.

2.1.6 Killerin Termik Özellikleri

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

2.1.7 Killerin Ateşe Dayanıklılık ve Sinterleşme Özellikleri

Kuvars, feldspat, demir oksit ve kalker unsurları bakımından zengin olan bazı killer 900 °C civarında sinterleşirler. Bazı killer 1000 °C 'da kadar normal beyaz yanışlı olduğundan büyük değişikliklere uğrarlar. Killerde ergime derecesi arasında belli bir mesafe olmalı, bu mesafeyi daraltan karbonat gibi unsurlar bulunmamalıdır. Refrakter killeri ise 1580 °C 'ye kadar ateşe dayanıklı olmalıdır.

2.1.8 Killerin İmalat Özellikleri

Kil veya killi toprak şekil verildikten sonra pişirilirse sertleşir. Pişirme sırasında rötrelere çatlakları meydana gelir. Bunu önlemek amacıyla hamura bazı maddeler karıştırılır. Bu maddelere; 'yağ alıcı' ve 'eritici' maddeler denir. Bu maddelerin kil hamuruna katılmasıyla;

- Boşluklu seramikler,
- Boşluksuz seramikler,
- Porselen, elde edilir.

Kil hamuruna yağ alıcı maddeler denilen, kuvars taneleri ve silisli kumlar karıştırılırsa "boşluklu seramik" elde edilir. Gözenekli yapısı olan bu tür seramikler, suyu ve rutubeti geçirir, yüzeyi aşınmalara dayanıklı değildir ve düşük mukavemetlidir. Bu olumsuz özelliklerini önlemek amacıyla, yüzeyinin bir "sır" tabakası ile kaplanması yoluna

gidilir. Tuğla ve kiremit sırsız seramik türleridir. Fayans ise, saf kilden yapılan boşluklu bir seramiktir. Fayansın geçirimsiz olmasını sağlamak amacıyla ilk pişirmeden sonra bir sır tabakası ile kaplanır ve tekrar pişirilir. Fayans; duvar kaplama malzemesi, lavabo ve eviye yapımında kullanılır.

Kil hamuruna feldspat, kalker gibi eritici maddeler katılırsa, sert, “boşluksuz seramik” elde edilir. ‘Sert çini’ veya ‘gre’ adı da verilen bu seramikler, geçirimsiz olduğu kadar, kimyasal etkilere de dayanıklıdır. Bu seramiklerin su emmesi % 5 civarındadır. Yer kaplamaları, süs eşyaları, sofrta malzemeleri, elektrik izolatörleri ve kimya endüstrisinde kullanılan dayanıklı kaplar ve aletler bu tür seramikten yapılır.

Kil hamuruna hem yağ alıcı, hem de eritici maddeler birlikte ilave edilirse, “porselen” elde edilir. Pişirme sırasında, porselende grelere oranla daha çok camlaşma oluşur ve malzeme yarı şeffaf hale gelir. Feldspat camsı ve şeffaf görünüşü sağlar, kuvars ise malzemenin şeffaflığını azaltır. Porselenin su emmesi çok düşük olup, % 0–1 civarındadır.

2.1.8.1 Killerin Pişirilmesi

Silis kendi başına çok aşırı yüksek sıcaklık dışında erimez, fakat alümin, kireç veya demir oksit gibi bir eritici ile birlikte çok düşük sıcaklıklarda ergimektedir.

Ham kilin pişirilmesi demek en az ergime noktası başlayıncaya kadar ısıya tutmak demektir. Bu nokta kilin bileşimlerine göre değişmekle birlikte 900 °C'nin üzerindedir.

Plastik killer sert ve jeolojik olarak daha eski olan killer gibi yüksek sıcaklıkta pişirmeye uygun değildirler, büzülmeleri yüksek olduğundan biçim değişikliğine ve çatlamalara karşı hassastırlar. Dolayısıyla plastik killer genellikle hafif ve gözenekli fakat dayanıklı ürün verdiklerinden; tuğla, blok ve çatı kiremitlerinin çoğu sınıfları için oldukça uygun olmaktadır.

Yüksek alüminli ve düşük eritici maddeli killerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile yarı-camsı ve yüksek yoğunlukta teknik tuğlasına, sırsız kil borulara, ocak tuğlasına, fırın tuğlasına ve fayansa uygun ürünler ortaya çıkar. Bu ürünler ayrıca bazı çatı kiremitlerinde de bulunabilir. Bundan dolayı bu kategorideki en iyi killer jeolojik olarak en eski olanlarıdır, çünkü bu killer pişirme sırasında şekil değiştirmeye ve çatlamaya karşı daha az hassastırlar. Bu killer İngiltere’de kömür yataklarına yakın yerlerde bulunur.

Yüksek sıcaklıkta rahatça pişirilebilen killer elbette yaklaşık 1200 ile 1800 °C arası değişen sıcaklığa dayanabilen ateş tuğlaları yapımında kullanılır. Yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklı ürünlere “refrakter ürünler” ve buna uygun killere de “ateş killeri” denir.

Sıcaklık veya süre bakımından yeteri kadar pişmeyen ürünlerin özellikle dışarıda, hava şartlarına açık olarak kullanıldıklarında dayanıklılıkları ortadan kalkmaktadır.

Demir oksitlerin kilin içerisinde toplam olarak bulunma yüzdesi çok az olmasına rağmen, eritici rolünün dışında pişmiş kilin rengine önemli etkisi vardır. Bu; pembe, kırmızıdan maviye doğru pişirme sıcaklığının maksimum değerindeki artışla değişmekte, fakat ayrıca fırınlama şartlarında oluşabilen oksidasyona da bağlı olmaktadır. Sarı renk genellikle manganez ile ilgilidir.

Kirecin veya tebeşirin eritici etkisi vardır. Bununla beraber kireç topak olarak bulunmamalıdır. Çünkü pişirme sırasında kirece dönüştüğünde nihai üründe hacim değişmezliğini bozabilir ve yüzeyde kireç kabarcıklarına yol açabilir (Salman 2001).

2.1.8.2 Üretim Yöntemi

Çeşitli toprak malzemeler, kilin farklı sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilir. Pişirme sırasında meydana gelen kimyasal değişimler sonucu, toprak malzemeler çeşitli özellikler kazanır. Farklı sıcaklıklarda oluşan değişimler şöyledir:

100 – 200 °C Hamurun içindeki serbest su ayrılır ve sertleşme özelliği görülür. Buharlaştıran suyun miktarı kadar hacim küçülmesi meydana gelir. Bünyesine su aldığı zaman hacmi artar.

250 – 500 °C Kilin bünyesindeki su tamamen kaybolur ve SiO₂, Al₂O₃ açığa çıkar.

550 – 800 °C Bünyesine su alarak eski haline dönmez. Bir miktar su geçirimsizlik ve mukavemet kazanır (800 °C'ye kadarki adı: meta kaolin). Normal tuğla ve kiremitin ana maddesidir.

800 – 1000 °C Açığa çıkan SiO₂ genişleme sırasında gözenekleri kapatarak, kilin geçirimsiz ve dayanımı yüksek bir malzemeye dönüşmesini sağlamıştır (900 °C den sonraki adı: mullit). Klinker tuğlasının ana maddesidir.

1000 – 1400 °C Camsı ve şeffaf bir görünüş meydana gelmiştir. Porselenin ana maddesidir.

Kilin pişirilme sıcaklığı kadar, hamurun kıvamı ve içindeki su oranının da mukavemet ve diğer performans özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Örneğin, yüksek ısıya dayanıklı malzemeler için % 9 su, greler için % 9–20 su, fayans ve seramikler için ise % 25–30 su önerilmektedir (Çelebi 2007).

Killerin depolarda çabuk kurumaması, kolay kırılıp parçalanması, az bir emikle süspansiyon haline getirilmesi, filtreli preslerde çabuk süzülmesi, normal plastisitede verilen çamurun tornadan ve ağır basınç altında çok fazla yumuşamaması, presleme

sırasında kil miktarının tabakalı halinde dizilmemesi, kilin şekillenme ve işlenmesinin kolay olması ve gereğinde döküm kabiliyetinin bulunması, kuru mukavemetin fazlaca ve sinterleşmenin istenilen derecelerde olması gibi hususlar fabrikasyon sırasında killerde aranan özelliklerdir (Yıldız 1999).

2.1.9 Kil Minerallerinin Teknolojik Özellikleri

Kil minerallerinin teknoloji özelliklerinin tayini arazide mümkün değildir. Arazide ancak su ile yoğrularak plastisitesi, yağlılık derecesi ile içerdikleri kum ve silt miktarı anlaşılabilir. Diğer özellikleri ancak laboratuarda belirlenir. Bundan dolayı kil yatağının çeşitli yerlerinden kesitler ve örnekler alıp alınan bu örneklerin laboratuarda deneylerini yaparak yatak hakkında bilgi edinmek gerekir.

