

TERMİK SANTRAL ATIĞI KÜLLERİN
YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ORHAN AYDIN

DANIŞMAN
DOÇ. DR. İSMAİL DEMİR

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2007

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMİK SANTRAL ATIĞI KÜLLERİN
YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE
KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI**

ORHAN AYDIN

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. İSMAİL DEMİR**

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

EYLÜL 2007

ONAY SAYFASI

Doç. Dr. İsmail DEMİR danışmanlığında Orhan AYDIN tarafından hazırlanan “TERMİK SANTRAL ATIĞI KÜLLERİN YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI.” başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 03/09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Doç.Dr.İsmail DEMİR

Üye : Yrd.Doç.Dr.Osman ÜNAL

Üye : Yrd.Doç.Dr.M.Serhat BAŞPINAR

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

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Kil.....	11
2.1.1. Bazı Kil Minerallerinin Özellikleri.....	13
2.1.2. Killerin Sınıflandırılması.....	14
2.1.2.1. Buldukları Yere ve Yataklarına Göre.....	14
2.1.2.2. Ateşe Dayanıklılıklarına Göre.....	15
2.1.2.3. Adi Kil Cinsleri.....	15
2.1.2.4. Özel Kil Cinsleri.....	16
2.1.3. Killerin Fiziksel Özellikleri.....	19
2.1.3.1. Plastiklik.....	19
2.1.3.2. Yağlılık ve Yağsızlık.....	19
2.1.3.3. Kuruma ve Küçülme.....	20
2.1.3.4. Kuru Mukavemet.....	21
2.1.3.5. Pişme Rengi ve Ateş Kaybı.....	22
2.1.4. Tuğla Yapımında Hammadde Olarak Kil.....	24
2.1.5. Kil Tuğlalarının Üretimi.....	24
2.1.6. Kil Tuğlalar ve Bloklar İçin BS Şartnameleri.....	27
2.1.7. Tuğla Yapım Aşamaları.....	28
2.1.8. Tuğlaların Sınıflandırılması.....	30
2.1.8.1. Harman Tuğlaları.....	30
2.1.8.2. Fabrika Tuğlaları.....	31
2.1.9. Tuğlaların Özellikleri.....	33
2.2. Borik Asit.....	39
2.2.1. Borik Asit Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	42
2.2.2. Değişik Koşullardaki Borik Asit Üretim Prosesinin Modellenmesi.....	43
2.3. Uçucu Kül.....	44
2.3.1. Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi.....	44
2.3.2. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması.....	46
2.3.3. Uçucu Küllerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	48

2.3.4. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri.....	51
2.3.5. Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri.....	55
2.3.6. Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikleri.....	57
2.3.7. Uçucu Külün Kullanım Alanları.....	60
2.3.7.1. Gaz Beton Yapımında Kullanımı.....	61
2.3.7.2. Yapı Tuğlaları Üretiminde Uçucu Külün Kullanımı.....	62
3. MATERYAL VE METOT.....	65
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	65
3.1.1. Kil.....	65
3.1.2. Borik Asit.....	65
3.1.3 Uçucu Kül.....	66
3.1.3.1 Kimyasal Özellikler.....	67
3.1.3.2 Mineralojik Özellikler.....	67
3.1.3.3 Morfolojik Özellikler.....	68
3.2 Metot.....	69
3.2.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi.....	72
3.2.1.1 Su Emme.....	72
3.2.1.2 Porozite.....	72
3.2.1.3 Bulk Yoğunluk.....	73
3.2.1.4 Birim Hacim Ağırlık.....	73
3.2.1.5 Görünür Yoğunluk.....	73
4. BULGULAR.....	74
4.1 Fiziksel Özellikler.....	74
4.2 Basınç Mukavemeti.....	78
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	80
6. KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TERMİK SANTRAL ATIĞI KÜLLERİN YAPI TUĞLASI ÜRETİMİNDE KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI.

Orhan AYDIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail DEMİR

Türkiyede faaliyet gösteren 15 termik santralde yaklaşık yılda 55 milyon ton linyit kömürü yakılmaktadır. Yakılan bu kömürden de yaklaşık yılda 13 milyon ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu uçucu kül bir atık olarak çevreye bırakılmaktadır. Doğal çevreye bırakılan uçucu kül çok geniş yerler kapladığı için çok geniş depolama alanları oluşturmakta ve çevre kirliliğine, görüntü kirliliğine yol açmaktadır. Günümüzde uçucu kül çimento üretiminde ve beton üretiminde agrega ikamesi olarak veya katkı olarak çok az kullanılabilir. Bu yüzden doğal çevreyi işgal eden uçucu külün geri dönüşümü için araştırmalar yapılmaktadır.

Yapılan deneylerde ana malzeme olarak uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmada uçucu külle birlikte bağlayıcı olarak tuğla kili kullanılırken, katkı malzemesi olarak da borik asit kullanılmıştır. Farklı karışım oranlarında deney örnekleri üretilerek bunlar üzerinde optimumizasyon çalışması yürütülmüştür. Tuğla örneklerinin; birim ağırlık, görünür yoğunluk, gözeneklilik, su emme ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın esas önemi termik santral atığı küllerin geri dönüşümü üzerine kurulmuştur. Ekonomik şartlarda uçucu külden hafif yapı blokları üretilmesi ile doğal

tarım alanlarının bozulması, görüntü kirliliği ve doğal çevreye verdiği muhtemel zararlar engellenmiş olacak ve bir atık olan uçucu külün geri dönüşümü sağlanmiş olacaktır.

2007, 89

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Kil, Tuğla, Borik Asit

ABSTRACT

Ms.Sc. Thesis

AN INVESTIGATION ON THE USE OF THERMAL POWER PLANT ASHES FOR THE BUILDING BRICK PRODUCTION

Orhan AYDIN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

Supervisor: Doç.Dr. İsmail DEMİR

Turkey's 15 thermic powerhouse about 55 million tone lignite coal burns in per year. In per year about 13 million tone volatile ash obtains from the burned coal. This exposed volatile ash is give up to natural ecology as churn. The fly ash is given up to natural ecology for very high fill and very high store area to constitute and bring about to ecology and vision pollution. In today's world; in production of volatile ash and concrete as extra addition or very little addition can be use. For this reason; volatile ash that occupy to natural ecology researchs are doing for return.

In experiments, volatile ash is used as main material. As brick clay is used as binder with fly ash, boric acid is used as additive material. In different mix ratio is produced model specimen and there is made optimization study on this experimental study. Technical properties of the samples were measured such as porosity, unit weight, apparent density, water absorption, compressive strength.

The main importance of this project is to recycling of thermal power plant ashes. As a result of this project, light weight construction blocks will be produced in economic

way, deterioration of the agricultural soils is prevented, environmental problems of fly ash land filling is minimized by recycling of the fly ash.

2007, 89

Key Words : Fly ash, Clay, Brick, Boric Acid

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans sürecimde her türlü konuda bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. İsmail DEMİR' e, tez çalışmam sürecinde yardım ve desteğini esirgemeyen Gökhan GÖRHAN ve Sedat ÇETİN' e, derslerime giren bütün hocalarıma, beni bugünlere getiren ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Orhan AYDIN

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>1 Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
λ	Isı iletkenlik değeri,
Sa	Ağırlıkça su emme,
P	Porozite,
Bd	Bulk yoğunluk,
Dh	Birim hacim ağırlık,
Gr.Y.	Görünür yoğunluk,
Fb	Basınç mukavemeti,

<u>2 Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
UK	Uçucu Kül,
STS	Seyitömer Termik Santrali,
TK	Türkiye Karayolları,
DSİ	Devlet Su İşleri,
ASTM	American Society Testing for Materials,
TS EN 197-1	Türk Standartları Enstitüsü, 197-1 numaralı standardı.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Çökelek (Precipitator) Uçucu Külde Kuartz ve Müllit Kristalliği 59
2.2	Boşluklu Uçucu Külün Kuartz ve Müllit Kristal Fazları ve Toplam Kristalliği..... 59
3.1	Seyitömer uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-ışınları Difraktogram 68
4.1	Borik asit katkılı örneklerin bulk yoğunluk değerleri. 75
4.2	Borik asit katkılı örneklerin görünür yoğunluk değerleri..... 75
4.3	Borik asit katkılı örneklerin su emme ve porozite değerleri. 76
4.4	Kil ilaveli örneklerin bulk yoğunluk değerleri 76
4.5	Kil ilaveli örneklerin görünür yoğunluk değerleri. 77
4.6	Kil ilaveli örneklerin su emme ve porozite değerleri. 78
4.7	Borik asit katkılı örneklerin basınç mukavemet değerleri..... 78
4.8	Kil ilaveli örneklerin basınç mukavemet değerleri 79

RESİMLER ÇİZİNİ

<u>Resim</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 El Presi	70
3.2 Etüv	71
3.3 Bilgisayar Destekli Basınç Presi	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Linyit Rezervleri.....	1
1.2 Türkiye Enerji Kaynaklarının Üretim ve Tüketimi.....	2
1.3 Termik Santraller	2
1.4 Türkiye’de bulunan Linyit Rezervleri.....	3
1.5 Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller	5
2.1 Killerin Sınıflandırılması ve Adlandırılması.....	16
2.2 Fabrika Tuğlaları Basınç Dayanımları	32
2.3 Borik Asit Üretiminde Kullanılan Bor Mineralleri	42
2.4 UK ile ilgili Türk Standartları	46
2.5 ASTM’ye Göre Uçucu Kül Sınıfları	47
2.6 Türk uçucu küllerinin yoğunluk dağılımı ve özgül yüzey alanları	50
2.7 Değişik Termik Santral Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonu.....	54
3.1 Çalışmada kullanılan tuğla kilinin kimyasal bileşimi	65
3.2 ETİ AŞ. Borik Asit Özellikleri.....	66
3.3 Seyitömer uçucu külünün kimyasal analiz sonuçları	67
3.4 STS Uçucu külünün lazer tane boyutu analizi	69
3.5 Hazırlanan Karışımların Hammadde Oranları	69
4.1 Karışımların Fiziksel Özellikleri.....	74

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretimi için termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömür, %80'inin 75 µm elekten geçebilecek inceliğe sahip olacak tarzda öğütülmekte ve havayla birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla, yakıt olarak püskürtülmektedir (Swamyled 1986, Cook 1983).

Türkiye'nin hemen her bölgesinde linyit yataklarına rastlanmaktadır. Türkiye de bulunan linyit rezervi Çizelge 1.1'de gösterilmiştir. Bilinen linyit yataklarının en önemlilerini Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Beypazarı ve Sivas havzaları oluşturmaktadır. Ülkenin toplam linyit rezervleri 8.4 milyar tondur. Yıllık linyit üretimi 60-65 milyon ton civarındadır. Türkiye linyit rezervleri bakımından dünyada yedinci ve üretim sıralamasında ise altıncı durumdadır (İnt. Kyn. 1).

Çizelge 1.1 Linyit Rezervleri (İnt. Kyn. 1).

Maden Cinsi	Dünya Rezervi	Türkiye Rezervi	Dünyadaki Payı (%)
Linyit	524 131	7 965	1,52

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

- Göreceli olarak iri taneli olup baca gazları ile taşınamayan ve kazan tabanına düşen “taban külü”,
- Siklon tipi ocaklarda yakılan kömürün suda soğutulularak uzaklaştırılması ile elde edilen “ham kül” ve,
- Çok ince taneli olup baca gazları ile taşınan “uçucu kül”.

Türkiye’de üretilen enerji miktarları ve tüketim payları Çizelge 1.2’de verildiği gibi olmaktadır.

Çizelge 1.2 Türkiye Enerji Kaynaklarının Üretim ve Tüketimi (1997) (1. Enerji Şurası Alt Komisyon Raporu (1998).

Birincil Enerji Kaynağı	Üretim	Pay (%)	Tüketim	Pay (%)
Taşkömürü (10 ³ ton)	2.513	-	15.056	-
Linyit (10 ³ ton)	57.387	48	59.474	30
Asfaltit (10 ³ ton)	29	-	29	-
Doğal Gaz (10 ³ m ³)	253	1	10.072	13
Petrol (10 ³ ton)	3.457	13	29.176	41
Hidrolik (G kw)	39.816	12	39.816	5
Odun (10 ³ ton)	18.374	20	18.374	8
Hayvan ve Bitki Artıkları (10 ³ ton)	6.574	5	6.574	2
Jeotermal (10 ³ TEP)	115	0	-	0
Diğer (10 ³ TEP)	-	1	-	1
Toplam (10 ³ TEP)	27.687	100	73.257	100

Türkiye de bulunan Termik santrallerin ürettiği elektrik enerjisi ve bu enerjiyi üretirken tükettiği kömür miktarları ise Çizelge 1.3’de verilmiştir.

Çizelge 1.3- Termik Santraller (VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Fosil Yakıtlardan Elektrik Üretimi Komisyonu Raporu, 2000).

Mevcut ve Planlanan Termik Santraller			Planlanan Termik Santraller		
Santral Adı	Gücü (MW)	Kömür Tüketimi (1000 t/yıl)	Santral Adı	Gücü (MW)	Kömür Tüketimi (1000 t/yıl)
Orhaneli	210	1.560	Çankırı-Orta	125	2.200
Yatağan	630	5.150	Çan	300	1.800
Elbistan A	1.360	17.000	Elbistan B	2.100	27.300
Kangal (1,2)	300	3.600	Konya-Ilgın	500	3.900
Tunçbilek (A+B)	429	2.720	Çayırhan (5,6)	600	4.680
Çayırhan (1,2)	300	1.950	Elbistan C	2.100	27.300
Yeniköy	420	3.860	Elbistan D	2.100	27.300
Kemerköy	630	3.860	Tunçbilek	300	1.875
Soma (A+B)	1.034	8.300	Soma C	600	3.350
Seyitömer	600	5.500	Elbistan A	680	8.400
Çayırhan (3+4)	320	2.300	Gölbaşı	150	1.200
			Tufanbeyli	330	3.600
			Keles	150	1.200
			Göynük	150	1.200
			Saray	210	1.700
			Silopi(Asfaltit)	100	312
			Kangal (3)	158	1.800
TOPLAM	6.233	55.800	TOPLAM	10.653	119.117
GENEL TOPLAM				16.886	174.917

Türkiye'nin hemen her bölgesinde linyit yataklarına rastlanmaktadır. Bilinen linyit yataklarının en önemlilerini; Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Beypazarı ve Sivas havzaları oluşturmaktadır. Türkiye'nin toplam linyit rezervleri 8,4 milyar tondur. Yıllık linyit üretimi 60-65 milyon ton civarındadır. Türkiye linyit rezervleri bakımından dünyada yedinci ve üretim sıralamasında ise altıncı durumdadır (DPT 2440, 1996).

Türkiye'de şu anda faaliyet gösteren termik santrallerin tükettiği kömür miktarı, 55,800 ton/yıl iken; planlanan santrallerin faaliyete geçmesiyle toplam kömür tüketimi yaklaşık olarak 174,917 ton/yıl olacağı tahmin edilmektedir (DPT 2440, 1996).

Türkiye'nin linyit rezervleri toplam olarak Çizelge 1.4'de gösterilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, Türkiye'nin toplam linyit rezervi 8 Milyar ton seviyesindedir. Buna karşılık işletilebilir rezerv miktarı ise, 3,9 Milyar ton düzeyinde bulunmaktadır.

Çizelge 1.4 Türkiye'de bulunan Linyit Rezervleri (ton) (İnt. Kyn. 2).

Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	Kaynak+ Potansiyel	Genel Toplam	İşlenebilir Rezerv
7.339.046	625.936	110.014	8.074.996	299.376	8.374.372	3.907.958

Endüstriyel gelişim her ülkede güç üretimi ve kullanımıyla doğrudan ilişkilidir. Bu yüzden endüstriyel gelişimde çevre kirliliğini beraberinde getirir. Termik santrallerde yakılan kömürden elde edilen uçucu külün etkili kullanımı ve konsantrasyonu için dünya çapında çalışmalar yürütülmektedir (Rao ve Rao 2006).

Endüstrinin talepleri ve yerli enerji sonuçlarına göre gelecek yıllarda görülmemiş ölçekte artacak olan katı kömür yakıtlarından büyük miktarlarda uçucu külün üretimi gerçekleşecektir (2010 yılının sonuna kadar 800×10^6 ton). Bununla beraber uçucu kül sadece çevre kirliliğini ortadan kaldırmak için kullanılmamalı ve değerli bir kaynak olarak da ele alınması gerekmektedir (Gonietal. 2000).

Ülkemizde artan enerji ihtiyacı kömür ile çalışan termik santrallerin yaygınlaşmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu santraller genellikle diğer alanlarda kullanım imkanı

bulunmayan düşük kalorili kömür yataklarının yakınına kurulmakta ve her biri önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu sorunları atmosfere bırakılan gazlardan kaynaklanan hava kirliliği ve atık sahalarında depolanan kömür yanma ürünlerinin yol açtığı toprak kirliliği olarak sıralamak mümkündür (Yazıcı 2005).

Çok geniş miktarlarda depolama alanlarında biriken atık malzeme; tarım alanları, su kaynakları ve doğal çevreye önemli zararlar vermektedir. Uçucu külün çok az miktarı çimento üretiminde ve beton üretiminde agreganın yerine yada katkı olarak kullanılabilir. Uçucu külün çevreye duyarlı ve ekonomik şartlarda kullanılması konusunda günümüzde araştırma çalışmaları yoğun biçimde yapılmaktadır (Demir 2005).

Türkiye’de elektrik enerjisi, kömüre dayalı termik santrallerden ve hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Son yıllarda bunlara üçüncü olarak doğalgaz santralleri de katılmıştır. Düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve elektro filtreler yardımı ile tutularak atmosfere çıkışı önlenen mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Endüstriyel bir atık olan ve uçabilen bu küllere, uçucu kül (UK) adı verilmektedir. Bu işlem esnasında daha iri taneli olan ve baca gazları ile birlikte atmosfere sürüklenemeyerek kazan tabanına düşen küllere de taban külü denilmektedir.

Türkiye’de halen sadece kömür ile çalışan 15 adet termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallere ait bilgiler, alfabetik olarak Çizelge 1.5’de verilmiştir.

Çizelge 1.5’de görüldüğü gibi; Çatalağzı, Çolakoğlu ve Sugözü-İskenderun termik santrali haricindeki bütün santraller, linyit kömürü ile çalışmaktadır. Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucunda da bacalardan 1993 yılı verilerine göre 13,5 milyon ton/yıl, 1998 yılı verilerine göre ise yaklaşık 13 milyon ton/yıl UK elde edilmektedir. Bu miktar, A.B.D.’de 45 milyon ton/yıl ve Hindistan’da 50 milyon ton/yıl dolayındadır (Aruntaş 2006).

Çizelge 1.5 Türkiye’deki kömürle çalışan termik santraller (Aruntaş 2006).

No	Santral Adı	Yakıt Cinsi	Kurulu Güç (MW)	Bulunduğu İl
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağzı	Taşkömürü	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Linyit	620	Ankara
6	Çolakoğlu 2	Taşkömürü	190	Kocaeli
7	Kangal	Linyit	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü-İskenderun	İthal Kömür	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

2020 yılına kadar termik santrallerde yıllık 50 milyon ton atık külün ortaya çıkması beklenmektedir (Tütünlü ve Atalay 2001).

Bununla birlikte bütün dünyada bir yılda üretilen toplam UK’ün ancak % 25’den daha azı değerlendirilmektedir. Almanya, Hollanda ve Belçika’da üretilen toplam UK’ün % 95’den fazlası, İngiltere’de ise yaklaşık % 50’si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda UK üretilen A.B.D. ve Çin’de sırasıyla yaklaşık % 32 ve % 40 oranında UK kullanıldığı görülmektedir.

1990 yılı verilerine göre Türkiye’de UK kullanım oranı, % 1’den daha azdır. Son yıllara ait yeni veriler ise elde edilememiştir.

UK’lerin bacalarda tutulması ile günümüzün çok önemli problemlerinden biri olan hava ve toprak dolayısıyla çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olmaktadır. Öte yandan UK’lerin biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. UK’lerin neden olduğu çevre problemleri arasında tozlanma, tarım ürünlerine zarar verme, yağmur ve rüzgar erozyonu, toprakta süzülme dolayısıyla toksik madde taşınması ve radyasyon sayılabilir. Bu çevre sorunları nedeniyle tarım ürünleri, su ve

havanın kalitesi, doğal hayat, bölgenin ekonomik durumu ve çevre güzelliği açısından istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaktadır (Aruntaş 2006).

Termik santrallerde kullanılan taş kömürlerinin % 10-15'i, linyit kömürlerinin ise % 20-40'ı küldür. Termik Santralin 1 kWh'lik enerji üretimi için yaklaşık 110 gr külün atık madde olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, 1000 MW'lık bir santralden bir yılda yaklaşık 650.000 ton uçucu kül ve taban külü elde edilmektedir. Bu mertebede bir kül üretiminin depolanabilmesi için yılda 60.000 m², santralin hizmet süresi olarak kabul edilen 30 yıllık süre için de ise 1.800.000 m² civarında bir araziye ihtiyaç doğmaktadır (Yılmaz vd. 2004).

Rüzgar erozyonu ve tozlanma, UK'lerin havuzlarda çökertilmesi veya ıslatılarak taşınması sayesinde önlenmektedir. Yukarıda sayılan sorunların çözümlenmesi, UK'lerin çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması ile mümkün görünmektedir.

UK'lerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir. Bundan başka UK; Kimya, seramik, cam, cam-seramik, döküm-metal sanayii, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında filler olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Aruntaş 2006).

Bu bilgiler ışığında; termik santrallerin artmasıyla birlikte uçucu kül miktarının da artacağına hiç şüphe yoktur. Bu sebepten dolayı termik santral atığı olan uçucu küllerin yapı sektöründe ve diğer alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılması büyük önem kazanmaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur.

Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külden kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik yani bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Antrasit kömüründen veya iyi yakılmayan diğer kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olur. Bu da çimento ve betonda su ihtiyacını artırır; puzolanik özelliği ve kaliteyi olumsuz etkiler. Uçucu kül genellikle çimentodan daha ince taneli olarak elde edilir. Dolayısıyla ilave öğütme gerektirmeden kullanılabilir. Gerekliğinde seperatörden geçirilerek inceliği daha da artırılır ve olumlu özellikleri daha etkin hale getirilir.

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de külden üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur.

Ayrıca, kullanıcı ürettiği yeni ürünlerde veya uygulamalarında çeşitli teknik avantajlar elde eder. Bütün bu olumlu hususlara rağmen, kullanılarak değerlendirilen uçucu kül miktarları santrallerde elde edilen miktarların küçük bir yüzdesini geçememekte olup, dünya ortalaması olarak %15 civarında rakamlar verilmektedir.

Çeşitli ülkelerde uçucu küllerin önemli miktarlarda kullanılmaya başlaması baraj inşaatları sırasında ve betonda hidrasyon ısını düşürmek amacı ile olmuştur. Örneğin, ABD’de ilk kullanım 1940’lı yıllarda önce Hoover daha sonra Hungry Horse barajlarındadır. Ülkemizde ise 1960’lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında uçucu kül kullanılmasına karar verilmiş ve Türk Standartları Enstitüsü, uçucu küller (TS 639, 1975) ve uçucu küllü çimento (TS 640, 1992) standartlarını hazırlayarak yayınlamıştır.

Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü'nün baraj uygulamaları dışında Karayolları Genel Müdürlüğü bazı köprü ve yol inşaatlarında deneme amacı ile uçucu kül kullanmıştır.

Geçen süre içinde ülkede uçucu kül kullanımı bu tür uygulamalarla sınırlı kalmış, kullanılan uçucu kül miktarları yılda elde edilenin %1'ine bile ulaşamamıştır.

Ancak son yıllarda, özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları çimento ve beton endüstrilerinde uçucu küle olan ilgiyi arttırmış bulunmaktadır (Türker vd. 2003).

Farklı elektrik santrallerinden alınan UK'lerle yapılan bir çalışmada, UK'lerin kimyasal, minerolojik yapıları ile hidrasyon ve puzolanik reaksiyonlarının oluşumu ve hızları bakımından birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir.

UK'lerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması bazı UK'lerin birden fazla sınıftan özelliklerine sahip olması veya bir sınıf oluşturabilecek kadar değişik karakteristiklere sahip olması nedeni ile uygun değildir.

Gelişen teknoloji ile beraber enerji kullanımı giderek artmaktadır. Bu nedenle endüstriyel atıklardan olan UK miktarı her geçen gün artmaktadır. Termik santrallerde büyük miktarlarda toplanan UK çevreye zarar verdiği gibi toplanması halinde depolama ve yok edilmesi ekonomik olmamaktadır (Topçu ve Canbaz 2001).

Diğer bir açıdan katkı olarak uçucu kül miktarı ve pişirme sıcaklığı artışıyla kızdırma küçülmesi artmakta, uçucu kül içeren tuğlaların su emmesi tuğla kilinden yapılmış tuğladan daha yüksek çıkmış ve tuğlaların birim hacim ağırlığı katkı olarak uçucu külün miktarının artmasıyla azalmış ve pişirme sıcaklığının artmasıyla arttığı gözlenmiştir (Tütünlü ve Atalay 2001).

Uçucu külün kullanımı, değerli element çıkarımında (tuğla, çimento, agrega) gibi birçok alanda on yıllardır çalışılmaktadır. Hala kullanım miktarı çok azdır. Yapı tuğlaları genellikle yanma ve kurumadan sonra farklı yollarda şekillendirilip, karıştırılan kum ve

kil karışımından yapılır. Tuğla için kil, gelişmiş uygun plastiklik ve aşırı büzülme yapmadan hızlı kuruma yeteneğinde başlamasının özelliklerini ve dayanımını isteğe göre yapmak zorundadır. Yapı tuğlaları yapımında uçucu külün kullanımı üzerine detaylı birkaç çalışma vardır.

Uçucu külün bünyede bulunmasına rağmen 240 kg/cm^2 'lik kalıp basıncında otoklavlama metodu sayesinde standart kaliteye uygun yapı tuğlası üretilebilmiştir. Uçucu kül katılan tuğlalardaki bazı problemler; yüksek su emme, alçak aşınma direnci, alçak ateş direnci ve yüksek porozite gibidir (Tütünlü ve Atalay 2001).

Uçucu kül termik santrallerde yakılan kömürden elde edilen en büyük atıklardan biri olması nedeniyle dünya üzerinde yıllık 3000 milyon ton kömürden 300-350 milyon ton kadar uçucu kül elde edilmektedir. Uçucu külün potansiyel tehlikeleri;

1. Yeraltı suyuna ve zeminin içerisine, uçucu külden olası zehirli maddelerin sızması,
2. Bitkilerde esas elementleri değiştirir.
3. Besin zinciri boyunca bu zehirli elementlerin geri dönüşümünü arttırır.
4. İnsanlarda solunum problemleri başlar (Mendki et al. 2001).

Uçucu kül kullanılarak üretilen tuğlalarda; yüksek oranda su emme, aşınmaya karşı düşük direnç, düşük yanma direnci ve yüksek porozite gibi çözülemeyen problemler mevcuttur (Tütünlü ve Atalay 2001).

Tuğla yapımında uçucu külün kullanılmasıyla sadece katı atık problemi çözülmeyecek aynı zamanda çevre kirliliği de önlenecektir. Tuğlaların ve blokların yapımında uçucu külün kullanılması çimento ve agregalardan yapılan beton tuğla ve blokların kullanımı azaltır. Ayrıca bu üretimlerde uçucu külün kullanılmasıyla birlikte kil tuğlalarının kullanımı azalmaktadır.

Kil tuğlası üretilirken, yaş tuğlalar 1000 dereceden daha fazla bir sıcaklıkta ısıtılmaları gerekmektedir. Uçucu küllü tuğla teknolojisinin gelişmesinden beri bu tür üretimler için

bu kadar yüksek sıcaklık gerekmemektedir böylelikle sera gazlarının üretimi azaltılmış ve küresel ısınmada engellenmiş olacaktır (Liu vd. 2005).

Tütünlü ve Atalay tarafından yapılan bir çalışmada; tuğla üretiminde uçucu kül eklenerek çalışma yapılmış ve bu çalışmada % 40 – 50 ve 60 oranında uçucu kül katılarak örnek numuneler üretilmiştir. Örnekler 30 MPa basınç altında 3,88 cm x 8,1 cm boyutlarında şekillendirilmiş ve en iyi basınç mukavemet değeri, 950 °C sıcaklıkta pişirilen örnekler üzerinde elde edilmiştir (Tütünlü ve Atalay 2001).

R.L. Day ve ark. (1986) Batı Kanada'dan elde ettikleri uçucu küle, taban külü ve NaOH, Na₂CO₃ yada Na₂SiO₃ eklenmesiyle, % 70 - 100 kompozisyonunda uçucu külü kullanarak tuğla örneklerinde en iyi rijitliği elde etmişlerdir. 900 ve 1000 °C'de 3 saat pişirildikten sonra katkısız uçucu kül bulunduran örneklerin ve % 10 Na₂SiO₃ katkılı örneklerin basınç mukavemetleri yaklaşık 9 Mpa olarak ölçülmüştür.

H. D. Deford ve G. P. 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. Uçucu küllü numuneler petekli olarak üretilmiş ve farklı sıcaklıklarında pişirilmiştir. Bu örneklerin bulk yoğunluğu 980 kg/m³, mukavemetleri ise 55 MPa olarak elde edilmiştir.

N. V. Pak ve L.M. Artemova (1985) duvar tuğlası olarak uçucu küllü delikli tuğla çalışması yapmış ve ürettikleri tuğlalarda % 85 uçucu kül bağlayıcı olarak da % 15 demir alaşım atığı ve % 14 – 16 karışım suyu kullanılmış ve 30 MPa basınç altında preslenerek sonuçta 16 saat süresince 1000 °C'de üretilen tuğlalar pişirilmiştir. Örneklerin basınç mukavemeti 16,4 MPa, bulk yoğunlukları 1,4 gr/cm³, su emme oranı % 20,2 olarak bulunmuştur.

J. T. Song ve S. D. Yun (1996), % 0 – 100'e kadar değişen oranlarda uçucu külü, tuğla üretiminde kullanmış ve % 20 – 60'a kadar değişen oranlarda uçucu külden yapılmış olan örnekler 1250 °C'de pişirilmiştir ve eğilme dayanımları 19-20 MPa olarak belirlenmiştir.