Büyük endüstriyel tesisler için kil yatağının teknolojik özelliğinin her tarafta aynı olması gerekir. Aksi halde üretim sırasında pek çok hata ve kayıplar olur. Dış görünüş bakımından homojen ve üniform görünen kil yataklarından alınan örnekler üzerinde detaylı çalışmadan sonra, bu örneklerin tamamen farklı teknolojik özelliklerde olduğu görülebilir. Kil mineralinin dış görünüş bakımından üniform olması, özelliklerinde üniform olmasını gerektirmez.

Gözle yapılan incelemede kil yataklarının tüm özelliklerini açığa çıkarmak mümkün değildir. Birçok örnekler üzerinde incelemeler yapılarak ortalama değerin alınması gerekir (Kibici 2005).

2.1.10 Killerde Aranan Genel Özellikler

Killerin ekonomik işlerde kullanılırken ölçülen ve araştırılan en önemli özellikleri şunlardır (Kibici 2005):

- Doğal rengi

- Plastisitesi, yapışkanlığı, şekillendirme özellikleri, kuruma esnasındaki özellikleri
- 100–200 gr maddenin süzme analizi, kaba kum ve kil cevheri miktarı
- Soda veya cam suyu ile döküme elverişliliği
- Küçülme ve çeşitli sıcaklıklardaki durumu
- Suda dağılma
- İçerisindeki karbonat miktarının azlığı veya çokluğu
- Suda eriyen tuzların varlığı veya yokluğu
- Tane çapları ve dağılışı
- pH değeri
- Viskozite konsantrasyonu
- Kalıplanma müddeti
- Pişme büzülmesi ve pişirildikten sonra emme ve parlaklık derecesi
- Kırılma modülü
- Bağlanma kuvveti
- Kesme direnci
- Çekme dayanımı
- Sıcaklıkta ergime özelliği
- Kimyasal analiz

2.1.10.1 Bağlayıcı killerde göz önüne alınacak özellikler:

- Tane çapları ve dağılışı
- pH değeri
- Viskozite konsantrasyonu
- Kalıplanma müddeti
- Pişme büzülmesi
- Su emme ve parlaklığı

2.1.11 Killerin Endüstride Kullanım Alanları

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

Kâğıt Endüstrisinde: Kaolen ve kil mineralleri boşluk doldurucu olarak kâğıt endüstrisinde kullanılır.

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

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

Ziraat İşlerinde: Ziraat yapmaya uygun tarım alanlarının islah edilmesinde kil minerali kullanılır.

Dökümcülükte: Renk giderici ve emici olarak,

Diğer endüstri dallarında: Boya, plastik vb (Kibici 2005).

2.1.12 Dünya ve Türkiye’de Kil Rezervleri

Dünya ve Türkiye kil rezervleri hakkında DPT’nin 2001’de yaptığı araştırma sonuçları Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Dünya kil rezervleri (DPT 2001).

Ülke	Rezerv (Milyon ton)
A.B.D.	15900
Güney Amerika	5000
İngiltere	15800
Bağımsız Devletler-Rusya	15000
Asya	5150
Avustralya	5020
Diğer	10200
Toplam	81870

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

Çizelge 2.2 Türlerine göre dünya kil rezervleri (DPT 2001).

ÜLKELER	REZERV (Milyon Ton)		
	Kaolen	Ateş Kili	Bentonit
Avrupa	1183	-	179
İngiltere	1820	13650	-
Bağ. Devletler-Rusya	2275	13650	227
Diğerleri	1365	9100	-
Kuzey Amerika-ABD.	3550	10010	728
Güney Amerika	455	4550	46
Afrika	728	4550	46
Avustralya	455	4550	46
Diğerleri	364	9100	184
Dünya Toplamı	12195	69160	1456

Çizelge 2.3 Türkiye’deki kil oluşumlarının bölgelere göre dağılımı (DPT 2001).

BÖLGE	REZERV (Milyon Ton)		
	Görünür	Muhtemel + Mümkün	Potansiyel
Marmara	54	201	580
Ege	123	364	1980
Akdeniz	235	1175	2165
İç Anadolu	88	408	1106
Karadeniz	32	264	483
Doğu Anadolu	92	300	452
Güney Doğu Anadolu	124	212	334
TOPLAM	748	2924	7100

2.2 Borik Asit

Bor, yerkabuğunun bileşimine giren elementler arasında en az bulunanlardan biri olup, yerkabuğunda % 0,001 oranında, deniz sularında ise 3-5 ppm düzeyinde bulunmaktadır (Aydın vd 2003).

Bor mineralleri ve bor bileşikleri çok çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kullanım alanları giderek artmaktadır. Türkiye 803 milyon ton (B_2O_3 bazında) bor rezervi ile dünya bor rezervlerinin % 63’ünü bulundurmaktadır. Bu nedenle bor stratejik bir öneme sahiptir (Özdemir vd 2003).

Bor türevleri içinde en önemlilerinde biri olarak bilinen borik asit pek çok bor türevinin sentezinde ana çıkış maddelerinden biridir. Cam ve seramik endüstrisinde büyük oranda kullanılan borik asit diğer bor türevlerinin hazırlanması, temizlik maddeleri üretiminde, gıda sektöründe, kozmetik sanayi, nükleer teknoloji, tekstil, metal endüstrisi ve tarımda geniş olarak kullanım alanı bulmaktadır (Polat 1987).

Bilindiği gibi bor bileşikleri ziraat, deterjan, ağaç işleme, cam elyafı, cam ve seramik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Borik asit seramik sektöründe de eritici ve bağlayıcı olarak yaygın kullanılan bir bor bileşiğidir. Gerek kuru mukavemetleri artırması gerekse sinterleme sıcaklığını düşürme etkisi nedeniyle pişirmede enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Çok sayıda mineral borik asit içerir, fakat tüm dünya'da ekonomik olarak bilinen üç önemli mineral vardır: boraks, üleksit ve kolemanit. Bu üç mineral, dünya borat ihtiyacının yaklaşık % 90'in karşılayan başta Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere çok sınırlı sayıdaki ülkelerde bulunmaktadır (Helvacı 2003). Boratlar, önemli ölçüde boroksit (B_2O_3) içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanır ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir (Delikanlı vd 2003).

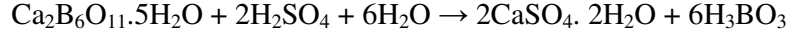
Borik asit üretimi doğada bulunan bor cevherinin mineral asitlerden biri ile reaksiyonuna dayanmaktadır. Ancak, kullanılan asidin türüne göre değişik yan ürünler oluşmaktadır. Günümüzde kolemanitten borik asit üretiminde daha çok sülfürik asit kullanılmaktadır. Gene arsenik içeren diğer bir bor mineralinden borik asit ve boraks üretimi halinde ürünlere arseniğin hangi oranlarda geçtiği konusunda araştırmalar yapılmıştır. Ham maddeden gelen çözünebilir safsızlıklar, arsenik ve sülfürik asit fazlalığı üretimin en önemli kademesi olan kristalizasyonu etkilemektedir (Aydın vd 2003).

Birçok sanayi alanında kullanılan borik asit (H_3BO_3), antiseptikler, bor alaşımları, nükleer, yangın geciktirici, naylon, fotoğrafçılık, tekstil, gübre, katalist, cam, cam elyafı, emaye, sır sanayilerinde kullanılmaktadır. Dünyadaki borik asit üretimine toplu olarak bakıldığında sodyum borat (tinkal, kernit) mineraline sahip ülkelerin diğer mineralleri olsa bile, borik asit üretiminde sodyum boratları kullandıkları görülmektedir. (ABD ve Arjantin gibi). Avrupa ülkeleri ve Türkiye'de borik asit üretiminde kolemanit kullanılmaktadır. Batı Avrupa'daki tesislerde genellikle Türk kolemanitleri kullanılmaktadır ve yaklaşık 100.000 ton borik asit üretim kapasitesi vardır. Rusya'da

borik asit üretimi için magnezyumlu bor minerallerini kullanmaktadır. Türkiye'de borik asit Etibank tesislerinde kolemanitten üretilmektedir (İnt. Kyn. 8).

2.2.1 Kolemanitten Borik Asit Üretimi

Türkiye'de borik asit, kolemanitten üretilmektedir. Üretimi Etibank yapmaktadır. Üretim prosesi temelde, kolemanitin sülfürik asit ile reaksiyona sokulmasından ibarettir. Aşağıda gösterildiği gibi, reaksiyon sonucu jips ve borik asit oluşur. Üretim sırasında oluşan jips, çevre kirliliğine sebep olmaktadır.