A. H. J. Wagener (1981) yaptığı bir çalışmada ise tuğla üretiminde katkısız olarak uçucu külü kullanmış ve bu proseste karışıma % 1 oranında bağlayıcı olarak dekstrin eklemiştir. Çalışmanın sonuçlarının kabul edilebilir sonuçlar verdiğini de ayrıca belirtmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada ise, uçucu kül kullanılan örneklerin 950 °C'de pişirilmesiyle birlikte en iyi basınç mukavemeti (56,3 MPa) ve eğilme dayanımı (13,1 MPa) değerleri elde edilmiştir. Ayrıca her tip örnek için en uygun sıcaklığın 900-950 °C olduğu ve normal tuğla örnekleriyle kıyaslandığında; kızdırma kaybı % 4'den, büzülmenin ise % 3'den daha az olduğu belirtilmiştir (Pimraksa vd. 2001).

2.1. Kil

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

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

Artık günümüzde çok farklı killerden beton kalitesinde çok değişik tuğlalar üretilmektedir. Üstelik dekoratif amaçlı üretilen birçok tuğla da mevcuttur. Özellikle

İngiltere'nin bu konuda çok eskilere dayanan tecrübesi vardır. Ancak yine de killerin tam anlamıyla anlaşıldığını söyleyemeyiz.(Müdüroğlu 1999).

Killer, çok ince taneli (-0,02 mm) sedimanter oluşumlar olup, su ile muamele edildiklerinde plastik özellik kazanan, Al_2O_3 içeriği yüksek olan minerallerdir. Bu mineraller, genellikle feldspatların veya volkanik kayaçların belirli şartlar altında ayrışması sonucu meydana gelmişlerdir (Kayacı ve Kayacı 2006).

Killer, su ile muamele edildiklerinde şişerek plastik özellik kazanırlar ve kolayca işlenebilir hale gelirler. Ayrıca, kuruma ve pişme sonucu belirli oranlarda küçülüp sertleşirler. Bu özellikleri nedeniyle çoğunlukla seramik yapımında kullanılırlar.

Killerde plastisite kil tanelerinin boyutuna, katyon değişim kapasitesine ve ortamın pH'sına göre değişen kenar-yüzey yüklerine bağlıdır. Plastik killerin tane buyutu 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 (Uz vd. 2006).

Kil tabiatta bol miktarda bulunan minerallerdendir. Fakat saf kil bulmak oldukça zordur. Kilin içerisinde en çok kalker, silis, mika, demir oksit bulunur. Genellikle 0,002 mm'den daha küçük taneli malzemeye kil adı verilmektedir.

Kil sarımtırak, kırmızımtırak, esmer gibi renklerde bulunur. Bu özelliğini bileşiminde bulunan yanıcı maddeler verir. Kilin yapısı itibarıyla su çekme özelliği vardır. Bu nedenle kil daima nemlidir.

Kimyasal olarak killer alüminosilikattır $[Al_4Si_4O_{10}(OH)_8]$ ve negatif yük taşırlar. (İnt. Kyn. 3). Kili meydana getiren maddeler ise sulu alüminyum silikatlardır. $(mAl_2O_3.nSiO_2.pH_2O)$ genel kimyasal bileşim formülü ile ifade edilen kil, çok saf

olduğu zaman hidrate alümin silikat (kaolinit) adını alır. Kaolinit'in kimyasal formülü, $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ dur (İnt. Kyn. 4).

Kil deyimi, bir kayaç terimi olarak, sedimenter 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.

Genel olarak kil, muayyen bir kristal bünyesine sahip, tabii, toprağımsı, ince taneli, muayyen miktarda su katıldığı zaman plâstikliği artan bir malzemedir. Kil mineralleri esas itibariyle alüminyum hidrosilikatlarıdır. Bazı minerallerde alüminyumun yerini tamamen veya kısmen Fe veya Mg alır. Alkali mineraller veya alkali metaller kil minerallerinin esas bileşenleri olarak bulunurlar.

Bazı killer tek bir kil mineralinden ibarettir. Fakat çoğu birkaç mineralin karışımıdır. Killer içinde kil minerallerine ilâveten kuars, kalsit, feldspat ve pirit gibi mineraller “kil olmayan malzeme” olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri de organik maddeleri ve suda çözünebilen tuzları ihtiva ederler (Akıncı 2006).

2.1.1. Bazı Kil Minerallerinin Özellikleri

Allofan-amorf, çok değişebilir bileşimde alümino silikat jeli hidratıdır. Ekseriya halloyisit ile beraber bulunur ve camsı görünüştedir. Saf malzeme temiz ve renksiz olmakla beraber mineral; mavi, soluk yeşil, kahverengi veya sarı olabilir. X ışınları bilgilerine göre tamamen amorf değildir, camdan daha düzenli bir yapısı vardır.

Kaolin grubu mineralleri sulu alüminyum silikatlarıdır. Yaklaşık olarak $2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ şeklinde ifade edilebilir. Kaolinit en çok rastlanan kaolin mineralidir. Dikit ve nakrit bazı hidrotermal çökelti ler hariç, nadiren bulunur. Halloyisit in kimyasal bileşimi $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ şeklindedir.

Halloysit 60 °C de suyunu kaybetmekle metahalloyisite dönüşür. Kaolinit 1000 °C civarında ısıtılırsa, mullit kristalleri teşekkül etmektedir. Montmorillonit, teorik olarak $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ dur. Fakat teorik formülden, şebeke yapısına giren ilâvelerle değişebilir. Alüminyum, çinko ile yer değiştirdiği zaman sosonit, demir ile yer değiştirdiği zaman nontronit, Mg ile yer değiştirdiği zaman hektorit meydana gelir. Hektorit aynı zamanda lityum da ihtiva eder.

Vermikülit, eş boyutlu, genişleyebilen bir mineraldir. Montmorillonitten, onun kadar genişlememesi ve tabakaların istifinde daha az düzenlilik görülmesi bakımından ayrılır.

İllit, mikaya benzer kil minerallerine verilen genel bir isimdir. Potasyum iyonlarının birim tabakaları arasında köprü vazifesi görmesi ve bunları bağlamalarından dolayı genişlemezler. Kloritlerin yapısını münavebeli mika ve brusit tabakaları sağlar. Sepiolit bir sulu magnezyum silikatıdır. Yapı bakımından atapuljitten ayrılır.

Poligorsikit, sepiolitteki Mg iyonlarının kısmen Al iyonlarıyla yer değiştirmesi sonucunda teşekkül eden ve sepiolit ile atapuljit arasındaki mineral grubuna verilen isimdir (Akıncı 2006).

2.1.2 Killerin Sınıflandırılması

2.1.2.1 Buldukları Yere ve Yataklarına Göre

Killer buldukları ocağın durumuna göre primer ve sekonder kil diye ikiye ayrılır. Primer killer yer değiştirmemiş yani oluşumunu ana kayanın bulunduğu yerde tamamlamış ve orada kalmış olan killerdir. Kaolinler böyle bir kil çeşididir. Bu killer, asitik kayalar (granit, riyolit kuvars diyoritler, vs.) içindeki çoğunlukla feldispatların muskovitlerin ve diğer alüminyumca zengin silikatların yüzeysel ve düşük sıcaklıktaki hidrotermal alterasyonları sonucu oluşan ilksel kalıntı çökelleridir.

Sekonder killer ise yağmur suları ile çözünüp, ilk oluştukları yerden sel ve akarsularla sürüklenip başka bir yerde biriken killerdir. Bu sürüklenme esnasında, sekonder killer

ilk saf ve temiz durumlarını kaybederek özelliklerini değiştirirler. Araya kil minerallerinden başka bünyesinde kuvars, feldispat, mika gibi plastik özellik göstermeyen elementler de girer. Fe bileşimleri, aragonit, dolomit, jips, rutil, mangan oksitleri ve vivianit bulunur.

2.1.2.2 Ateşe Dayanıklılıklarına Göre

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

Ateşe dayanıklı killer; yüksek ısıda katı durumlarını korurlar. Ancak 1580 °C üstünde yumuşayıp erirler. Özellikle bu killer bünyelerinde diaspor, böhmit ve gipsit gibi mineralleri içerirler.

Eriyen killer; 1550 °C' nin altında yumuşar ve erirler. Bu killer eritken maddeler ismini verebileceğimiz oksitler, feldispatlar, mineral kalıntıları ince dağılmış kuvars ve CaCO₃' ca zengindirler.

2.1.2.3 Adi Kil Cinsleri

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

İçinde hiç Fe₂O₃ bulunmayan ve yüksek Al₂O₃ ihtiva eden killer: Bu gruba bütün iyi cins kaolinler girer. Porselen çanak, çömlek ve ince pekişmiş çininin ana hammaddesini teşkil eder.

Az Fe₂O₃, yüksek Al₂O₃ ihtiva eden killer: İyi cins süs eşyası, şamot ve adi pekişmiş çini killeri bu grupta toplanır.

Al_2O_3 oranı düşük, Fe_2O_3 oldukça yüksek killer: Kırmızı pişen çanak, çömlek ve inşaat tuğlası killeri bu gruptandır.

Al_2O_3 oranı düşük, Fe_2O_3 pek çok, ayrıca içinde $CaCO_3$ bulunan killer: Bu grupta da çok kırmızı hatta siyaha yakın pişen ve çok düşük sıcaklıkta eriyebilen kil cinsleri toplanır. Bunlar adi tuğla halinde ve çanak çömlek sırlamasında kullanılır.

2.1.2.4 Özel Kil Cinsleri

Çizelge 2.1' de killerin sınıflandırılması ve adlandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.1 Killerin Sınıflandırılması ve Adlandırılması

Jeolojik adlarına göre	Endüstriyel Adlarına	Ticari Adlarına
Kil	-	-
Kiltaşı	-	-
Kumlu Kil	Beyaz Pişen Kil	Seramik Kili
Plastik Kil	Bağlayıcı Kil	Bağlayıcı Kil
Kaolin	Kaolin	Seramik,Kağıt,Sanayii Kaolini
Halloysit	-	Sanayii Kaolinleri
Ateş-Refr. Kil	Refrakter Kili	Halloysit Refr.Kil
Ateş Kili	A ₁ -Şamot Kili	Şamot Kili
Boksitli Kil	A ₂ -Şamot Kili	Şamot Kili
Şiferton	A ₃ -Şamot Kili	-
Bentonit	Sondaj Kili	Bentonit

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

Plastik bağlayıcı kil; ülkemizde, ABD'de "Ball Clay" olarak adlandırılan yüksek plastik özelliğe ve kuru mukavemete sahip killerdir. Bunların pişme ve camlaşma sıcaklığının derecesi oldukça yüksektir. Bu killerin ana bileşeni kaolinit grubu mineraller (%70 kadar) olup tali olarak illit, smektit, klorit, kuvars ve küçük miktarlarda karbonatlı madde içerirler. Piştiğinde ise açık renkli olan killer, doğada organik madde içermeleri nedeniyle genellikle boz, gri, kahverengi, krem, vs. renkte bulunurlar. Bu organik madde içeriği ince taneli kaolinit ve diğer kil mineralleri ile birlikte kile yüksek derecede plastiklik kazandırır. Ayrıca bu killer az bir miktara sahiptir ve oldukça da refrakterdir. Genellikle kömür yatakları ile birlikte bulunurlar.

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

Refrakter malzemeler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

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

Genel olarak refrakter malzemenin kullanım amaçları ise şunlardır;

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

3. Aşınmaya ve darbelere dayanım.

Şamot killeri; kalsine edilerek suyu uzaklaştırılmış, kuruma ve pişme küçülmesi azalmış ve alüminyum oksit içeriği yükseltilmiş, az plastik veya plastik olmayan killere Avrupa'da ve ülkemizde şamot, ABD. 'de kalsine kil denmiştir.

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

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

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

Lekeci kili; bu terimin herhangi kimyasal ve mineral bileşimini ifade eden anlamı yoktur. Lekeci killerin bir kısmı bentonitlerdir ve onlar gibi smektit grubu kil mineralleriyle illit ve kaolinit grubu kil minerallerinden ve impuritelere meydana gelir. Bentonit olmayan lekeci killeri attapulgit ve sepiolit grubu kil minerallerinden meydana gelir.

Tuğla ve kiremit killeri; kil, kıltaşı, çamurtaşı, killi şist, şistli kil, arduvaz, meta kıltaşı, killi topraklar, lösler, buzul killeri gibi çeşitli adlarla bilinen bu gibi taş ve topraklardan

tuğla kiremit ve çimento üretiminde hammadde olarak faydalanılmaktadır. Tuğla-kiremit killlerinde, tane boyutu 3 mm' den büyük tanelerin % 1 ' den fazla olması istenmez. Saf killerin kuruma ve pişme küçülmeleri çok olduğundan bu tip malzemenin %60 kadar ince kum içermesi istenirken % 25-30'dan fazla CaCO₃ istenmez. Ayrıca %5 civarında demir bileşikleri bulunmalıdır. Çünkü ürüne güzel kırmızı renklilik kazandırır, iyi pişmiş ve dayanıklı malzeme görünümü verir, hem de pişmeyi kolaylaştırır. Tuğla kiremit killlerinde ve topraklarında suda çözünen tuzlar, jips, kükürt pirit ve mika gibi unsurların bulunması istenmez. Teknolojik olarak da pişmiş ürünün belli bir standart boyuta, su emme yüzdesine ve basınç dayanımına sahip olması istenir.

2.1.3 Killerin Fiziksel Özellikleri

2.1.3.1 Plastiklik

Killerin plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerinin ince levhacıklar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisinde levhacıklar üst üste birikmiş paketler halinde bulunur. Su ile çamur yapıldığında su levhacıklar arasına girer. Çamur bir taraftan basıldığında levhacıklar birbirini üzerinde kayarak verilen şekli alır. İki cam levha ısıtıldığında nasıl bir-biri üzerinde kayarsa killerde öyle kayar. Islak olan iki cam levhayı birbirinden ayırmak nasıl güç ise kil levhaları da aynen böyle olup sağlamlık kazanırlar. Killerin plastikliği killeri işlenebilir bir çamur haline getirmek için verilmesi gereken su miktarı ile tayin edilir. Kil çamur oluncaya kadar ne kadar su emerse o kadar plastiktir. Killerin plastisite suyu %20-40 arasında değişir. Diğer taraftan plastiklik, irili ufaklı taneciklerin yanyana olmasına da bağlıdır. Bir kilin yeteri derecede plastik olabilmesi için taneciklerin %20'sinin 1 µ' dan küçük olması lazımdır. Bütün taneciklerin 1 µ' dan küçük olması gerekmez. Nitekim uzun müddet öğütülmüş killerin plastikliği azalır (Yılmaz 1994).

2.1.3.2 Yağlılık ve Yağsızlık

Plastikliği çok iyi olan killere yağlı kil denir. Bu kil parçalarının yüzeyleri hafifçe parlak, yağlı gibi olur. Yağlı killerin yoğrulma suyu yüksek olur. Fazla su alırlar ve güç

açılırlar. Böyle killeri su içinde kendi halinde şişip açılmaya terketmekten ziyade, mekanik bir şekilde su içinde parçalanmaya uğratmak daha kolay olur. Yağlı killerin bağlama kabiliyeti yüksek olur ve plastik olmayan madde taneciklerini sıkıca tutar. Şüphesiz yağlılığın yanında böyle bir kilin pişme rengi, ateşe dayanıklılığı porozite durumu da arzu edilen seviyede olursa kullanılması mümkün olur.