Üretimde öncelikle, kolemanitin boyutu <0,2 mm olacak şekilde, değirmenlerde öğütülür. Öğütülmüş kolemanit, sülfürik asitle reaksiyona sokularak çözeltiliye alınır. Bu reaksiyon 80–100 °C'de gerçekleşir (İnt. Kyn. 7). Oda sıcaklığında sudaki çözünürlüğü az olmasına rağmen, sıcaklık yükseldikçe çözünürlüğü de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sanayide borik asidi kristallendirmek için genellikle doymuş çözeltiliyi 80 °C'den 40 °C'ye soğutmak yeterli olmaktadır (İnt. Kyn. 8).

2.2.1.1 Filtrasyon

Kolemanit asitle çözeltiliye alındıktan sonra, kimyasal reaksiyon sebebiyle jips çamuru oluşmaktadır. Bu jipsin ortamdaki uzaklaştırılması için çözeltiliyi basınçlı filtrelerle süzmek gerekir. Bu amaçla, iki aşamalı süzme yapılır. İlk aşamada tüm çözelti 15–20 dk. boyunca süzülür. İlk aşamadan geçmiş olan süzüntü, ikinci aşamada ise başka bir basınçlı filterede 3 saate yakın süzülür. Bu aşamalar sonucunda elde edilen jips çamuru artık havuzuna gönderilir.

2.2.1.2 Kristalizasyon

Filtrasyon sonrası elde edilen kolemanit çözeltisi, sabit bir debi ile kristalizatöre beslenir. Kristalizatöre gelen çözelti, özel spreylemlerle püskürtülerek, kristalizatöre yayılır. Bu şekilde, oluşan kristallerin boyutu arttırılarak, işlemin daha verimli devam etmesi sağlanmış olur. Kristal boyutlarının etkilendiği faktörler ise; beslenen çözeltinin yoğunluğu, çözelti içindeki katılar ve besleme hızıdır.

2.2.1.3 Santrifüj

Çözelti kristalizatöre 80–90 °C sıcaklıkta girdikten sonra 40–45 °C sıcaklıkta çıkarak santrifüje beslenir. Santrifüjde, çözelti kristallerden ayrılır.

2.2.1.4 Kurutma

Santrifüjden çıkan kristaller bir miktar nemlidir. Ürün bu şekilde nemliken satışa sunulamaz. Bu amaçla, akışkan yataklı kurutucularla kurutulması gerekmektedir. Bu tür kurutucularda, dışarıdan alınan hava, belli bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra, kurutucu içine döşenmiş olan malzemeye alttan verilir. Kurutucudan çıkan ürün torbalanarak satılır (İnt. Kyn. 7).

2.2.2 Üleksitten Borik Asit Üretimi

Üretim prosesi temelde, üleksitin hidroklorik asit ile reaksiyona sokulmasından ibarettir. Üleksit minerali ile hidroklorik asit arasındaki reaksiyon sonunda meydana gelen karışım, su ile soğutulup süzülür. Bu çözeltinin soğutulması ile borik asit saf olarak kristalleşmekte ve böylece elde edilen borik asit kristalleri santrifüj filtrede ayrılarak kurutulmaktadır (İnt. Kyn. 8).

Beyaz renkli, kokusuz ve kristal katı haldeki borik asidin (H_3BO_3) özgül yoğunluğu $1,51 \text{ gr/cm}^3$ ve borik asidin ergime sıcaklığı $170,9 \text{ }^\circ\text{C}$ olup kaynama noktası $1860 \text{ }^\circ\text{C}$ dir. (Durak 2003). Borik asit ısıtıldığında önce suyunu kaybederek meta borik aside (HBO_2) dönüşür. Daha sonraki ısıtma ile bor okside (B_2O_3) dönüşür. Borik asit'in yapılan analizlerde % 56,3 B_2O_3 içerdiği ve malzemenin % 76,27'sinin $0,125-0,5 \text{ mm}$ tane boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Ticari bor oksit, B_2O_3 'tür ve genellikle % 1 su içerir. Genellikle borik asitten uygun sıcaklıkta su kaybettirilerek elde edilir. Renksiz cam görünüşlüdür. Oda sıcaklığında higroskopiktir. Bor oksit ve susuz boraks cam sanayiinde çok kullanılır. Yüksek sıcaklıkta borik asitten su buharlaşırken B_2O_3 kaybı artmaktadır. Cam üretim projesinde, borik asit yerine, bor oksit kullanılması enerji ve hammadde avantajı sağlamaktadır. Bor oksit porselen sırlarının hazırlanmasında, çeşitli camlarda, ergitme işlemlerinde, seramik kaplamalarda kullanılır. Ayrıca pek çok organik reaksiyonun katalizörüdür. Pek çok bor bileşğinde başlangıç maddesidir (İnt. Kyn. 8).

3. MATERYAL VE METOT

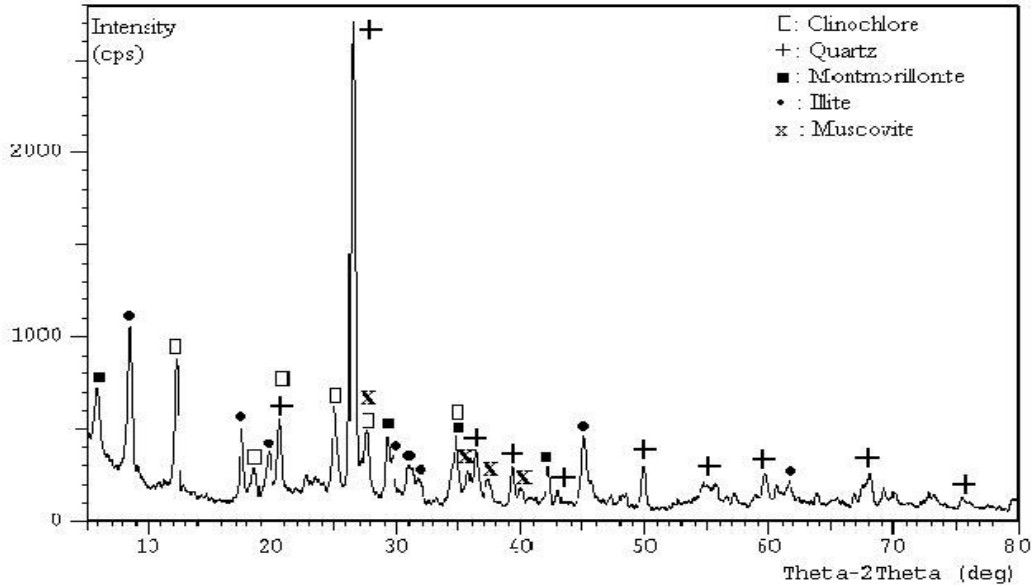
3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kil ve Borik Asit

Çalışmada Afyonkarahisar bölgesinden elde edilen kil ve ETİ AŞ'den alınan borik asit kullanılmıştır. Kil hammaddesi Afyonkarahisar'da bir tuğla fabrikasından alınmıştır. Kilde bulunan başlıca bileşiklerin SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ten oluştuğu ve kızdırma kaybı değerinin % 9 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Yapılan XRD analizinde ise kil içerisinde, montmorillonit, illit, kuvars ve muskovit mineralleri belirlenmiştir (Şekil 3.1).

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

Oksit (%)	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	Fe_2O_3	Kızd. Kay	TOPLAM
Kil	50,25	21,38	3,69	2,68	2,64	0,90	1,20	6,64	9,00	99,48



Şekil 3.1 Kil hammaddesinin X- ışınları difraktogramı

Borik asit (BA), Kütahya – Emet ETİBOR işletmesinden temin edilmiştir. Borun bileşikleri içerisinde en yaygın olarak kullanılan borik asit (H_3BO_3) beyaz bir katıdır. Borik asitin kaynama noktası 1860 °C olup (Durak 2003), özgül ağırlığı 1,51 gr/cm³'tür (İnt. Kyn. 6).

3.2 Metot

Bu çalışmada Afyonkarahisar bölgesinde elde edilen tuğla kiline belirli oranlarda borik asit katılarak farklı karışımlar oluşturulmuş; bu karışım oranları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Hazırlanan Karışımların Hammadde Oranları (Ağırlıkça).

Seri	Kil (kg)	Borik Asit (kg)	Plastiklik Suyu (lt)
A (%100 Kil)	40	0,0	12
B (%100 Kil + %1 Borik Asit)	40	0,4	12
C (%100 Kil + %2 Borik Asit)	40	0,8	11

3.2.1 Hammaddenin Hazırlanması

Çizelge 3.2'deki reçete hazırlanırken karışıma katılacak hammadde oranları ağırlıkça belirlenmiş ve 1 mm'den büyük parça ihtiva etmeyecek şekilde bilyalı değirmende öğütülmüştür. Karışımlarda kullanılan hammaddelerin her biri etüvde (Şekil 3.2) değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Malzemeler kurutulduktan sonra Çizelge 3.2'deki oranlara göre üç farklı seride karışımlar hazırlanmıştır.