Yağsız killer ise, yağlı killere nazaran tamamen aksi özellikler taşırlar. Örneğin, bir kil parçasının yüzeyi parlak ve kaygan olmayıp pürüklü bir görünüştedir. Suda çabuk açılıp dağılırlar. Az su kaldırırlar ve özsüzdürler. Bağlama özelliği zayıftır. Çünkü birçok kum taneciğini bağlamıştır. Yüksek ısılarda ancak sinterleşmeyle yaklaşılırlar. Kırılganlığa karşı dayanıklılık kazanırlar (Kaytaz 1997)

2.1.3.3 Kuruma ve Küçülme

Kil ürünleri fırından çıkartıldıktan sonra atmosferden nem almaya başlar ve böylece de genişleme süreci ortaya çıkar. Bu etki azalan oranda denge haline ulaşınca kadar birkaç yılı aşabilecek şekilde devam edebilir. Bu sürede toplam genişleme %0.1 veya daha fazla miktara ulaşabilir. Bu uzun süreli genişlemenin büyük bir kısmı fırından çıktuktan sonraki ilk on gün içerisinde olduğundan, tuğlaları veya diğer kil ürünlerini bu süre geçinceye kadar kullanmamak gerekir. Bu genişleme geriye dönüşü olmayan bir olay olup, herhangi bir zamanda nem hareketinden dolayı olan genişlemeden ayrıdır.

Killer, kuruma ve fırında kızdırma esnasında küçülürler. Bunlara seramikte kuruma ve pişme küçülmesi, her iki küçülmeye birden toplu küçülme denir ve % olarak ifade edilir. Kuruma küçülmesi fiziksel, pişme küçülmesi kimyasal bir olaydır.

Kuruma, önce kil kristallerinin etrafını sarmış olan çevre suyunun, sonra kil bünyesindeki gözenek ve higroskopik suyun uçması sonucu meydana gelir. Çevre suyunun uçmaya başlamasıyla kuru küçülme olayı da başlamış olur. Ancak bu suyun buharlaşması homojen şekilde olmalıdır, aksi halde mamul maddelerin içinde bazı yerler kurur, bazı yerler ıslak kalır. Bu sırada iç gerilmeler meydana gelir. İç gerilmeler kil mamulün mukavemetini aştığı anda çatlama izlenir. Bu nedenle seramikte

kurutmanın büyük önemi vardır. Kurutmanın devamı halinde kuru küçülme olmaz. Çünkü çevre suyu buharlaştıktan sonra küçülme durur ve kristaller birbirine dayanır. Ancak bu birbirine dayanmış kristaller arasındaki boşluklarda kalan bünye suyu 110--120 °C' da büneyi tamamen terk eder.

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

Kuruma küçülmesi, çevre suyuna bağlıdır. Fazla su kaldıran ince taneli killer, fazla küçülür. Pişme küçülmesi ise kil mineralinin cinsine, mineral yapısına bağlıdır (Özgen 1997).

2.1.3.4 Kuru Mukavemet

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

Kuru mukavemette etkili olan faktörler:

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

şekillendirilen (örneğin presle basılan tablet halindeki) killere oranla daha büyük bir kuru direnç gösterir (Seramik laboratuvarı Deney Föyü).

2.1.3.5 Pişme Rengi ve Ateş Kaybı

Silis kendi başına çok aşırı yüksek sıcaklık dışında erimez, fakat alümin ve kireç veya demiroksit 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 (ateşe dayanıklı) 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, daha az olmaktadır.

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 olarak etkisi daha önce vurgulanmıştı. Bununla beraber kireç toprak olarak bulunmamalıdır. Çünkü pişirme sırasında kirece dönüştüğünde nihai üründe hacim değişmezliğini bozabilir ve yüzeyde kireç kabarcıklarına yol açabilir.

Killer doğada beyaz, sarı, gri, kırmızı, kahverengi ve siyahımsı renklerde olabilir. Ancak bu tabii renkler, killerin fırında pişmesi esnasında tamamen değişir. Örneğin kahverengi, gri hatta siyah renkli bir kil piştikten sonra beyaz olabilir. Çünkü bu koyuluk içerdiği kömür ve organik maddelerden ileri gelir. Killere pişme sırasında renk veren husus, içerdikleri yabancı maddelerdir. Bu yabancı maddelerin başında demir bileşikleridir. Kilde üç değerlikli demir bileşikleridir varsa miktarına göre sarı kırmızı veya koyu kırmızı renk verir. İki değerlikli demir bileşikleridir gri, koyu gri ve siyah renk verir. Fırın atmosferinin oksidan veya redüktan oluşuna göre de pişme renkleri değişebilir. Mesela, demir bileşiklerinden ileri gelen renklilik oksidan pişme atmosferinde koyu sarı ise, redüktan atmosferde beyaza yakın açık bir renkte pişer. Manganez ve titan bileşiklerinin varlığı demir renklendirmesini daha da artırır. Özellikle demir yanında titan bulunmasıyla, demir ve titanın birlikte oluşturacakları çift oksit $Fe_2O_3-TiO_2$ (Spinel) rengi, demir oksidin tek başına vereceği renkten çok daha koyudur. Ayrıca killerin pişme sırasında sinterleşmesi arttıkça renk şiddeti de artar.

Ateş kaybının normalin üzerinde bulunması da killeri karbonat, organik madde ve montmorillonit içermesine bağlıdır (Tolon 1973, Tanışan 1986).

2.1.4 Tuğla Yapımında Hammadde Olarak Kil

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 (alüminyum oksit) 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.

2.1.5 Kil Tuğlalarının Üretimi

Kil tuğlalar ham ve plastik halde iken kalıplanarak şekillendirilir. Bunlar gerekirse ilk kurutma süresinden sonra pişirilir. Pişirme süresince tuğlanın nihai şeklinde

katılaşmasına sebep olan bazı fiziksel ve kimyasal değişiklikler olur. Kurutma ve pişirme süresince tuğlada önemli derecede büzölme olur. İstenilen nihai ölçüleri elde etmek için bu büzölmeler kalıplama sırasında dikkate alınmalıdır. Ham kilin hazırlanıp işlenmesindeki işlem sırası bileşimine ve katılığına göre değişmektedir. Aşağıda verilen sıralamadaki safhalar, verilen sıralama kesin olmasa da uygulanabilir:

1. Kilin çıkarılması.
2. Havalandırma,
3. Yıkama ve eleme,
4. Öğütme,
5. Harmanlama,
6. Su verme,
7. Kalıplama veya presleme,
8. Kurutma,
9. Pişirme.

Mekanik yapılan tuğlaların telle kesilen veya preslenen tipleri vardır. Tel kesmeli tuğlalar oldukça yumuşak plastik killerden yapılır, bu killerden yapılan blok kalıpların boyutları tel ile kesildiğinde üç veya daha fazla kurumaya hazır tuğla birimleri için yeterlidir. Kalıplamaya bir alternatif, tuğla veya blok kesitinde sürekli uzunluktaki kilin, tuğlanın veya blok birimlerinin ölçülerine göre tel ile kesilmesidir. Tel kesmeli tuğlalarda genellikle yatak yüzeyindeki harç çukurları yoktur, üzerlerinde kalan tel izleriyle ayırt edilirler. Bazı tel kesimli tuğlalar kalıplama sırasında veya kısmi kurumadan bir süre sonra küçük bir harç çukuru oluşturmak için tekrar preslenirler. Bu fazladan sıkıştırma tuğlayı katılaştırır ve dayanıklılığının artmasını sağlar. Preslenmiş tuğlalar katı kil ve şeylden yapılırlar, yüksek basınçta kalıplanırlar. Bu işlem iki veya daha fazla safhada gerçekleşir; birinci saha dikdörtgen kesitli düzgün yüzeyli tuğla üretilir, diğer safhalarda ilave sıkıştırmadan dolayı bir veya iki harç çukuru oluşur.

Pişmemiş tuğlanın başlangıçta önemli ölçüde su içermesi durumunda pişirme işleminden önce bir kurutma safhası gelir. Bundaki anaç pişirme safhasındaki biçim

değişikliği ve çatlamayı azaltmaktır. Kurutma normal atmosferik veya kontrollü sıcaklık ve nem şartlarında suyun buharlaştırılmasıdır.

Piştirme işlemi harmanlarda veya fırınlarda yapılır. Harmanlarda pişirmede yakıt genellikle kok tozu şeklinde olup, ya kalıplamadan önce kile ilave edilir veya harmanı oluşturan tuğla katmanları arasına serilir. Harmanda piştirme özel ateşleme deliklerinden başlatılır ve birkaç hafta veya daha fazla devam eder. Harman boyunca farklı piştirme derecesinden dolayı tuğlaların kalitesi farklı olur ve bazıları az, bazıları da çok pişer. Bu ve diğer sebeplerden dolayı harmanda piştirme birkaç küçük çalışma dışında çok büyük bir oranda yerini fırında pişirmeye bırakmıştır.

Fırında piştirme için özel inşa edilmiş odalarda veya tünellerde sıcaklığın kontrolü yapılarak piştirme işlemi sağlanacak şekilde tuğlalar yığılır ve pişirilir. Kullanılan yakıt genellikle püskürtme kömür tozu, petrol veya gaz olup bunlar sağlanan özel bir giriş ile fırının içine gönderilir.

Bloklar duvar örgüsü için tuğlalardan daha büyük birimleri oluştururlar ve genellikle yerine dökme betonarmeyle birlikte dolgu olarak döşeme ve çatı yapımında kullanılırlar.

Boyutlarının büyüklüğü duvar veya bölmelerin standart tuğlalara oranla daha hızlı örülmesini sağlar. Buna ilave olarak da harç kullanımını azaltır. Bunlar standart tuğlalar ile bağlantı yapabilecek şekilde boyutlandırılır ve normal kür uygulanmış beton ürünleri ile karşılaştırıldığında çok az nem hareketi gözlenir. Kil blokları normalde delikli (küçük delikler) veya boşluklu (büyük delikler) olarak yapılır ve bunlar boşluklu kil bloklar olarak bilinir. Bu boşluklar kuruma ve pişirmeden dolayı büyük kil kütlelerindeki düzensiz büzölmeler ile ortaya çıkan aşırı biçim değişikliğini önler.

Boşluklu blokların preslenmesi ve boylarının tel ile kesilmesi değişmez olmakla beraber kil blokların ham maddeleri ve üretimi temel olarak kil tuğlaları ile aynıdır. Preslenme sırasında sıvanın kenetlenmesi için bir veya daha fazla yüzey çentiklenir. Preslenme, iyi bir karışımı, balçıktan arındırılmış ve tercihen hava boşluklarının azalması için

vakumlanmış plastik kili gerektirir. Pişirme işlemi ya bölmelerde veya tünel fırınlarda yapılır.

2.1.6 Kil Tuğlalar ve Bloklar İçin BS Şartnameleri

Kil tuğlalar ve bloklar (katı, delikli, boşluklu)dan numune alınması ve deneyleri ile ilgili temel şartlar “Kil Tuğlalar ve Bloklar Şartnamesi” isimli BS 3921’de verilmiştir. Burada duvar için tuğla ve blokların normal, kaplanmış ve teknik çeşitlerinin tarifleri açıklanmakta ve aynı şekilde tuğlanın üç kalitesi –özel kalite (açık hava şartlarına dayanıklı), normal kalite (dayanıklı yapı yöntemleri kullanılarak korunduğunda, dış ortamda dayanıklı) ve iç nitelikli (sadece iç mekan kullanımı için) açıklanmıştır. Bu kategoriler uygulanan bazı BS deneylerinin sınır değerleri ile açıkça tarif edilmiştir. Örneğin bütün birimlerin boyutları ve minimum dayanımları için özel şartlar vardır ve bütün blokların açılarının dikliği, kamburluk ve burulma deneylerinden geçmesi gerekir. Ayrıca teknik tuğlalar için su emmede maksimum bir limit ve bütün kaplam ve normal tuğlalar için ufalanma etkisinde maksimum bir limit vardır. Çözünebilir tuz içeriği sınırı sadece kaplama tuğlaları ile normal tuğlalar ve özel kalitedeki bloklar için verilmiştir.

Bloklar ve tuğlalar nominal boyutlara göre tasarlanır; gerçek boyutları harç bağlantısının kalınlığından (10 mm olarak alınır) dolayı daha azdır.

Tuğlalar göz önüne alındığında boy genişlik ve yükseklik 24 birimin toplamından belirlenir. Buna karşılık bloklar teker teker ölçülür. Bloklarda ilave olarak açılarının dikliği, kamburlaşma ve burulma için deneyler yapılır.

Birimler ıslak olarak basınç deney aletinde test edilir. Tuğlalar ile deney 3 mm’lik kontrplak tabakaları arasında yapılır. Örgüde yukarı gelerek harç çukurları olan tuğlalarda, bunlar deneyden önce 28-42 N/mm² veya 4000 ve 6000 lbf/inç² arasında olacak şekilde katılaştıran çimento harcı ile doldurulur.

Bloklar deneyde satha gelen yüzeyleri çimento harcı tabakası ile kaplanır, yapılan işte bölme bağlantısı olarak kullanarak (veya tuğlalarda) buna gerek yoktur. Bunlar kalınlığı

10 mm olan paralel iki harç dilimine benzer şekilde test edilir. Duvar ve bölme blokları normal yatak yüzlerine dik yükleme ile deneye tabi tutulur. Ezilme dayanımının hesabı için gerekli alan, yatak yüzeylerinden birinin bütün alanıdır (ikisinden küçük olanı alınır). Yapısal döşeme ve tavan bloklarında boşlukların olduğu uçlara dik yönde kuvvet uygulanarak deney yapılır. Ezilme dayanımının hesaplanmasında gerekli alan boşluklu yüzey alanından boşlukların çıkarılması sonucu bulunan net alandır.

Fırında kurutulmuş numunelerin su emmelerinin tayini 5 saat kaynatılarak (veya vakumlayarak) standart deneylerle yapılır. Sadece kontrol amaçlı işler için 24 saat süreyle soğuk suya daldırılma deneyi de vardır. BS sınır değerleri teknik tuğlalar için belirlenmiştir.

Su içerisinde çözünebilen tuzların toplam miktarını ve bileşimlerini tayin etmek için 10 tane tuğla veya bloktan alınan tozun kimyasal analizi yapılır.

Numune yapılan çalışmaya açık olacak, yüzey yukarı gelecek ve üstü açık olacak şekilde sıkı geçmeli plastik bir torbaya konur. Numune damıtılmış su ile doyurulur ve kuruması için sıcak hava dolaşımına odaya bırakılır. Damıtık su ile tekrar aynı uygulama yapılır. Tuğlada ufalanma kontrolü kuruduktan sonra yapılır ve sonuç, hiç yok, biraz, orta, oldukça veya önemli diye etkilenen alanın genişliğine ve şiddetine göre sınıflandırılır.

2.1.7 Tuğla Yapım Aşamaları

Tuğla yapımını 3 aşama olarak anlatabiliriz.

1. Hazırlama ve kalıplama,
2. kurutma,
3. Pişirme.

Tuğla üretilirken üretim şekli bölgelere göre değişim gösterir. İklimi don ve yağmur etkili olan bölgelerde tuğla kurutulması fırınlarda olur. Sıcak iklimli bölgelerde açık havada olur.