Her bir serideki hammadde karışımlarının içerilerine gerekli su katkısı yapılarak arzulanan plastik yapıda bir kil hamuru niteliğine getirilmiştir. Her bir kil hamurunun ekstrüzyon presinden geçeceği dikkate alınarak karıştırma, yoğurma ve homojenliğin sağlanmasına büyük özen gösterilmiştir. Her bir kil hamuru hava almayacak şekilde

poşetlenerek ekstrüzyondan önce 24 saat dinlendirmeye bırakılmıştır. Dinlendirilen kil hamuru laboratuvar tipi ekstrüzyon makinesinde 4x7 cm kesit ve 10 cm boyunda prizma şekilli olarak üretilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2 Etüv



Şekil 3.3 Laboratuvar tipi ekstrüzyon makinesinde üretilen tuğla örnekler.

3.2.2 Numunelerin Kurutulması

Ekstrüzyon'dan çıkan yaş tuğla numuneler uygun kaplara alındı ve güneş ile direkt temas etmeyecek kapalı ortamda tabii kurutmaya bırakıldı.

3.2.3 Numunelerin Pişirilmesi

Kil toprak olarak şekillenmiş numuneler tabii ortamda kurutulduktan sonra 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C, 900 °C, 950 °C ve 1000 °C’ de olmak üzere yedi farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Örneklerin pişirilmesinin ardından aşağıda bahsedilen fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Fiziksel özellikler belirlendikten sonra karışım örneklerinin basınç mukavemet testleri 200 kN’luk bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde (Şekil 3.4) gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 Laboratuvar tipi basınç pres

3.2.4 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Fiziksel özellikler belirlenirken; her bir sıcaklıkta pişirilen numune serileri için ayrı bir ölçüm yapılmış ve ilgili sıcaklıklar için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Fiziksel özellikler belirlenirken; her bir sıcaklıkta pişirilen numune serileri öncelikle 24 saat boyunca su içerisinde tutularak suya doymun hale getirilmiştir. Örneklerin, su içinde asılı ağırlıkları, yüzeyi kuru halde doymun ağırlıkları ve etüv kurusu ağırlıkları

bulunarak ilgili numunelerin; porozite, bulk yoğunluk ve su emme gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

3.2.4.1 Su Emme

Malzemenin birim ağırlık veya hacminin emmiş olduğu su yüzdesi olarak belirtilir. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$Sa = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (3.1)$$

Sa: Ağırlık olarak su emme,

P₂: Su emdirilmiş ağırlık(gr),

P₁: Kuru ağırlık(gr).

3.2.4.2 Porozite

Malzemedeki boşluk oranına porozite adı verilir ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (3.2)$$

P: Görünür porozite,

W₁: Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr),

W₂: Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

W₃: Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr).

3.2.4.3 Bulk Yoğunluk

Malzemenin birim hacminin ağırlığı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$Bd = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (3.3)$$

Bd: Hacim ağırlığı (Bulk Yoğunluk),

W_1 : Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr),

W_2 : Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

W_3 : Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr).

3.2.4.4 Görünür Yoğunluk

$$Gr.Y. = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (3.4)$$

Gr.Y.: Görünür Yoğunluk

W_1 : Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr),

W_2 : Kaynatma ile suya doymun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

3.2.5 Basınç Mukavemet Testi

$$fb = \frac{Pk}{A_0} \text{ (Kgf / cm}^2\text{)} \quad (3.5)$$

Fb: Basınç mukavemeti (kgf/cm²)

A_0 : Basınç uygulanan yüzün alanı (cm²)

Pk: Kırılma anındaki yük (kg)

k: Numunenin biçim katsayısı (k=1)

Numunelerin mekanik özelliklerinden biri olan basınç mukavemet testleri de tüm numunelere uygulanarak numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir.

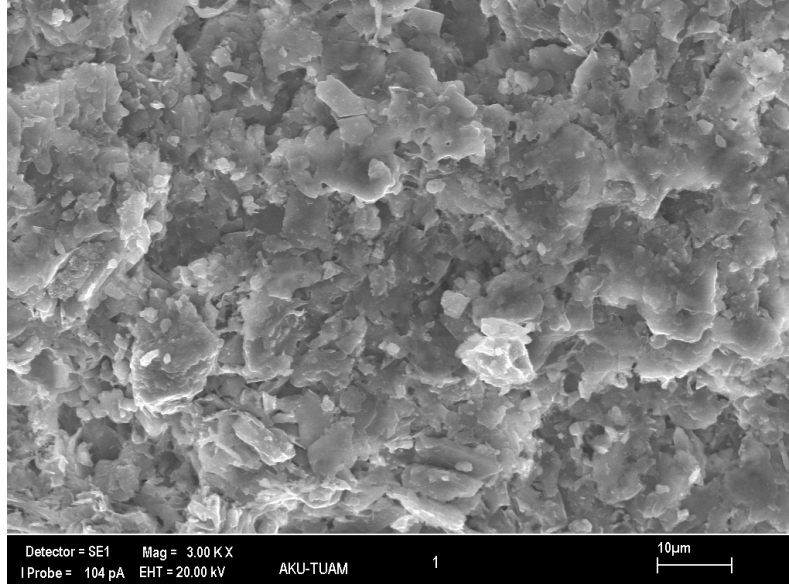
4. BULGULAR

Tuğla kiline ağırlıkça % 1–2 oranında borik asit katkısı katılarak ve 750 °C -1000 °C sıcaklıklarda pişirilen tuğla örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri bu bölümde sunulmuştur.

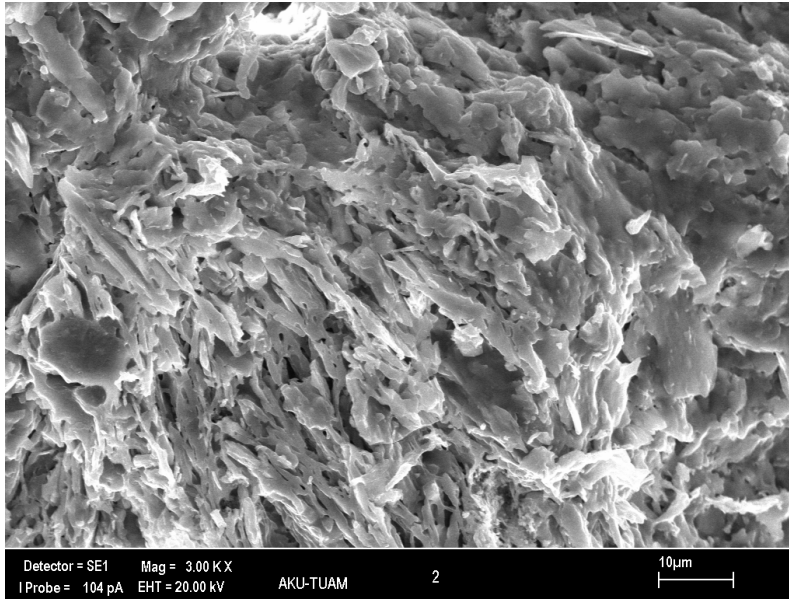
4.1 Porozite, Su Emme, Görünür Yoğunluk ve Bulk Yoğunluk Değerleri

4.1.1 Porozite Değerleri

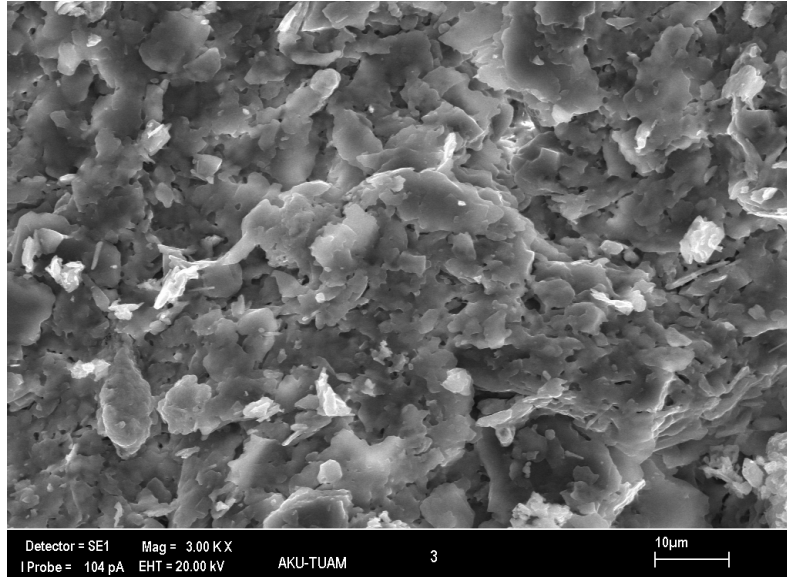
Porozite değerlerini belirleyen iki faktör belirlenmiştir, bunlar uygulanan pişirme sıcaklığı ve karışımdaki borik asit katkı oranıdır. Pişirme sıcaklığı arttıkça porozite değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Düşük sıcaklıklarda porozitenin yüksek değerlerde olması pişmiş bünyede yeterli sinterlenmenin gerçekleşmediğinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.1) Porozite değeri düşük pişirme sıcaklıklarında (700–800 °C) % 39 değerlerinde iken 1000 °C’de katkısız seride % 31,41 ve % 2 BA katkılı seride % 23,19’a düşmüştür. Buna göre pişirme sıcaklığının artması bünyedeki camsı faz miktarını artırmıştır (Şekil 4.2). İkinci olarak BA katkı oranı arttıkça porozite değerlerinde azalma meydana gelmiştir (Çizelge 4.1). BA katkı pişmiş bünyede camsı faz yapısını artırıcı etki yapmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). B ve C serisi örneklerin kontrol serisi örneklerine (A) nazaran daha az bir poroziteye sahip olduğu Şekil 4.5’de görülmektedir.