Sırasıyla tuğla üretim aşamalarına bir bakalım. İlk aşama olarak hazırlanışı ve kalıp şekline gelmesi şöyle olur:

Toprak Kologran denilen makinenin yakınına yığılır ve daha sonra belli oranlarda kologranın içine toprak katılır. Kologran denilen makinenin tabanında üçerli delikler vardır ve üstünde bir silindir gezer. Silindir toprağı ve içinde bulunan yabancı maddeleri ufalamaya yarar. Kologranda ufalanan toprak ikinci kologran makinesine geçer. Ufalaman toprak yeniden ufalanmaya başlar, bu esnada kologranın üst tarafından, hafifçe su akıtılır ve daha sonra foos denilen makineye geçer. Foos makinesi de toprağı iyice karıştırıp kalıp makinesine geçer. Kalıp makinesi içi ise 3 bölüme ayrılır.

1. Toprağın yığıldığı yer,
2. Toprağın içindeki havanın vakumlandığı yer,
3. Kalıp takılan ağız kısmı. Bu ağız kısmına hangi şekilde tuğla istiyorsak kalıbı takarız.

Kalıp makinesine giren toprak sıkıştırılarak -toprağın havası alan kısma gelir- ve burada havası alınır. Eğer toprağın içinde hava alınmaz ise kalıptan çıkan toprak elimizin değmesi ile dağılır ve bir işe yaramaz. Havası alınan toprak kalıbın takılı olduğu ağızdan istediğimiz şekilde çıkar ve bundan sonra ağızın hemen yanında çelik tellerden oluşan tuğla kesim kısmına geçer. Burada ne kadar tuğla uzunluğu istiyorsak çelik telleri ayarlarız ve makine otomatik olarak keser. Kesilen tuğla sehpalara dizilir ve kurutulmak üzere açık havaya götürülür ve kurutulur. Bu metot en çok yazın geçerli olduğu için üretimde buna paralel olarak yazın gerçekleşir.

Burada kurutulan tuğlalar pişirmeye hazırdır. Tuğlalar belli aralıklarla “Hofman fırın” adı verilen fırının içine yerleştirilir ve kenarlarına odun yığılır. Bu işlemlerden sonra fırının ağız tuğla ile örülür ve toprak ile sıvanır. Daha sonra Hofman fırının üst tarafında

bulunan deliklerin ağzına ateş sobaları yerleştirilir. Sobalar yakıldıktan sonra sobanın üstünde bulunan kol çekildikçe aşağıya yanan kömürler düşer ve bu işlemler tekrarlanarak fırının içinde ateş gezdirilir. Bu işlemler yapılırken fırının içindeki sıcaklık 1400 °C 'ye ulaşır. Böylece bu aşamalardan sonra topraktan (ama sadece topraktan) tuğla elde edilir. Bir tuğla bu aşamalardan geçerek bize sunulmaktadır.

2.1.8 Tuğlanın Sınıflandırılması

Tuğlalar kullanımına göre; teknik tuğlalar, kaplama tuğlaları, normal tuğlalar, özel olanlar gibi sınıflandırılabilirler.

Teknik tuğlalar genellikle yapısal değerlerinden, geçirimsizliklerinden dolayı kullanılırlar ve önemli özellikleri, yüksek basınç dayanımı ve düşük su çekmeleridir.

Kaplama tuğlaları görünümü güzel veya mimari değeri olan tuğlalardır. Yüzeyi kum kaplı ve rustik çeşitleri vardır. Sert tuğla olarak iyi olanlardan biridir.

Normal tuğlalar iç veya dış kullanımda, yüksek dayanım veya düşük su emmenin gerekmediği ve görünüşün pek önemli olmadığı yerlerde kullanılırlar.

Özel tuğlalar özel kullanım amacı için yapılanlardır; örneğin ateş tuğlaları, sırlı tuğlalar ve zemin döşeme tuğlaları gibi.

2.1.8.1 Harman Tuğlaları

1970'li yılların başlarına kadar oldukça yaygın olan harman tuğlası üretimi ve kullanımı giderek bu günlerde hemen hemen yok denecek kadar azalmıştır. Bu bakımdan harman tuğlasının basınç dayanımının bilinmesi daha çok eski ve harman tuğlası ile yapılmış yığma yapıların analizi için gerekmektedir. 1964-1975 yıllarında o zamanki İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında 43 değişik parti harman tuğlası üzerinde yapılmış basınç dayanımı deneylerinde ortalama basınç dayanımı $55 \pm 18 \text{ kg/cm}^2$; deney yapılan partiler içinde rastlanan en büyük ortalama

basınç dayanımı 105 kg/cm², en küçük ortalama basınç dayanımı 23 kg/cm² olarak bulunmuştur. Harman tuğlaları Ankara İl sınırları içindeki tuğla ocaklarından alınmıştır.

Postacıoğlu (1962), kendi yaptığı basınç dayanımı deneylerinde 67 harman tuğlası için ortalama 16-27 kg/cm² basınç dayanımı bulmuştur. Yine bu deneylerde tuğla dayanımının 16 kg/cm²'den küçük olma ihtimali % 5. 40 kg/cm²'den küçük olma ihtimali % 17 ve 75 kg/cm²'den küçük olma ihtimali % 69'dur.

2.1.8.2 Fabrika Tuğlaları

Yine 1964-1975 yılları arasında o zamanki İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında 74 değişik parti fabrika tuğlasının basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen basınç dayanımları Çizelge 2.2 'de verilmektedir:

Çizelge 2.2 Fabrika Tuğlaları Basınç Dayanımları

Cinsi	Deney Parti Sayısı	Ortalama Basınç Dayanımı	Deney Yapılan Örnek Partileri İçinde Rastlanan Ortalama	
			En Büyük	En Küçük
Dolu	9	226 ± 129	500	116
Yatay Delikli	46	44 ± 18	80	15
Tek	15	49 ± 19	74	21
Blok	31	41 ± 17	80	15
Düşey Delikli	19	195 ± 50	290	80

Bu değişik 74 parti tuğla üzerinde yapılan basınç dayanımı deneylerinde her bir parti tuğla için basınç dayanımının standart sapmasının ortalama dayanıma oranı 0.20 ile 0.33 arasında değişmektedir.

Fabrika tuğlalarından düşey deliklilerde delik oranı % 15'den az ise dolu tuğla sınıfına girmektedir. Çizelge 2. satırdaki değerler 3. ve 4. satırdaki değerlerle birlikte ele alınmış olduğu duruma karşılıktır. Fabrika tuğlaları üzerindeki deneyler Türkiye'nin hemen her yerinden gönderilmiş örnekler üzerinde yapılmıştır. Yatay delikli tuğlalar taşıyıcı tuğla olarak kabul edilmemektedir. Düşey delikli tuğlaların boşluk oranı % 15'den azdır. Bunlar taşıyıcı tuğla olarak kullanılabilirler. Denenen bu tuğla örneklerinin basınç dayanımlarının gerçekte o fabrikadan gelen bütün tuğlalar için ne ölçüde geçerli olduğu çok tartışılır. Aynı kaynaktan gelen tuğlaların kalitesinde büyük farkların olması hiçte şaşırtıcı değildir. Bu belki de bir yapı malzemesi olarak tuğlanın en belirgin özelliği ve de en büyük zayıflığıdır. Hesaplarda kullanılacak tuğla basınç dayanımı seçimi çok güvenli bir tarafta olmalıdır. Bu deneylerde aynı parti tuğla içinde en büyük ve en küçük basınç dayanımları arasında 3-5 kat farklara rastlandığı ve bunun da çok doğal olduğu göz önünde tutulmalıdır. Bu deneylerde kullanılan yöntem TS - 701 ve 705'de belirtilen yöntemlerdir.

Postacıoğlu (1962) denediği 6 fabrika dolu tuğlası örneğinde $105-700 \text{ kg/cm}^2$ basınç dayanımı bulmuştur. Ortalama basınç dayanımı 288 kg/cm^2 , standart sapma 105 kg/cm^2 olmaktadır (% 46). 15 düşey delikli tuğla örneğinde en küçük 57 en büyük 484 kg/cm^2 basınç dayanımı bulunmuştur. Yatay delikli 13 örnekte ise ortalama basınç dayanımı 49 kg/cm^2 , standart sapma 24 kg/cm^2 'dir.

Bugün Türkiye'de yığma yapılarda yaygın olarak TS - 4377'ye göre üretilen ve hafif tuğla denilen düşey delikli blok tuğla kullanılmaktadır. Bunların delik oranları % 40 ile 60 arasında değişmektedir. Bundan başka aslında betonarme yapılarda dolgu tuğlası olarak yapılmış olan yatay delikli tuğlalar kullanılarak da yığma yapı yapılmaktadır. Bu tür tuğlalar üzerinde eski adı ile İmar ve İskan Bakanlığı Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında (Şu anda TSE inşaat Laboratuvarı) 1975 yılından bu yana yapılmış deneylerden elde edilmiştir.

Bu değerler Türkiye'de üretilen tuğlaların basınç dayanımları üzerine bir fikir vermekle birlikte yeterli sayıda değildir. Tuğla basınç dayanımının önemli olduğu durumlarda

inşaatçının kullandığı her parti tuğladan yönetmelik ve standartlara göre gerekli sayıda örnek alarak sürekli olarak basınç dayanımını kontrol etmesi gerekir.

Delikli tuğlaların basınç dayanımına etkileyen önemli bir faktör deliklerin oranı kadar biçimleridir. Delik oranı aynı fakat daha çok sayıda küçük deliklerden oluşan bir tuğlanın basınç dayanımı daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni boşlukları çevreleyen dolu kesitlerin burkulma boylarının küçük delikli tuğlalarda daha küçük olmasıdır. Ayrıca boşluk oranı aynı fakat delik biçimleri farklı olan tuğlaların da basınç dayanımları farklı olmaktadır. Yapılan bir incelemede delikler nedeni ile oluşan gerilim birikimlerinin oranları karşılaştırılmıştır. Buna göre dolu tuğlada gerilim birikimi 1.0 olarak alınırsa dairesel delikli tuğlada bu oran 4.97; eliptik delikli tuğlada 9.91; dikdörtgen delikli ve el tutamaklı tuğlada 7.1 olmaktadır. Eğer dikdörtgen deliklerin köşeleri yuvarlatılırsa gerilim birikimleri azalmaktadır. Su inceleme sonucuna göre dairesel delikli tuğla, delik oranlarının aynı olduğu dikdörtgen ve kare delikli tuğlalara göre daha yüksek dayanımlı olmaktadır.

Basınç altında biçimlendirilmiş tuğlalarda presden çıkış yönüne dik ya da paralel yönleredeki basınç dayanımları da farklı olmaktadır. Genellikle presden çıkış yönüne paralel yönde basınç dayanımı dik yöndeki basınç dayanımına göre daha yüksek bulunmaktadır.

2.1.9 Tuğlaların Özellikleri

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 dayanıklıdırlar. Tuğla malzemenin içindeki kuartz kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuartz kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar, inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200 °C civarındadır. Tuğla üretimi önemli ölçüde yakıt gerektirir. Adi tuğlalar, harman tuğlası, 800 °C de pişirilirken sert tuğla 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 = Boşluk hacmi / tuğlanın dış hacmidir ve yüzde olarak belirtilir. Bunun için tuğla önce kuru olarak tartılır, daha sonra suyun içinde tutularak bütün deliklerin su ile dolması sağlanır. Tekrar tartılır. Aradaki ağırlık farkı suyun özgül ağırlığına bölünerek boşluk hacmi bulunur. Ancak tuğladaki boşluklar içinde bulunan hava, suyun boşluğa girmesini engelleyebilir. Bunun için tuğlaların su içinde kaynatılması ve soğuduktan sonra bu boşluklara suyun dolması beklenir.

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

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

Bugün bazı ülkelerde 500-600 kg/cm² basınç dayanımı olan tuğlalar üretilmektedir. 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.

Kırılma sırasındaki basınç gerilmesinde tuğladan tuğlaya büyük farklar olurken kırılma sırasındaki birim uzama yada kısalma hep 10-3 civarındadır. Bundan dolayı tuğlanın elastisite modülünün $E = 1000 \text{ fT}$ olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Burada fT tuğlanın kırılma anındaki gerilmesidir. Tuğlanın poisson oranı için 0.18-0.25 değerleri alınır.

Tuğlanın içindeki boşluk ya da gözeneklere giren su donarsa tuğlayı çatlatır ve tuğla zaman içinde paralanarak yok olur. Tuğla su ile doymuş ise donmanın etkileri daha büyük olur. Kısmen su ile dolgun tuğlalarda donan su tuğlanın içindeki havayı sıkıştıracağı için donmadan dolayı çatlama tehlikesi daha azdır.

Donmaya dayanıklı tuğlaların özellikleri şöyledir:

- Beş saat kaynatmadan sonra ağırlık cinsinden su emme oranı % 7'den büyük olmamalıdır.
- Doyma katsayısı 0.6 olmalıdır. Doyma katsayısı 24 saat suya batırılmış durumda hesaplanan su emme oranı ile 5 saat kaynatma sonucu bulunan su emme oranı arasındaki oran olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle boşlukların % 40' ı hava ile dolu olmalıdır.
- Tuğlanın basınç dayanımı 500 kg/cm^2 ' den yüksek olmalıdır.

Tuğlanın su emme oranının yüksek olmasının bir başka sakıncası da yüksek su emme oranlı tuğlanın harcın suyunu emerek harcın sertleşmesine ve tuğlaya tam yapışmasına engel olmasıdır. Bunu önlemek için tuğlanın harcın suyunu emmeyecek kadar su ile doymuş olması gerekir. Tuğlanın su emme gücü yüksek ise önceden tuğlanın ıslatılması yararlıdır.

Tuğlanın duvara konulmadan ıslatılmasına gerek olup olmadığının saptanması için şu deney uygulanabilir:

1. Tuğlanın üzerine 25 mm çapında bir daire çizilir,
2. Bunun içine 20 damla su konulur,
3. Suyun tuğla tarafından emilmesi için geçen zaman 1.5 dakikaya da daha çok ise ıslatılmaya gerek yoktur.

Türkiye de yapılarda taşıyıcı ya da dolgu tuğlası olarak üretilen tuğlalar ile ilgili bir çok standart bulunmaktadır: TS-704 Harman Tuğlası (Mart 1979), TS-705 Fabrika Tuğlası (Mart 1985), TS-1377 Hafif Tuğla (Ekim 1987), TS-4562 Klinker Tuğlaları (Ekim 1985) ve TS-4563 Yatay Delikli Fabrika Tuğlaları (Ekim 1985) standartları vardır.

Türkiye'de standart tuğla biriminin boyutları 190 x 90 x 50 mm (Boy x En x Yükseklik) şeklindedir.

Tuğlalar dolu, yatay ve düşey delikli olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Düşey delik oranı % 15'i geçmeyen tuğlalar da dolu tuğla olarak kabul edilmektedir. Bundan başka fabrika tuğlaları, normal tuğla modüler tuğla ve blok tuğla gibi normal tuğlanın boyutlarının çeşitli katlarında boyutları olan tuğlalar da yapılabilmektedir.

Türkiye'de tuğla yığma yapılarda taşıyıcı duvarlarda kullanılmak üzere TS-705'e göre üretilen dolu ve % 15'e kadar düşey delikli fabrika tuğlaları hacim ağırlığı 2 ve 1.8 ton/m³ olarak ikiye ayrılmakta, basınç dayanımları ise 120-240 ve 100-220 kg/cm² arasında değişebilen sınıflarda olmaktadır. Yine TS-705'e göre düşey delik oranı % 20 ve % 25 olan "Seyrek Delikli" tuğla sınıfı da vardır. Hacim ağırlığı 1.6 ton/m³ olan %20 düşey delikli tuğlaların basınç dayanımları 100-150-220 kg/cm² sınıflarında olabilir. Hacim ağırlığı 1.4 ton/m³ olan %25 düşey ve seyrek delikli tuğlalar 80-120-200 kg/cm² basınç dayanımı sınıflarında olabilir. Az delikli fabrika tuğlalarının hacim ağırlığı 1.2 ton/m³ düşey delik oranı %35 ve basınç dayanımları 60-100-150 kg/cm² sınıflarında olur. TS-2510 Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları'na göre taşıyıcı duvarlarda kullanılmasına izin verilen düşey delikli tuğlaların delik oranları % 35 'den büyük olamayacağı için bu standartta (TS-705) daha büyük düşey delik oranlı tuğla yoktur. Fabrika tuğlalarında basınç dayanımında 1.25 gibi bir malzeme katsayısı kullanılmaktadır. Bir diğer deyişle basınç dayanımı deneyi yapılan örnek tuğla partisi içinde rastlanabilecek en küçük değer o dayanım sınıfı için verilen basınç dayanımından % 25 daha küçük olabilir.

TS-704'e göre yapılması gereken harman tuğlaları basit ocaklarda ilkel koşullarda kalıplara dökülen ve pişirme sırasında bir standart sağlanması zor olan koşullarda üretilen tuğlalardır. Aynı ocaktan pişirme derecesi çok farklı ve dolayısı ile basınç dayanımında çok büyük değişiklikler olan tuğlalar üretilebilmektedir. Düşey delikli ve dolu olarak iki cinsten yapılabileceği kabul edilmiştir. Basınç dayanımı bakımından 30 ve 50 kg/cm²'lik iki kalitede olabilir. Düşey ya da yatay delikli harman tuğlaları yapılabilir, ancak delik oranı % 25'den fazla olamaz. Harman tuğlalarında fabrika

tuğllarına göre daha geniş boyut toleransı kabul edilmiştir. Bugün harman tuğllası üretimi ve tüketiminin toplam tuğlla tüketimi içindeki payı çok azalmıştır. Fabrika tuğllaları en küçük ve uzak yerleşim birimlerinde bile harman tuğllası ile rekabet ettiği için artık harman tuğllasının bulunması ve kullanılması da giderek yok denecek kadar azalmaktadır.

Bu arada Ekim 1987'de en son şeklini almış TS-4377 Düşey Delikli Hafif Tuğlla standardına göre üretilen tuğllaların üzerinde durmak gerekir. Bu Standarda göre üretilen düşey delikli tuğllalarda % 50 delik oranına izin verilmektedir. Eğer kavrama deliği de varsa bu oran % 55'e kadar çıkabilmektedir. Bu tür tuğlla ısı yalıtımı yüksek ve de hacim ağırlığı az olduğu için daha uzaklara taşınabilen ve rekabet gücü yüksek bir tuğlladır. Delik oranının % 50-55 olması TS-2510'da yığma yapı taşıyıcı duvarlarında en çok %35 düşey delikli tuğlla kullanılabilceği kuralı karşısında yalnızca betonarme yapılarda dolgu tuğllası olarak kullanılabilceği izlenimini vermekte ise de bu tuğlla yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. TS-4377'nin kabulünden sonra TS-705'e göre dolu, seyrek ya da az delikli ve birim ağırlığı 1.2 ton/m³'den az olmayan tuğllalar üretilmesine gerek kalmamıştır. Hafif tuğllanın birim ağırlığı 0.7, 0.8, 0,9 ve 1.0 ton/m³ sınıflarında ve basınç dayanımları her bir birim ağırlık sınıfında I ve II.'nci kalite olmak üzere 30-40, 40-50, 50-60 ve 65-35 kg/cm² olabilmektedir. Bu standart (TS-4377) bir anlamda düşey delikli blok tuğllalarda delik oranını serbest bırakmış gibidir. Bu standartla (TS-4377) basınç dayanımı çok düşük blok tuğllalar yapılmaktadır, ve de bu tuğllalar yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Ekim 1985'de kabul edilmiş olan TS-4562 Klinker Tuğllaları ise basınç dayanımları çok yüksek olan tuğllalar içindir.

Tuğlla sinterleşinceye kadar, bir başka deyişle eriyinceye kadar pişirilerek birim ağırlığı ve basınç dayanımı yüksek ve donmaya karşı çok dayanıklı bir tuğlla üretilmektedir. Birim ağırlığı 1.4-2.2 ton/m³ olmaktadır. Dolu klinker tuğllalarının delik oranı % 15'den az, delikli olanlarında ise % 35'den az olmalıdır. Basınç dayanımları 350-450-550

kg/cm² sınıflarında olabilir. Bu tür tuğlanın üretimi olduğu bilinmemekte ve de piyasada da rastlanmamaktadır.

Ekim 1985'de kabul edilmiş TS-4563 Yatay Delikli Fabrika Tuğlaları betonarme yapıların dolgu ve diğer bütün yapıların bölme ve taşıyıcı olmayan duvarları için öngörülen tuğlalardır. Basınç dayanımları 25-50-75 kg/cm² sınıflarında olabilir. Bu tuğlaların taşıyıcı duvarlarda kullanılmamaları gerekirken yine de tuğla yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Türkiye'de piyasa en çok tüketilen tuğlalar 190 x 190 x 135; 190 x 190 x 85 mm boyutunda yatay delikli dolgu tuğlası ve 190 x 190 x 135 mm ve 190 x 290 x 135 mm boyutunda düşey delikli taşıyıcı blok tuğladır. Bu tuğlaların basınç dayanımları yüksek değildir. Kısaca Türkiye'de üretilen tuğlalarda en çok 200 kg/cm² basınç dayanımına rastlanmaktadır. Avrupa ve Amerikan piyasalarında ise dayanımları 400-500 kg/cm² olan tuğlalar sıradan tuğlalar olarak kullanılmaktadır. 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.

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

2.2. Borik Asit

Bor, yerkabuğunun 51. yaygın elementi olup, doğada serbest halde bulunmayan daima bileşik halinde bulunan, kimyasal sembolü “B” olup periyodik cetvelin III A grubunun metal olmayan tek elementidir. 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 [$B(OH)_3$ ya da H_3BO_3], sayısız sanayi dalında kullanılan bir bor ara ürünüdür. Tekstil, kozmetik, cam, sır sanayi dalları başta olmak üzere dünyada yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Türkiye’de Eti Bor AŞ. tarafından üretilen borik asit üretimi için birçok metot vardır. Burada ham ve rafine bor ürünlerinin genel özellikleri dışında, borik asit üretimi için beş yöntem ele alınmıştır. Bu yöntemler; Uleksit mineralinden HCl kullanılarak, Tinkalden H_2SO_4 kullanılarak, Kolemanitten H_2SO_4 ile, yine Tinkalden nitrik asit (HNO_3) kullanılarak ve Elektroliz metodu ile Borik Asit üretim metotlarıdır. Türkiye’de kullanılan borik asit üretim yönetimi ise, kolemanit yöntemi olduğu için, bu yöntem üzerine durulmuştur. Önceleri Tinkalden üretim yapılmakta olmasına karşın, bu yöntemden, pek ekonomik bulunmadığı için vazgeçilmiştir.

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 (Aydın vd. 2003).

Borik asit, elementel borun bir oksiasidi olup, formülü H_3BO_3 şeklindedir. Borik asit, kokusuz, tatsız, havada kararlı, beyaz kristaller şeklinde bir maddedir. Molekül ağırlığı 61.83, erime noktası $169\text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $300\text{ }^\circ\text{C}$ dir. Özgül ağırlığı 1.46 g/cm^3 tür. Borik asit suda orta derecede çözünür. Sıcak sudaki çözünürlüğü soğuk sudakinden fazladır. Alkol ve gliserinde çözünür. Borik asit bir lewis asidi vazifesi yapan ve bir hidroksil iyonu olan çok zayıf mono bazik asittir.

Borik asit 175 °C' ye kadar ısıtılırsa su kaybederek metaborik asit (HBO₂) şeklini alır. Daha çok ısıtıldığında tetraborik asit (H₂B₄O₇) meydana gelir. Hatta daha da ısıtıldığında camsı bor trioksit halini alır. Borik asit, sodyum peroksit ile reaksiyona sokulursa, beyazlatıcı olarak ticarete kullanılan peroksoborat elde edilir. Gliserin gibi belirli polialkollerle reaksiyona girer ve asidik çelat kompleksleri verir. Metal oksitlerle eritildiği zaman gerçek metal iyonlarını karakterize eden oldukça renkli camsı boratları verir. Bu olay metal iyonlarının analizinde kullanılır.

Mineral halinde bulunabilir. Fakat daha çok çözeltilerde bulunur (mesela kaplıca sularında). Ayrıca buhar püskürten volkanların yakınında da bulunabilir. Laboratuvarında, borik asit, bor halojenürlerin hidrolizinden elde edilir. Ticari maksatlı borik asit, boraks çözeltisine klörür veya sülfürik asit ilavesiyle elde edilir. Ticari borik asit %99,9 safliktadır.

Borik asit, ısıya dayanıklı borosilikat camı ve aynı zamanda cam elyafı üretiminde kullanılır. Metalurjide kaynak ve bakırın pirinçle kaplanması için de kullanılır. Ahşap malzemeyi havaya karşı korumada ve kumaşları ateşe dayanıklı hale getirmede kullanılır. Dahilen kullanıldığında borik asit zehirleyicidir. Özellikle çocuklar için çok az miktarı dahi zehirlidir. Borik asit haricen hafif antiseptik olarak kullanılır. Göz damlasında, ağız gargarası ve kozmetikte kullanılır. Yara tozlarının içine de katılabilir. Suların sertliğini gidermekte de faydalıdır. (İnt. Kyn. 5)

Borik asit (H₃BO₃), molekül ağırlığı 61,83 gr/mol, B₂O₃ içeriği %56,3, ergime noktası 169 °C, özgül ağırlığı 1,44, oluşum ısısı -1089 kJ/mol, çözünme ısısı 22,2 kJ/mol olan kristal yapılı bir maddedir oda sıcaklığında sudaki çözünürlüğü az olmasına rağmen, sıcaklık yükseldikçe çözünürlüğü de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sanayide borik asidi kristallendirmek için genellikle doymuş çözeltiyi 80 °C' den 40°C' ye soğutmak yeterli olmaktadır. Bor minerallerinden geniş ölçüde üretilen borik asit başlıca; cam, seramik ve cam yünü sanayiinde kullanılmakta olup, kullanım alanları çok çeşitlidir. Borik asit, bor minerallerinin genel olarak sülfürik asit ile asitlendirilmesi elde edilmektedir. Türkiye'de borik asit üretimi başlıca; Bandırma'daki Etibor A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleri tarafından yapılmaktadır.

Türkiye, bor ve bor bileşiklerinin en büyük bir üreticisidir. Son yıllarda bor ve bor bileşikleri arasında borik asit üretimi giderek artan bir rol oynamaktadır. Borik asit kolemanit cevherinin sülfürik asit ile reaksiyonundan üretilmektedir. Teorik olarak basit olan proses, ham cevher bileşiminden kaynaklanan pek çok probleme sahiptir. Ham cevher % 15-85 kolemanit minerali ve değişik oranlarda farklı arsenik bileşikleri ile kompleks alümina silikatları içerir. Prosesin yüksek verim ve kolaylıkla yürütülebilmesi için pek çok faktörün göz önüne alınması gereklidir.

Borik asit üretiminde en önemli nokta, reaksiyon sonucu oluşan ve çökelen jipsin iyi bir süzme ile ayrılabilmesidir. İyi bir süzme işlemi için jips kristallerinin homojen yapıda olması gerekmektedir (Özgen 1999). Aksi halde süzme sırasında oluşan kekin geçirgenliği azalır ve süzme işlemi zorlaşır. Homojen jips partikülü oluşumu reaksiyon ortamına eklenen sülfürik asit konsantrasyonuna, ilave şekline ve reaktördeki hidrodinamik koşullara oldukça bağlıdır.

Sistemde devreden ana çözelti ile karıştırılmış olan sülfürik asit, reaksiyon şartlarına göre ayarlanmış borik asit konsantrasyonlarına bağlı olarak, farklı konsantrasyonlara sahiptir.

Farklı konsantrasyonlardaki sülfürik asit sadece çözünmeyen formda jips ve çözünen formda borik asit verecek şekilde kolemanit ile değil, aynı zamanda diğerleri ile de reaksiyona girer. Özellikle silikatlı mineraller farklı konsantrasyonlardaki sülfürik asit, varlığında çözeltiliye çözünebilir safsızlıklar vermek suretiyle farklı hızlarda bozunabilmektedirler. En önemli safsızlıklar çözünebilir silisyum ve magnezyumdur. Bu safsızlıklar çamurun filtrasyon hızının düşmesi, kristalizasyon problemleri ve ürüne safsızlık geçme hızının etkilenmesi gibi bir çok proses sorunlarına sebep olurlar.

Bu çalışmanın temel amacı, farklı reaksiyon koşullarında kolemanit cevherinden çözeltiliye geçen magnezyum ve silisyum konsantrasyonlarını belirlemek ve farklı reaksiyon koşullarında oluşan katı-sıvı karışımlarının filtrasyon hızlarındaki değişimi incelemektir.

2.2.1. Borik Asit Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Borik asit herhangi bir bor içeren cevherden üretilebilmektedir. Çizelge 2.3 bu amaçla kullanılabilircek cevherleri göstermektedir.

Çizelge 2.3. Borik Asit Üretiminde Kullanılan Bor Mineralleri (Greenwood 1973)

Mineralin Adı	Kimyasal Yapısı	Dünyada Bulunduğu Yörelere
Kernit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Boron (Kaliforniya), Tincalay (Arjantin)
Tinkalkonit	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Boraks olan her yerde dehidratasyon ürünü olarak
Tinkal (Boraks)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Tibet, S.Amerika, Kaliforniya
Probertit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Boron (Kaliforniya)
Uleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	S.Amerika, Kaliforniya
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Kaliforniya
Miyerhofferit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Kaliforniya, Asya cevheri, Ölü Vadi
İnyoit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$	Ölü Vadi Kaliforniya Rusya, Peru, Asya cevheri
Priseit (pandermit)	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Asya cevheri, Oregon
Tertşit	$\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Asya cevheri
Ginorit	$\text{Ca}_2\text{B}_{14}\text{O}_{23} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	İtalya
Kurnakovit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	Göl Bölgesi altı, Rusya
İnderit	$\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	Göl Bölgesi altı, Rusya
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	Göl Bölgesi altı, Rusya
Sasolit	H_3BO_3	İtalya, Kaliforniya ,Amerika

Bu cevherlerden, doğal borik asit olan sasolit hariç, tüm diğerleri sodyum, kalsiyum, magnezyum boratlar veya bunların kompleks tuzlarından oluşmaktadır.