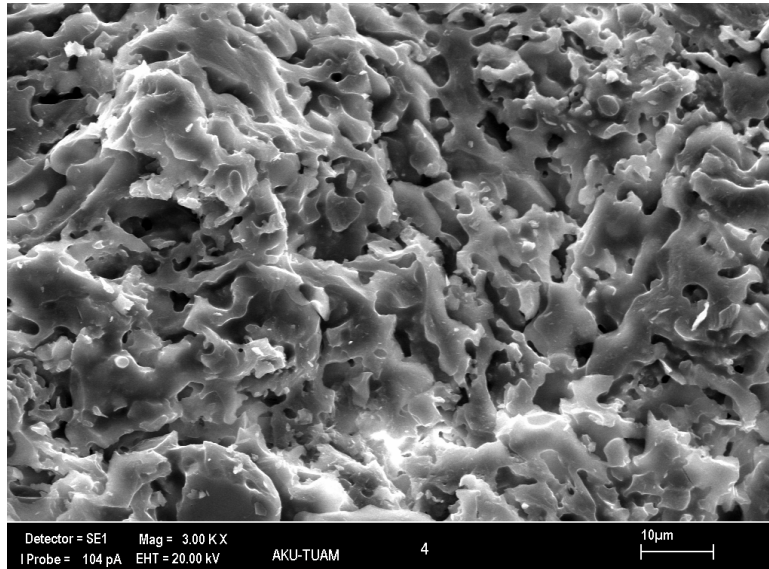
Şekil 4.1 900 °C'de pişen katkısız örneğe ait SEM görüntüsü. Sinterleme henüz başlangıç aşamasındadır.



Şekil 4.2 1000 °C'de pişen katkısız örneğe ait SEM görüntüsü. Ergime ve camsı faz oluşumu başlamış, gözenekler aşırı derecede küçülmüştür.



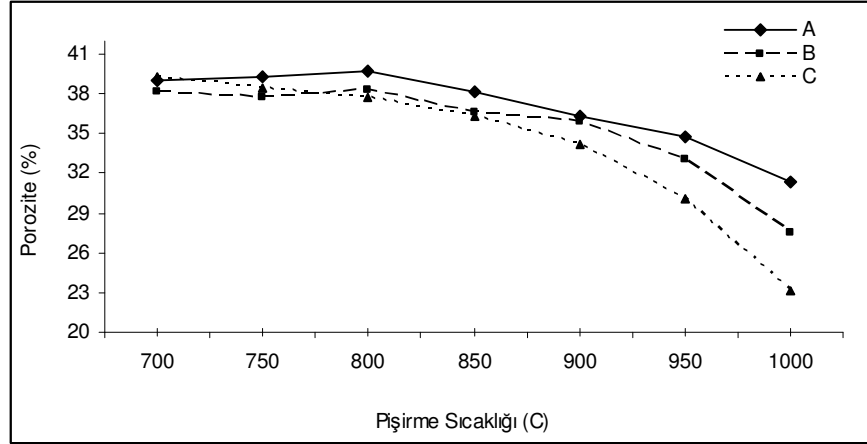
Şekil 4.3 900 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait SEM görüntüsü. Sinterleme henüz başlangıç aşamasındadır.



Şekil 4.4 1000 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait SEM görüntüsü. Ergime ve camsı faz oluşumu artarak, gözenekler aşırı derecede küçülmüştür.

Çizelge 4.1 Karışımların Fiziksel Özellikleri

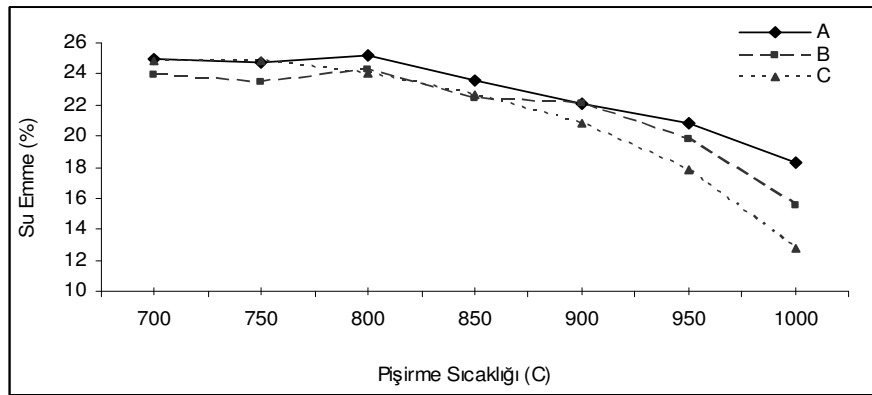
Sıcaklık (°C)	Örnek Kodu	Kızdırma Kaybı (%)	Su Emme (%)	Porozite (%)	Bulk Yoğ. (gr/cm³)	Gör.Yoğ. (gr/cm³)
700	A	7,21	25,02	39,09	1,56	2,56
	B	6,89	23,94	38,19	1,60	2,58
	C	7,68	24,88	39,26	1,58	2,60
750	A	7,59	24,71	39,23	1,59	2,61
	B	6,93	23,49	37,70	1,60	2,58
	C	7,36	24,82	38,45	1,55	2,52
800	A	8,23	25,15	39,76	1,58	2,63
	B	8,29	24,26	38,31	1,58	2,56
	C	8,58	24,05	37,76	1,57	2,52
850	A	7,81	23,63	38,16	1,61	2,61
	B	7,53	22,48	36,64	1,63	2,57
	C	7,66	22,68	36,28	1,60	2,51
900	A	8,76	22,13	36,30	1,64	2,57
	B	8,53	22,08	35,94	1,63	2,54
	C	8,80	20,84	34,17	1,64	2,49
950	A	8,08	20,86	34,72	1,66	2,55
	B	7,83	19,76	33,07	1,67	2,50
	C	8,10	17,83	30,10	1,69	2,42
1000	A	8,07	18,30	31,41	1,72	2,50
	B	7,86	15,58	27,51	1,77	2,44
	C	8,00	12,74	23,19	1,82	2,37



Şekil 4.5 Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait porozite değerleri.

4.1.2.Su Emme Değerleri

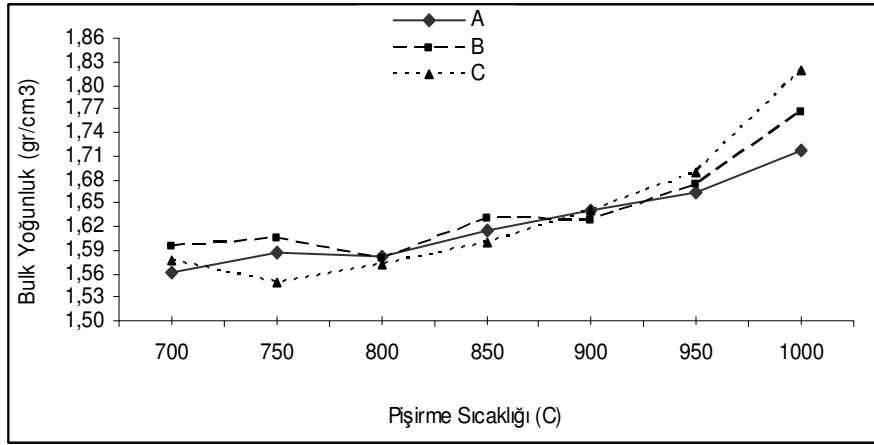
Ağırlıkça su emme değerleri porozitenin bir fonksiyonudur. Örneklerin su emme değerleri düşük pişirme sıcaklık derecelerinde daha yüksek değerlerde gerçekleşmiştir. Buna göre en yüksek su emme değerleri henüz sinterlemenin başlamadığı 700- 800 °C'lerde gerçekleşmiştir (% 25). Buna karşı pişirme sıcaklığının artması ile birlikte azalma gerçekleşmiştir (Şekil 4.6). Katkısız seride 1000 °C'de % 18,30 değeri elde edilmiştir. Su emme değerlerini etkileyen ikinci etken ise karışıma giren BA katkıdır. BA katkı su emme değerlerini azaltıcı etki yapmıştır. En düşük su emme değeri 1000 °C'de % 2 BA katkılı seride %12,74 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.6 Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait su emme değerleri.