Değişik kimyasal yapıları cevherlerden borik asit üretimi, değişik üretim prosesleri gerektirmektedir. Ancak tüm proseslerde borik asit oluşumu için bir asitlendirme kademesi mevcuttur. Borik asit çok zayıf bir asit olduğu için, karbonik asit dahil tüm

asitler bu proste kullanılabılmesine rağmen, en çok kullanılan asit, ucuzluğu nedeniyle sülfürik asittir. Prosesler arasındaki fark, asitlendirme kademesinden sonra oluşmaktadır. Sodyum ve magnezyum boratlar kullanımında çözünebilir yapıdaki tuzlar (örneğin; Na_2SO_4 , MgSO_4) oluştuğu için borik asidin bu tuzlardan ayrılması fraksiyonlu kristalizasyon yoluyla yapılmaktadır. Buna karşılık, kalsiyum boratların hammadde olarak kullanımında sülfrik asit kullanılarak çözünlüğü düşük kalsiyum sülfat oluşturulduğu için proses basitleşmektedir.

Dünyadaki borik asit üreticileri; Türkiye, ABD, Rusya, Arjantin ve Şili'dir. Türkiye'de genelde sodyum, kalsiyum ve sodyum-kalsiyum boratlar bulunmakta ve magnezyum boratlar fazla önem taşımamaktadır. Buna karşılık, Rusya'daki işlenebilir cevherlerin çoğu magnezyum boratlar, ABD, Arjantin ve Şili'dekiler ise sodyum boratlardır. Kalsiyum boratlar, borik asit üretiminde proses basitliği nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak son yıllarda kernit de başka bir amaçla kullanılması zor olması nedeniyle borik asit üretiminde kullanıldığı bilinmektedir (The Economics Of Boron).

2.2.2 Değişik Koşullardaki Borik Asit Üretim Prosesinin Modellenmesi

Borik asit üretiminde kullanılan sülfürik asit reaksiyon koşullarına bağlı olarak farklı konsantrasyonlara sahiptir.

Reaksiyonda kullanılan sülfürik asit sadece kolemanit ile değil, aynı zamanda cevherde bulunan silikatlı bileşikler ile de konsantrasyonuna bağlı olarak reaksiyona girmektedir. Reaksiyonda kullanılan H_2SO_4 'ün konsantrasyonu %96-98 arasında değişmektedir.

Kullanılan asit orijinal konsantrasyonu ile kullanılır ise reaktöre beslendiği noktalarda yüksek asidi bölge oluşturmaktadır. Bu bölgede hem hemihidrat oluşumu artmakta, hem de kalsiyum sülfatça yüksek aşırı doygunluk oluştuğu için iğne yapılı kristal oluşumu hızlanmaktadır. Bunun sonucunda filtrasyonu zor kalsiyum sülfat oluşurken aynı zamanda çözünebilir kalsiyum sülfat içeriği artarak kristalizasyonda jips çökmesine neden olmaktadır.

Bölgesel yüksek konsantrasyonlu H_2SO_4 cevherdeki silikatlı minerallere etki ederek, silikatlı mineralleri süzülmesi zor silis jeli halinde dönüştürürken, bu minerallerin sodyum, magnezyum, potasyum içeriklerinin çözeltiye geçmesine neden olmaktadır (Bulutçu 1997).

Düşük besleme konsantrasyonlu asit, hemihidrat oluşumunu azaltırken, jips kristallerinin daha iri olmasını sağlamakta ve çözeltiye safsızlık geçiş hızını düşürmektedir. Bu nedenlerden dolayı H_2SO_4 ün ana çözelti ile seyreltilerek kullanılması uygundur. Farklı konsantrasyonlara sahip H_2SO_4 kullanımı ile farklı birleşimlerde H_3BO_3 eldesinde, H_2SO_4 ' ün cevherdeki silikatlı minerallere etkisinin incelenmesi amacı ile borik asit üretim prosesi beş farklı H_3BO_3 bileşimi elde edilecek şekilde tasarlanmış ve dolayısı ile sistemde kullanılan H_2SO_4 konsantrasyonunun üretime etkisi incelenmiştir.

2.3. Uçucu Kül

2.3.1 Uçucu Külün Tanımı ve Tarihçesi

Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, hem çok kısıtlı olan doğal kaynakların tüketimini azaltarak doğanın tahrip edilmesini önlemekte, hem de malzemelerin atılmak üzere depolanması durumunda çevrede meydana gelecek problemleri en aza indirmektedir. Ülkemizde, enerji üretimi için yaygın olarak kullanılan termik santrallerin önemli bir atığı olan uçucu kül bu konuda önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Uçucu küller; düşük ısı değerli ve endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömürlerin, toz haline getirilerek termik santrallerde yakılması sonucu bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince parçacıklar halindeki atıklardır (Baykal, Özturan, Savaş ve Ramadan 1993).

Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince olan, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip

olan küller, yakıt gazlarıyla beraber “uçarak” bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedirler. Nispeten ağır olan iri kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına düşmektedirler.

Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75 - %80'i, gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küllere “uçucu kül” denilmektedir (Erdoğan 2003).

Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkararak havaya karışmaları önlenir. Bu amaçla, küller mekanik ve elektrostatik yöntemlerle toplanarak santral çevresinde veya başka uygun yerlerde depolanır. Zamanla biriken küller geniş alanları kaplamaya başlar ve santral idaresi için bir problem olurlar (Türker vd. 2003)

Uçucu kül terimi, 1930'lu yıllarda elektrik enerjisi tüketiminin yaygınlaşması sonucunda ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda yaşanan enerji maliyetindeki hızlı artış sonucunda, elektrik santrallerinde daha fazla kömür tüketilmeye başlanmıştır. Bunun sonucunda uçucu kül üretiminde bir artış meydana gelerek, uçucu kül kullanımı tüm dünya genelinde kabul görmeye başlamıştır.

Türkiye' de uçucu kül üretimi ve kullanımı 1968'li yıllarda başlamıştır ve günümüzde ise uçucu küllerin kullanım alanları oldukça fazladır. Bunlar arasında; çimento üretiminde puzolanik katkı maddesi ve beton içinde ikincil bağlayıcı madde olarak çimentoyla birlikte, tuğla ve yapı bloğu üretiminde; suni agrega üretiminde, enjeksiyon uygulamalarında, dolgu malzemesi olarak, yol inşaatlarında temel ve temel altı tabakası olarak, zemin iyileştirilmesinde, atıkların stabilizasyonunda ve zirai amaçlarla kullanım sayılabilir (Özcan 1997).

Bu gün Dünya'da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır (Türker vd. 2003).

Türk Standardları Enstitüsü, UK ile ilgili olarak beş tane standart yayınlamıştır. Bunlar sırasıyla, TS 639 (TS, 1975), TS 640 (TS, 1992), TS EN 450 (TS, 1998), TS EN 451-1 (TS, 2000) ve TS EN 451-2 (TS, 2000) standartlarıdır. Bu standartlara ait bilgiler, Çizelge 2.4’de sunulmuştur. TS 640, AB’ye uyum çerçevesinde yürürlükten kaldırılmış ve yerine TS EN 197-1 (TS, 2002) “Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar” standardı uygulamaya konulmuştur.

Çizelge 2.4 UK ile ilgili Türk Standartları (Aruntaş 2006).

Standart no	Standartın adı	Açıklama
TS 639	Uçucu küller-çimentoda kullanılan	Tarifi, sınıflandırılması, özellikleri, deney metotları ve kalite kontrolü
TS 640	Uçucu küllü çimento	Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve deney metotları
TS EN 450	Uçucu kül-betonda kullanılan	Özellik ve kalite kontrolü
TS EN 451-1	Uçucu kül- Deney metodu-Bölüm 1	Serbest kalsiyum oksit tayini
TS EN 451-2	Uçucu kül-Deney metodu-Bölüm 2	Islak eleme ile incelik tayini

Türkiye’de UK kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir (Aruntaş 2006).

Ülkenin enerji üretiminde dışa bağımlılığını azaltmanın bir yolu da, endüstrinin diğer kesimlerinde yararlanılamayan düşük kalorili linyit kömürlerini termik santrallerde kullanmaktan geçmektedir. Dolayısıyla yıllık uçucu kül miktarlarının gelecekte daha fazla artacağı tahmin edilmektedir (Türker vd. 2003).

2.3.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca; MgO , SO_3 alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO , %1-40 oranlarında bulunmaktadır. Bu farklı aralıklardaki değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir (Türker vd. 2003).

Birçok ülke standardında uçucu küllerin sınıflandırılması yer almamakla birlikte, ASTM C 618 nolu standard, uçucu külleri F ve C sınıfı olarak iki grupta değerlendirmektedir (ASTM C 618 1994). Bu sınıflandırma, Çizelge 2.5’de tanımlanmaktadır.

Ayrıca, %10’dan daha az CaO içeren uçucu küller, ‘düşük kireçli uçucu küller’, %10’dan daha çok CaO içerenler ise, ‘yüksek kireçli uçucu küller’ olarak adlandırılmaktadır (ASTM C 618 1994).

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır (ASTM C 618 1994, TS EN 197-1).

Çizelge 2.5 ASTM’ye Göre Uçucu Kül Sınıfları (ASTM C 618 1994).

Sınıf	Tanımı
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 70$; Antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilmekte; Puzolanik özeliğe sahip.
C	$\%70 > \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 50$; Linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilmekte; Puzolanik özeliğin yanısıra kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özeliğe sahip.

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70’den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi

%10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

b) C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanısıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar:

a) V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitden (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

b) W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

2.3.3 Uçucu Küllerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Uçucu küllerin renkleri açık veya koyu gri ile siyah arasında değişmekte olup renginin açıklığı veya koyuluğu elde edildiği kömüre ve yakma koşullarına bağlıdır (Ergüt 1994). Ayrıca, küldeki karbon, demir ve nem miktarı küllerin renklerin etkilemektedir. Mikroskop altında incelendiklerinde süngerimsi, gözenekli veya gözeneksiz küresel aglomere tanelerden meydana geldikleri görülmektedir. Linyit kömürü uçucu külleri, taş kömürü uçucu küllerinden daha koyu renklidir. İyi yanmış kömürün uçucu külü, iyi yanmamış kömürün uçucu külünden daha açık renktedir. İyi yanmamış kömürlerin

uçucu küllerinin koyu rengi, yapılarında mevcut yanmamış karbondan ileri gelmektedir (‘‘Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları’’ 1979).

Bir uçucu külün tanecik şekli ve şekil özellikleri, kömürün kaynak ve üniformluğuna, yanmadan önceki öğütölme derecesine, yanma ortamına (sıcaklık seviyesi ve oksijen derişimi), yanmanın üniformluğuna ve kullanılan toplama sistemine bağlıdır. Uçucu kül taneciklerinin çoğunluğu camsı, içi dolu veya boş küresel şekillidir (Acı Committee 1987).

Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütölme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taş kömürü uçucu küllerinin tane boyutu, linyit uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki eden ikinci faktör ise, yakma sistemini terk eden boyutu küçük uçucu küllerin elektrofiltrelerde veya siklonlarda tutulma hassasiyetleridir. Sistemi terk eden küller ne kadar iyi yakalanırsa, o oranda ince taneli küller elde edilmektedir. Elektrofiltrelerde daha ince uçucu küller tutulabildiği için, elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutululardan daha küçüktür. Genel olarak, uçucu küllerin tane boyutları 1-100 µm, özgül yüzeyleri ise 0.1-0.5 m²/gr arasında değişmektedir (Ergüt 1994, Toros 1987).

Uçucu küllerin özgül ağırlıkları yapılarındaki kuvars, alümina, demir ve karbon miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Uçucu külün demir miktarı arttıkça özgül ağırlığı da artmaktadır. Ayrıca özgül ağırlığı, külün mineralojik yapısına göre de değişmektedir. Örneğin; içi dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin özgül ağırlıkları yüksek iken, süngerimsi tanelerden oluşanlarıki daha düşüktür. Uçucu küllerin içerisinde değişik özgül ağırlıklara sahip farklı taneler de bulunabilmektedir (Ergüt 1994).

Türk uçucu küllerinin bulk yoğunluğu 0,88 den 1,44 e, özgül ağırlığı ise 1,83 den 2,99 g/cm³'e kadar değişim gösterir. Aynı zamanda tane boyutunun azalması ile birlikte, bulk ve özgül ağırlık da artmaktadır. Önemli yoğunluk farkları ise muhtemelen duvar kalınlıklarına, boşluk hızına ve parça çapının dağılımlarını etkilemektedir. Düşük bulk yoğunluğu, bu uçucu külleri hafif ağırlıklı bina bloklar için iyi bir malzeme

yapmaktadır. Ama kuru uçucu külün depolanmasında ve nakliyesinde her zaman potansiyel bir sorun olan toz sorunu da hesaba katılmalıdır (Bayat 1998).

Uçucu küllerin özgül ağırlığı, bünyelerindeki kuvars, alümina, demir ve karbon miktarı ile değişmektedir. Küldeki demir miktarı arttıkça özgül ağırlık artmaktadır Ayrıca özgül ağırlık külün mineralojik yapısına göre de değişmektedir. Örneğin, iç dolu küresel tanelerden oluşan uçucu küllerin özgül ağırlıkları yüksek iken süngerimsi tanelerden oluşanların daha düşüktür. Uçucu küllerin ortalama özgül ağırlıkları 2,15 g/cm³'tür (E.I.E. 1979). Çizelge 2.6' de çeşitli uçucu küllerin bulk yoğunlukları ve özgül yüzey alanları görülmektedir.

Çizelge 2.6 Türk uçucu küllerinin yoğunluk dağılımı ve özgül yüzey alanları (Bayat 1998)

Uçucu kül	Bulk Yoğunluğu (g/cm ³)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey Alanı (m ² /g)
Yatağan	1,07	1,99	0,334
Soma	0,95	2,12	0,207
Seyitömer	0,88	1,58	0,115
Yeniköy	1,44	2,99	0,168
Çatalağzı	1,07	1,95	0,139
Afşin-Elbistan	1,05	2,70	0,342
Tunçbilek	1,11	1,83	0,094

Bütün uçucu küller 24 saat sonra değişik değerlerde bazik çözeltiler meydana getirirler. Uçucu külün pH' sı 8'in altına düşmez. pH gelişimi genellikle külün karakteristiği olarak dikkate alınmaz. Uçucu küller çimento yapımında kullanıldıkları zaman, uçucu küllerin karışım suyunun pH' sına etkisi, çimento tanelerinin birbirleriyle olan reaksiyonları sonucu pH' yı arttırmalarından dolayı anlaşılammıştır. Ancak buna rağmen uçucu küllerin tek başlarına pH' yı nasıl etkiledikleri, araştırılmaya değer ilginç bir konudur (Bayat 1998).

İçerisine bir mıknatıs daldırıldığında, bir miktar uçucu külün mıknatısa yapıştığı görülür. Manyetik özelliği olmadığı halde yapışan tanecikler, hafif bir hava akımı ile uzaklaştırılır. Yapılan deneyler sonucunda, uçucu küllerin yaklaşık %25'inin mıknatısta kaldığı görülmüştür. Kimyasal analizler, mıknatıs tarafından tutulan numunenin %63'ünün Fe₂O₃ olduğunu göstermiştir (Kolukısa 1999).

Uçucu külün ergime sıcaklığı, elde edildiği şartlara, uygulanan prosesin maksimum ve minimum sıcaklıklarına bağlı olarak değişir. Yapılan bir deneyde, yan yükseltgen-yanı indirgen ortamda uçucu kül konisinde 1173-1373 K arasında hafif bir çökme olduğu göze çarpmış, belirgin şişme 1373-1473 K aralığında gerçekleşmiş, tam ergime ve sıvılaşma ise 1523-1673 K aralığında meydana gelmiştir; şişme olayı gaz çıkışı nedeniyle olmaktadır (Vorres 1978).