4.1.3 Bulk Yoğunluk Değerleri

Bulk yoğunluk değerleri henüz sinterlemenin başlamadığı 700–800 °C’lerde 1,55- 1,60 gr/cm³ değerlerinde gerçekleşmiştir. Pişirme sıcaklığının artması ile birlikte bulk yoğunluk değerlerinde artış gerçekleşmiştir. Aynı sıcaklık dereceleri için BA katkılı örneklerde daha yüksek bulk yoğunluk değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.7). Buna göre bulk yoğunluk değeri 1000 °C’de katkısız seride 1,72 gr/cm³ iken aynı sıcaklık derecesi için %2 BA katkılı seride 1,82 gr/cm³ olarak gerçekleşmiştir. Pişirme sıcaklığındaki artış daha yoğun bir camsı bünyenin oluşmasını sağlamıştır. Aynı sıcaklık derecelerinde BA katkı bünyedeki camsı yapının artışına katkı yaparak gözenek yapısının azaldığı, daha yoğun bir bünyenin gelişmesine katkı yapmıştır (Şekil 4.3, Şekil 4.4.).

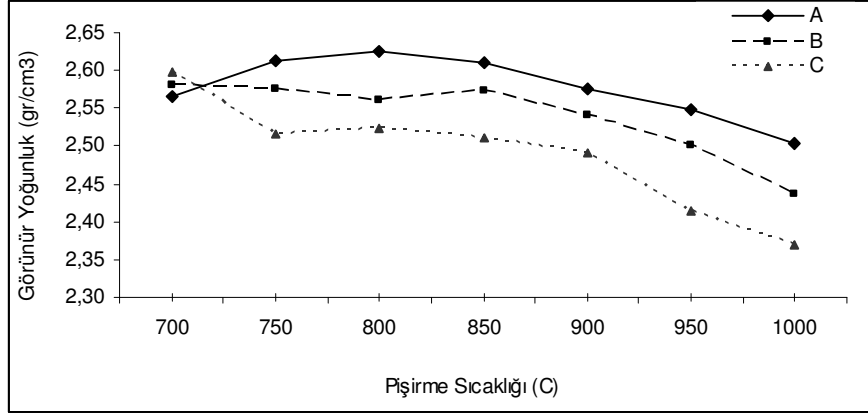


Şekil 4.7 Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait bulk yoğunluk değerleri.

4.1.4 Görünür Yoğunluk Değerleri

Görünür yoğunluk değerleri düşük sıcaklık derecelerinde (700–800 °C) 2,52–2,63 gr/cm³ olarak gerçekleşmiştir. Buna karşılık pişirme sıcaklığının artması ve karışıma giren BA katkı görünür yoğunluk değerlerini azaltmıştır (Şekil 4.8). Örneğin 1000 °C’de katkısız ve % 2 BA katkılı serilerde sırası ile 2,50 ve 2,37 gr/cm³ değerleri elde edilmiştir. Görünür yoğunluk değerlerinin azalmasında düşük sıcaklıklarda mevcut olan açık gözeneklerin sıcaklık artışı ve BA katkısı ile yüksek sıcaklıklarda (1000 °C) açık gözeneklerin kısmen kapanarak bünyede daha çok kapalı gözenek hacmini

oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum örneklerin SEM görüntülerinden de anlaşılabilir (Şekil 4.1–4.2–4.3–4.4).



Şekil 4.8 Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait görünür yoğunluk değerleri.

4.2 Kızdırma Kaybı Değerleri

Örneklerin kızdırma kaybı değerleri % 6,89 ile % 8,80 arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Kızdırma kaybı değerleri kil bünyede bulunan karbonatların 900 °C’lerde bozunması, bünyedeki organiklerin yanması (400–550 °C) ve kil bünyede kimyasal suyun uzaklaşmasından kaynaklanmaktadır.

4.3 Örneklerin Pişme Rengi Özellikleri

Tuğla kiremit gibi pişmiş seramik ürünlerde renk müşteri beğenisi açısından önemlidir. Hammadde içinde bulunan demir oksit (Fe_2O_3) tuğla ve kiremit ürünlere renk veren başlıca oksittir. Pişmiş örneklerin renk özellikleri incelenmiştir. Buna göre BA katkılı örnekler katkısız örneklere göre daha koyu kırmızı bir renk almıştır (Şekil 4.9). BA katkısının pişmiş örneklerin istenen ‘kırmızı kiremit rengi’ almasına olumlu katkı yaptığı gözlenmiştir.



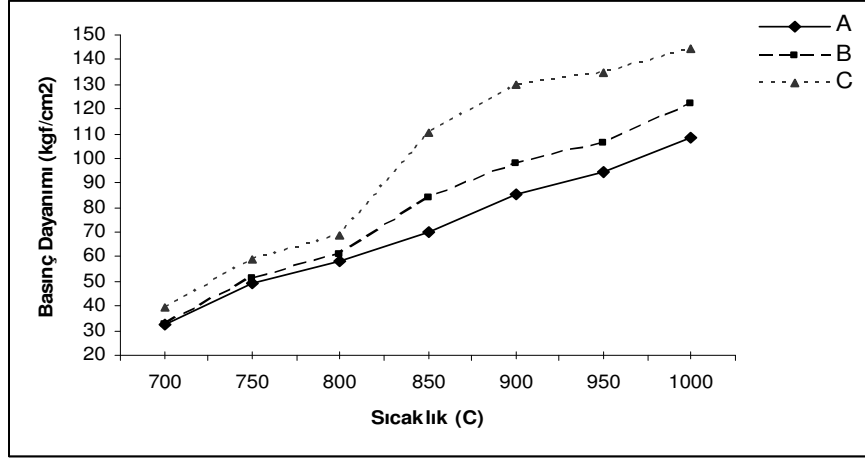
Şekil 4.9 1000 °C’de pişen örneklerin pişme rengi özellikleri (katkısız örnek solda ve % 2 BA katkılı örnek sağda).

4.4 Basınç Dayanımı Değerleri

Örneklerin basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Buna göre basınç mukavemeti değerlerindeki artışa pişirme sıcaklığı ve BA katkısının artırılması etkili olmuştur (Şekil 4.10). Katkısız serilerde düşük sıcaklık derecelerinde (700–800 °C) 32,27; 49,27; 58,06 kgf/cm² basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Katkısız örnekler 900–1000 °C aralığında sırası ile 81,25; 94,60 ve 108,5 kgf/cm² basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Buna karşı aynı pişirme sıcaklıkları için % 2 BA katkılı örneklerde basınç dayanımı değerleri çarpıcı biçimde artmıştır. % 2 BA katkılı örneklerde 700–800 °C aralığında sırası ile 39,8; 59,07 ve 62,67 kgf/cm² olarak elde edilmiştir. 900–1000 °C aralığında sırası ile 129,97; 135,70 ve 144,55 kgf/cm² olarak elde edilmiştir. Bu artışa BA katkının mikro yapıda daha düşük porozite ve daha yüksek camsı faz oluşumu sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

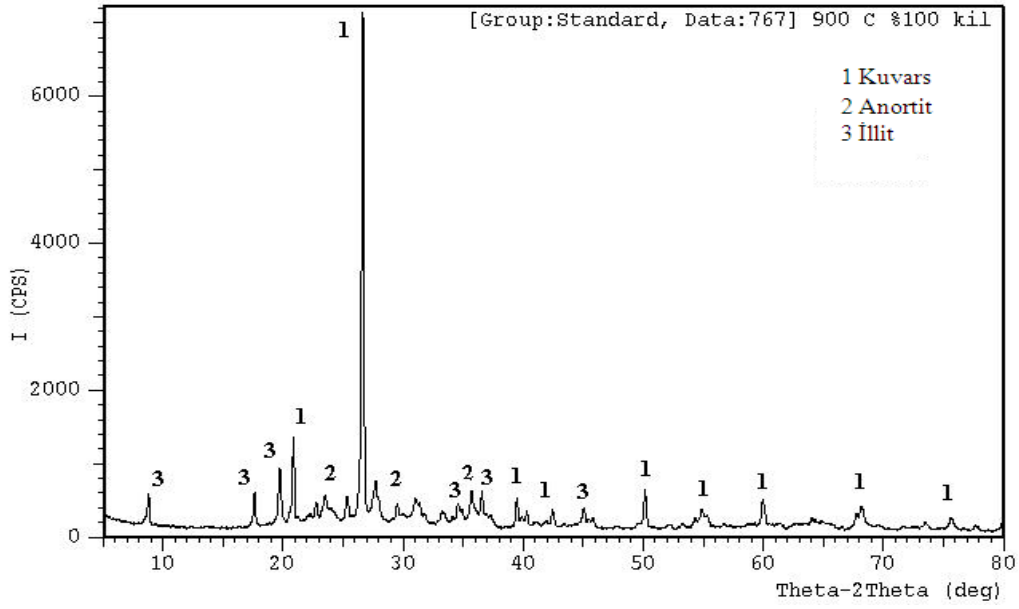
Çizelge 4.2 Karışımların Basınç Dayanım Değerleri

Sıcaklık (°C)	Örnek Kodu	Basınç Dayanımı (kgf/cm²)
Kuru	A	21,62
	B	36,25
	C	37,47
700	A	32,27
	B	32,50
	C	39,80
750	A	49,27
	B	51,25
	C	59,07
800	A	58,06
	B	61,35
	C	68,67
850	A	70,33
	B	83,90
	C	110,67
900	A	85,23
	B	97,65
	C	129,97
950	A	94,62
	B	106,45
	C	134,72
1000	A	108,14
	B	122,24
	C	144,55

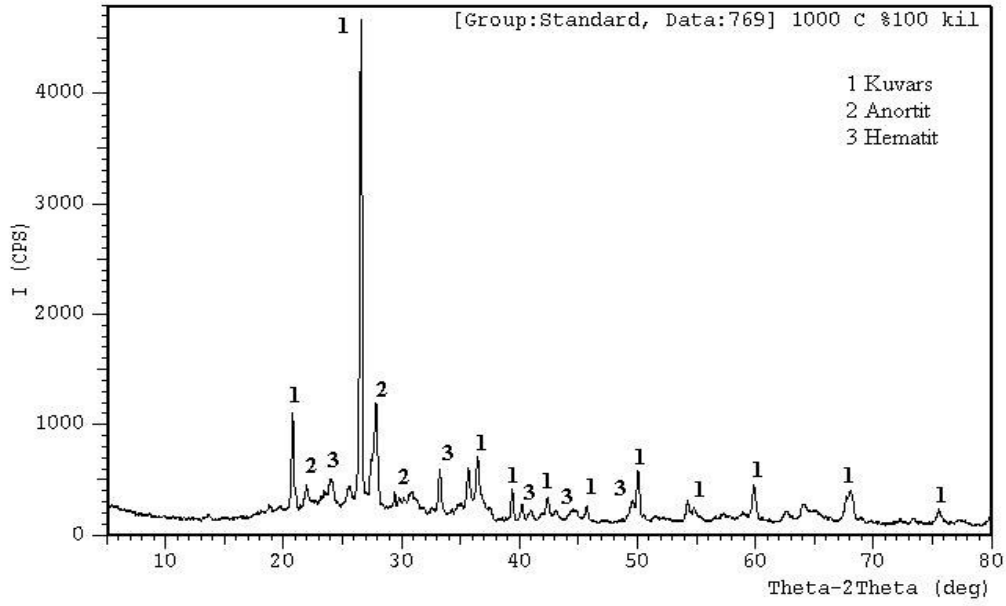


Şekil 4.10 Katkısız (A), % 1 BA katkılı (B) ve % 2 BA katkılı (C) örneklere ait basınç dayanımı değerleri.

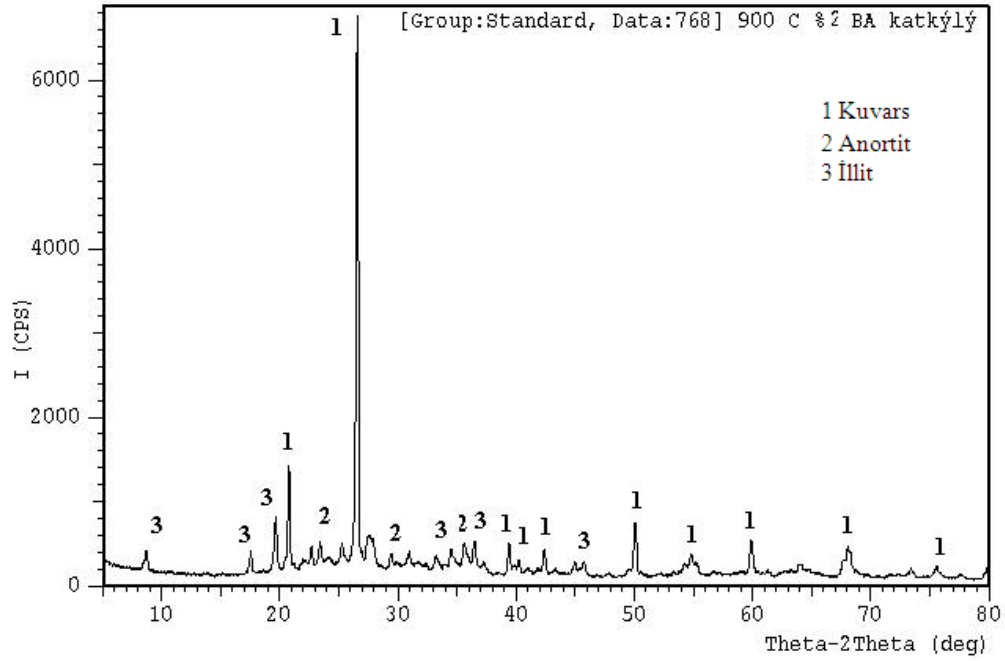
900 ve 1000 °C'de pişirilen katkısız ve % 2 BA katkılı tuğla örneklerinin X ışınları difraktogramları Şekil 4.11, 4.12, 4.13, ve Şekil 4.14'de verilmiştir. Buna göre 900 °C'de pişen katkısız örnekte hakim faz kuvars olup, anortit ve illit fazları belirlenmiştir (Şekil 4.11). 1000 °C'de ise hakim faz kuvars olmakla birlikte, anortit ve hematit fazları gelişmiştir (Şekil 4.12). 900 °C'de pişen % 2 BA katkılı örneklerde hakim faz kuvars olup anortit ve illit fazları belirlenmiştir (Şekil 4.13). BA katkılı 1000 °C'de pişen örneklerde kuvars, anortit ve hematit fazları belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta kuvarın pik boyu 900 °C'de pişen örneğe göre daha kısalmıştır (Şekil 4.14).



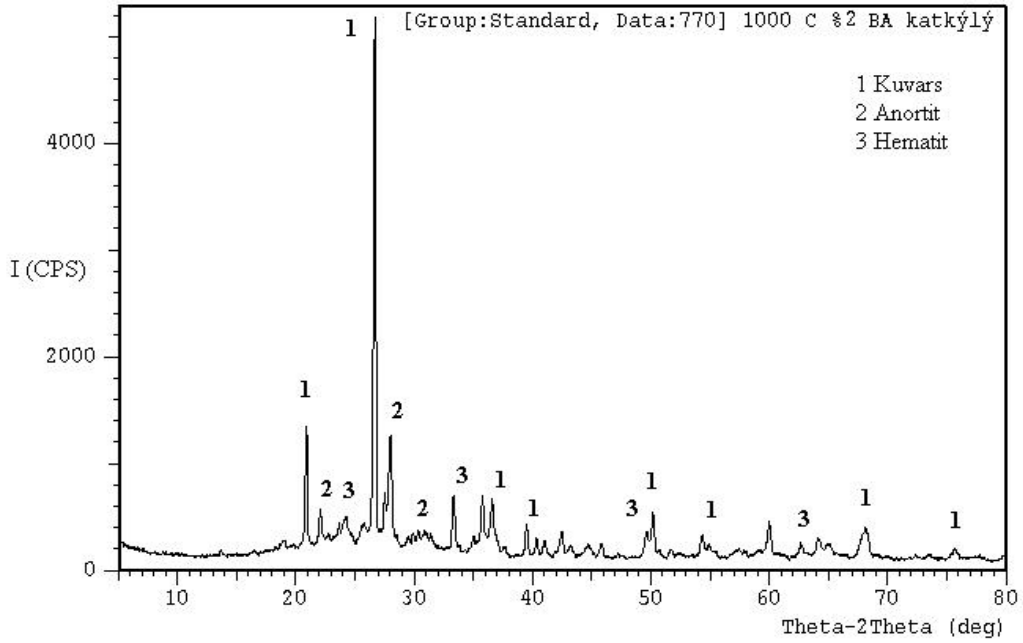
Şekil 4.11 900 °C'de pişen katkısız örneğe ait X-ışınları difraktogramı.



Şekil 4.12 1000 °C'de pişen katkısız örneğe ait X-ışınları difraktogramı.



Şekil 4.13. 900 °C’de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait X-ışınları difraktogramı.



Şekil 4.14. 1000 °C’de pişen % 2 BA katkılı örneğe ait X-ışınları difraktogramı.

5. SONUÇLAR

- Tuğla kiline ilave edilen BA katkı tuğla örneklerin pişme sıcaklıklarını düşürerek sinterleme özelliklerine olumlu etki yapmıştır.
- BA katkı pişmiş örneklerin porozite ve buna bağlı olarak su emme değerlerini azaltmıştır.
- Bulk yoğunluk değerleri katkısız örneklere göre BA katkılı örneklerde nispeten artış göstermiştir.
- BA katkılı örneklerin görünür yoğunluk değerlerinde azalma meydana gelmiş olup bunun açık gözeneklerin kısmen kapalı gözeneklere dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- BA katkı oranı % 2 olan pişmiş örneklerin 850 °C'de itibaren basınç dayanımı değerlerinde belirgin biçimde artış meydana gelmiştir.
- Katkısız örneklere göre BA katkılı örneklerin pişme rengi daha koyu kırmızı renk kazanmıştır.

KAYNAKLAR

- AKTÜRK, A. ve Diğerleri, 1978, “Endüstriyel Hammaddeler”, MTA Yay., Ankara.
- ASKELAND, D.R., 2000, “The Science and Engineering of Materials”, Nobel Yay., 396s-397s,
- AYDIN, A.O., GÜLENSOY, H., AKICIOĞLU, A., SAKARYA, A., 2003, “Kolemanitlerdeki Arseniğin Borik Asit ve Boraks Üretimine Etkisi”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. Cilt:5, No:1, 51s-58s.
- COOPER, A., R., 1978, “Quantitative Theory of Cracking and Warping During the Drying of Clay Bodies”, Edited by Onado, G., Y., and Hench, L., Florida.
- ÇELEBİ, G.Ü., 2007, “Yapı Malzemeleri ve Yapıda Kullanım Özellikleri”, Gazi Üniversitesi, Mühendislik mimarlık fakültesi, Mimarlık bölümü, Ders Notları, Ankara.
- ÇÖREZ S., 2002, “Tuğla”, SDÜ, Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, Isparta.
- DAVIDGE, R.W., 1975, “Mechanical Behaviour of Ceramics, in Background to Ceramics”,(ed. Cahn, R.W., Thompson, M.W., and Word, I.M.), 1-7 pp, Cambridge University Press, Cambridge.
- DELİKANLI, K., ÇALIK, A., UZUN, H.A., 2003, “Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. (2003), Cilt:5, No:1, 99s-110s.
- DEMİR, İ., 2006, “Termik Santral Atığı Küllerin Tuğla Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, A.K.Ü., Tek. Eğit. Fak., Yapı Eğit. Böl., Bil. Arşt. Proj. Sonuç Raporu, Afyonkarahisar.

- DEMİR, İ., BAŞPINAR, M.S., 2006, “Tuğla Kilinin İşlenmiş Çay Atıkla Stabilizasyonu”, GAP 5. Mühendislik Kongresi, 26-28 Nisan, Şanlıurfa, 1013s-1017s.
- DEMİR, İ., ORHAN, M., 2002, “Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi”, A.K.Ü., Tek. Eğit. Fak., Yapı Eğit. Böl., Afyonkarahisar.
- DÖKMEN, L., 1989, “Salihli ve Turgutlu’dan Alınan Tuğla-Kiremit Hammaddelerine Uygulanan Analizler ve Sonuçları”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, İzmir, 4s-21s.
- DPT, 216-ÖİK, 623, 2001, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri 2 (Refrakter Killer ve Şiferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkon-Disten, Sillimanit, Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu”, Ankara, 1s–23s.
- DURAK, E., 2003, “Borik Asitin Katkı Maddesi Olarak Yağlama Yağında Kullanılmasının Araştırılması”, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, 5.1,
- GERMAN, R.M., 1985, “Liquid Phase Sintering”, Plenum Press, Newyork.
- GRAHL, L.C., 2001, “Materials Handbook”, Ceramic Industry, Vol.: 151, No: 1, 35-36 pp.
- HELVACI, C., 2003, “Türkiye Borat Yatakları Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. Cilt:5, No:1, 4s–41s.
- KARAKAYA, Ç.M., 2006, “Kil minerallerinin Özellikleri ve Tanımlama Yöntemleri”, Ankara, 58s–59s.
- KARAMAN, M.E., KİBİCİ, Y., 1999, “Temel Jeoloji Prensipleri”, Ankara, 295s–305s.

- KARAMAN, S., 2006, “Yapı Tuğlalarında Renk Oluşumu”, K.S.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9 (1), 125s-129s.
- KAVAS, K., EMRULLAHOĞLU, Ö.F., 1999, “Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı”, Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, 216s-225s.
- KINGERY, W.D., BOWEN, H.K., UHLMAN, D.R., 1975, “Introduction to Ceramics”, Wiley and Sons, New York, 548-549 pp.
- KİBİCİ, Y., 2005, “Seramik Hammaddeleri ve Teknolojik Özellikleri”, III. Uluslararası katılımlı seramik, cam, emaye, sır ve boya semineri, 17-19 Ekim, Eskişehir, 17s-27s.
- KONTA, J., 1995, “Clay and Man”, Clay Raw Materials In The Service of Man, Applied Clay Science, 10, 235-275 pp.
- KÖKTÜRK, U., 1997, “Endüstriyel Hammaddeler”, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayını, Yayın No:205, İzmir.
- KUŞÇU, M., 1991, “Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller Ders Notları”, Akdeniz Üniv. Fen Bil. Enst. Yay, No: 2, Isparta, 178s
- MAROTTA, T.W., 2005, “Basic Construction Materials”, Pearson Prentice Hall, 7th ed., ISBN 0-13-143387-3.
- OKYAY, U.S., YILDIZ, A., 2005, “Endüstriyel Hammaddeler ve Çimento Hammaddeleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 5s.

- ORHAN M., DEMİR İ., 1998, “Tuğla Killerinde Rötre Değerlerinin Azaltılması Üzerine Bir Araştırma”, Gazi Üni., Fen Bl. Dergisi, 11-2, 383s-390s.
- ÖZDEMİR, M., KIPÇAK, İ., ÖZTÜRK, N., 2003, “Bor Endüstrisi Katı Atıklarından Boraksın Katı-Sıvı Özütleme ile Geri Kazanılması”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. Cilt:5, No:1, 175s–182s.
- PIMRAKSA, K., WILHELM, M., KOCHBERGER, M. and WRUSS, W., 2001, “A new Approach to the Production of Bricks Made of % 100 Fly Ash”, 2001 International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.
- POLAT, M., 1987, “Türkiye de ve Dünya da Bor ve Bor Teknolojisi Uygulamalarının Araştırılması”, İzmir.
- SALMAN, Y., 2001, “Tuğla Üretim Şekilleri”, SDÜ, Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, Isparta.
- ŞİŞMAN, C. B., KOCAMAN, İ., GEZER, E., 2006, “Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma”, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 3, Tekirdağ.
- TSN 771–1, 2005, “Kâgir Birimler-Özellikler-Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)”,Ankara.
- ÜZERE, M., TOLA, Ç., 1987, “Tuğla Kiremit Topraklarında Kuruma Problemleri ve Elektrolit İlavesinin Kurumaya Etkisi”, Saydam Matbaacılık, Ankara.
- YILDIZ, A., (1999)., “Seramik Killeri ve Özellikleri”., S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalı Doktora Programı., 1s-30s. Isparta.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- http://www.harunyuksele.com.tr/tugla_hakkında.htm	12/03/2007
2- http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil	16/05/2006
3- http://ciftci.ksu.edu.tr/dokumanlar/tugla_kiremit_topragi.html	28/10/2006
4- http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/oik491/	28/10/2006
5- http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/c4ea5258ef3fb3f_ek.pdf	04/09/2008
6- http://www.etimaden.gov.tr	21/05/2008
7- http://tr.wikipedia.org/wiki/Borik_asit	02/02/2009
8- http://www.scribd.com/doc/6705697/Bork-Ast-Uretim	02/02/2009

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Musa ŞAHİN
Doğum Yeri Havza
Doğum Tarihi 10/08/1985
Medeni Hali Bekâr
Yabancı Dili İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise Samsun/Havza Sağlık Meslek Lisesi, Acil Tıp Teknisyenliği Bölümü 1997–2001.
Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü 2002–2006.
Yüksek Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı 2006–2009.

Çalıştığı Kurumlar

Samsun / Havza Yavuz İnşaat Samsun/Havza da faaliyet gösteren Yavuz İnşaat firmasında 2004 ve 2005 yıllarının Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında betonarme proje çizimi, inşaat denetimi, şantiyede kalıp-demir-beton kontrolü konularında çalıştım ve stajımı tamamladım.
Trabzon 112 Acil Sağlık İstasyonu Trabzon da Sağlık Bakanlığına bağlı 112 acil sağlık istasyonunda 657/4b sözleşmeli devlet memuru olarak 2007 yılının temmuz ayında Acil Tıp Teknisyeni unvanı ile göreve başladım. Şu anda Trabzon 112 Acil Sağlık 3 nolu İstasyonda görevimi sürdürmekteyim.