Yükseltgen bir ortamda, 873 K' de yanabilen maddeler uzaklaşmış ve 1673 K dolayında ergime başlamıştır. Uçucu kül ergidiğinde genellikle tuğla rengine dönüşür; ısıtma, ergime sıcaklığından önce kesildiğinde uçucu kül taneleri birbirine yapışarak aglomere olmaktadır.

2.3.4 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerde çok yüksek miktarlarda yer alan oksitler SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃'dir. Bunların yanısıra, bir miktar CaO, MgO, C (çok ince taneli durumda olan yanmamış kömür) ve Na₂O'da bulunabilmektedir.

Uçucu küllerin yapısının büyük bir bölümü (%60 - %90'ı) amorf durumdadır. Geri kalan bölümünde; müllit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alabilmektedir (Roy vd. 1983, Lane vd. 1982).

Uçucu kül taneleri genellikle küresel şekilli katı parçacıklardır. Ağırlığının yaklaşık %5'i (hacminin %20'si) içi boş (nitrojen veya karbon dioksitle dolu) parçacıklardan oluşmaktadır.

Uçucu kül taneciklerinin boyutları 1- 150 µm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak, 2.1- 2.7 (ortalama 2.4) g/cm³ yoğunluğa sahiptirler. Renkleri açık griden koyu griye uzanan değişikliktedir. Daha çok miktarda karbon içeren küller koyu gri renkte, daha çok demir içerenler ise açık gri renktedir.

Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, uçucu küller de, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler; kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadırlar. O nedenle, hem portlant-puzolan tipi çimento üretiminde, hemde beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilirler. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının %15 - %50 civarında değişebilmektedir (Erdoğan 2003).

Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orjini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfirizasyon gibi) bağlıdır.

Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ve CaO olup, diğerleri SO₃ MgO ve alkali oksitlerdir. Ayrıca, yanmamış karbon ve bunun yanı sıra; titanyum, fosfor, berilyum, mangan ve molibden de esas bileşen olarak bulunabilmektedir.

Temel oksitler olan; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO'ın miktarları, uçucu külün silissi veya kireçsi yapıda olmasına göre geniş aralıkta değişmektedir. Buna göre, uçucu külde; SiO₂ %25-60, Al₂O₃ %10-30, Fe₂O₃ %1-15 olarak ve CaO, %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır (Hewlett 1998, ACI Committee 226 1997).

Diğer oksitlerden MgO en fazla % 5.0, alkali oksitler (Na₂O + K₂O) %5.0'in altında bulunmaktadır. SO₃ genellikle % 0.2-2.5 arasında değişmekle birlikte, kömürün yapısı ve proses koşullarına göre, % 10 'a kadar yükselmektedir. Ancak standartlardan özellikle TS EN 450 standardı (TS EN 450), SO₃ değerini en fazla %3 olarak dar bir aralık ile sınırlamaktadır.

Kızdırma kaybı, esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekte birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozunması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya CO₂ kaybını da içine almaktadır. Kızdırma kaybı, %1.0-10 arasında değişmektedir.

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

Reaktif kireç ise, düşük kireçli küllerde % 10'un altında olmakta; yüksek kireçli küllerde %10-15 arasında değişmektedir (TS EN 197-1, RILEM Committee 73-SCB 1988).

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları, yakıt olarak kullanılan kömürün tipine ve yanma işlemine göre değişiklik göstermektedir (Erdoğan 2003).

Çizelge 2.7'de, değişik termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin içerikleri gösterilmektedir (Lane vd. 1982, ACI Committee 226.3R-87 1990). Buradan görülebileceği gibi, birçok uçucu küldeki "SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃" miktarı %85'in üzerindedir. Uçucu küllerin yeterli puzolanik özellik gösterebilmeleri için bu oksitlerin toplam miktarının F tipi ve C tipi küllerde, sırasıyla, %70 ve %50'den az olmaması gerekmektedir (ASTM C 618 1994).

F tipi uçucu küllerdeki CaO oranı %10'dan daha düşüktür. Bu tür küller sadece puzolanik özellik gösterebilmektedir.

C tipi uçucu küllerdeki CaO oranı, genellikle %10'dan daha fazladır. Yüksek miktarda CaO içeren küller, kendiliklerinden bir miktar bağlayıcılığa sahiptirler (Erdoğan 2003).

Uçucu küllerde, az miktarlarda da olsa, MgO, SO₃, alkali ve karbon yer almaktadır. Bunların oranının yüksek olması istenmemektedir.

Çizelge 2.7 Değişik Termik Santral Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonu (Erdoğan 2003).

Kimyasal İçerik	F Sınıfı Kül (CaO < %10)	C Sınıfı Kül (CaO > %10)
SiO ₂	43,6-64,4	23,1-50,5
Al ₂ O ₃	19,6-30,1	13,3-21,3
Fe ₂ O ₃	3,8-23,9	3,7-22,5
CaO	0,7-6,7	11,5-29,0
MgO	0,9-1,7	1,5-7,5
Na ₂ O	0-2,8	0,4-1,9
C (kızdırma kaybı)	0,4-7,2	0,3-1,9

MgO, hidrasyon sonucunda betonda genişmeye yol açmaktadır. SO₃, sertleşmiş betonda etrenjit oluşumuna ve böylece çok büyük genişmelere neden olmaktadır. Alkali miktarının yüksek olması, reaktif silika içeren agregalarla reaksiyon olasılığını artırarak betonda genişmelere yol açabilmektedir. Karbon miktarı fazla olan uçucu küllerle yapılan hava sürüklenmiş betonlarda, daha çok miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Uçucu küllerde çok az miktarda nem de bulunabilmektedir. Nem miktarı fazla olan uçucu küller, kullanıcının işini birazcık zorlaştırmaktadır. ASTM C 618, uçucu küllerdeki nem miktarının %3'den fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir (ASTM C 618 1994).

Matsunaga vd. (2001), tarafından yapılan çalışmada; Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. EDX ve X-Ray difraksiyon analiz sonuçları, uçucu külün az miktarda kalsiyum içerdiğini, esasen bir karışımda SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerdiğini göstermiştir. Ek olarak az miktarda alkali oksitler ve birkaç metalik konsantrasyon elde edilmiştir. Uçucu külün morfolojisi ve yapısının değişken ve kompleks olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül tanelerinin şekli, yüzey geriliminden dolayı küresel ve yapısı soğutma hızı tarafından etkilenmiş olan tane boyutuna bağlıdır.

Bu düşünce kömürde daima var olan kuartz parçalarından dolayıdır. Ancak, yoğunluk değişimi ve uçucu külün kristallığı hakkında çok az bilgi vardır ve tek kaynaktan uçucu külün parça boyutu fonksiyonu gibi fazlar bunun bileşenidir.

Uçucu kül tanelerinin yapısı ve kimyasal bileşimi, kompozitlerinde olduğu gibi münferit uçucu kül parçalarının mekanik özelliklerini etkileyebilir. Uçucu küllerin; kristallik değişimi, mikrokimyası, yoğunluğu ve mikrosertliği kompozitlerin dizaynında ve kompozit özelliklerine etkisini anlamada gerekmektedir.

2.3.5 Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri

Uçucu külün mineralojik bileşimi, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar (Ca, Mg, Fe) ve proses koşullarına (kömür hazırlama ve yanma gibi) bağlıdır. Uçucu külün mineralojik yapısı, külün tipine göre değişen dağılımda olmak üzere, camsı (kristalsız) ve kristal yapıli bileşenlerden oluşmaktadır.

Genellikle, düşük CaO içeren küller başta camsı faz ve minör olarak da kuvars (SiO₂) mullit (3Al₂O₃.2SiO₂), manyetit (Fe₃O₄), hematit (Fe₂O₃) içermekte; yüksek CaO'li uçucu küller kuvars, hematit, anhidrit (CaSO₄), serbest kireç, C₃A (3CaO.Al₂O₃), CS (CaO. SiO₂), C₂S (2CaO.SiO₂), gehlenit (Ca₂Al₂Si₂O₇), mellilit (Ca₂(Mg,Al)(AlSi)₂O₇), mervinit (Ca₃(Mg)(SiO₄)₂), gibi mineraller ve camsı faz içermektedir. Bu bileşenlerin yanısıra yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit (Ca(OH)₂), trisülfoalüminat (4CaO.3Al₂O₃.32H₂O) ve mullit' de bulunabilmektedir. Her iki külden de, alkali feldispatlara rastlanmaktadır (Hubbard 1985, Enders 1996).

Düşük ve yüksek kireçli uçucu küllerin camsı fazı karakterize eden X-ışınları difraksiyon piklerinin maksimum durumları da birbirinden farklıdır. Camsı fazın difraksiyon pikinin maksimum olduğu bölge düşük kireçli uçucu külden 22-27° 2 θ (CuKα) bölgesinde iken, yüksek kireçlide bu bölge 30-34° 2 θ (CuKα) bölgesinde yer almaktadır. Silissi camsı fazın 22-34° 2 θ arasında değişmesi, silisyum dioksit kristal örgü ağının (siliko tetrahedral); Al, Ca, Na gibi çeşitli katyonlar ile modifiye edilmesinden kaynaklanır.

Uçucu külün mineralojik bileşimi (camsı fazın durumu, kristal yapıları), külün puzolanik özelliklerini etkilemektedir. Özellikle camsı fazın durumu uçucu külün reaktivitesinde etkin olmaktadır. Düşük kireçli uçucu küldeki camsı fazın yapısı, SiO_2 açısından zengin, oldukça polimerize silissi veya alüminyum da içeren alüminosilikat bileşimindedir. Silissi veya alümino silikat camsı fazı, düşük kireçli külün reaktif bileşeni olup, su ve kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek, küle puzolanik özellik kazandırmaktadır.

Yüksek kireçli külde ise, aktif bileşen içinde silisyum da içeren kalsiyum alüminat camsı fazının yanısıra aktif kristalize fazlardır (serbest kireç, anhidrit, kalsiyum alüminat gibi). Burada, saf silika camı, Ca ve Al iyonları ile modifiye olmuştur. Bu faz bir bakıma cüruftaki yapıya da benzemektedir. %20 'nin üzerinde CaO içeren küllerde kalsiyum alüminat camsı fazı $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ bileşimindedir. Yüksek kireçli külün camsı ve kristalize fazları, külün puzolanik özelliğın yanısıra, kısmen kendiliğinden bağlayıcı özelliğe de sahip olmasını sağlamaktadır (ACI Committee 226 1987, Enders 1996).

Düşük kireçli uçucu küldeki yüksek silisli camsı faz genellikle; kalsiyum, alkali ve hidroksit lavesi halinde, yavaş olarak reaksiyona girerken; yüksek kireçli küldeki kalsiyum alüminosilikat camsı fazı su ile reaksiyona girerek bağlayıcı fazları oluşturur. Bu nedenle yüksek kireçli uçucu külün camsı fazının düşük kireçliden daha az, ancak daha reaktif olduğu bilinmektedir (Mehta 1985).

Yüksek kireçli küllerdeki kristalize fazlar (anhidrit, serbest kireç gibi), külün kendiliğinden bağlayıcı olmasına katkıda bulunmakla birlikte, standarttaki sınırlar (SO_3 en fazla %3 ve %5, sırasıyla ASTM C 618, TS 639, ve TS EN 450), serbest kireç TS EN 450'de %1 aşıldığı takdirde SO_3 'den fazlalığı ileri yaşlarda betonda sülfat genleşmesi (aktif alümina ve SO_3 'den etringit oluşumu), serbest kireç ise hidratasyon sırasında kalsiyum hidroksit (portlandit) oluşturarak betonda genleşme ve çatlak oluşumuna sebep olmaktadır. Yine yüksek kireçli uçucu külde bulunan alüminat bileşimindeki gehlenit de, külde yüksek SO_3 olduğunda reaksiyona girmekte, buna karşılık düşük kireçli küldeki kristalize faz olan mullit, alüminat bileşiminde olduğu

halde inert bileşen olarak kalmakta; dolayısıyla sülfat genişmesine yol açmamaktadır (Tikalsky ve Carraullo 1992).

2.3.6 Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikler

Tanecik morfolojisi (şekli) ve büyüklük dağılımında, kömürün orjini ve üniform olması, kömürün pulverizasyon durumu, yanma koşulları (sıcaklık ve oksijen seviyesi), yanmanın üniformluğu ve toz toplama sistemi tipi gibi prosese bağlı faktörler etkili olmaktadır (ACI Committee 226 1987).

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

Son yıllarda, uçucu kül üzerine yapılan araştırmalarda; uçucu külün dolgu malzemesinde, metal matris bileşiklerinde ve polimer matris bileşiklerinde katkı malzemesi olarak kullanıldığı saptanmıştır. Bu çalışmaların sonuçları, metal-matris bileşiklerinde ve polimer matris bileşiklerinde katkı yada dolgu malzemesi olarak uçucu külün olası uygulamalarını göstermiştir. Uçucu kül taneleri; “precipitor” ve “cenosphere” olarak iki tipe sınıflandırılmıştır.

Genellikle, uçucu külün katı küresel taneleri “precipitator fly ash” olarak adlandırılır ve yoğunluğu 1,0 gr/cm³’den daha az olan, uçucu külün boşluklu tanelerine “cenosphere fly ash” denmiştir. Uçucu küllerin ortak tipi genellikle; kuartz, müllit ve hematit gibi kristal bileşiklerden; silika camı gibi camsı bileşiklerden ve diğer oksitlerden meydana gelmiştir.

2,0-2,5 gr/cm³ arasında bir yoğunluğa sahip olan “precipitator fly ash”, yoğunluğu azaltır, direnç kazandırır, dayanım, sertlik içerir ve seçilmiş matris materyallerinin çeşitli özelliklerini geliştirebilir.

“Cenosphere fly ash”, boşluklu uçucu kül tanelerinden oluşur ve $1,6-11,0 \text{ gr/cm}^3$ arasında olan metal matrislerin yoğunluğuyla karşılaştırıldığında, $0,4-0,7 \text{ gr/cm}^3$ arasında olan önemli düşük yoğunluğundan dolayı çok hafif kompozit materyallerin sentezleri için kullanılabilir.

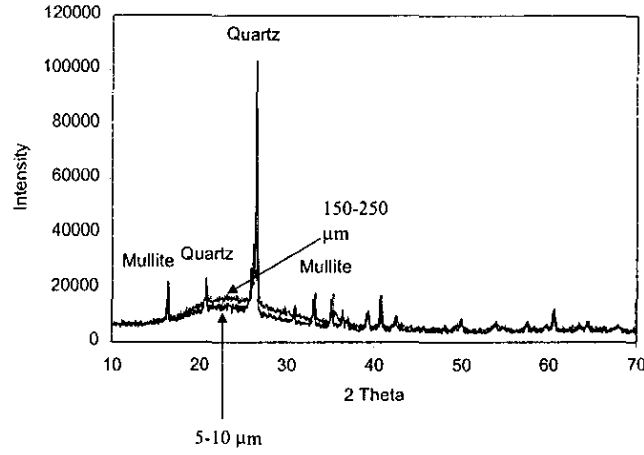
Uçucu kül kullanılması tercihinin diğer bir sebebi, çok büyük miktarlarda elde edilen (yılda 80 milyon ton), çok düşük maliyeti olan kömürün yanmasıyla bir yan ürün olan uçucu külün polimer matrislerde ve metal matrislerde katkı yada bir dolgu malzemesi olarak kullanılmasıdır.

Halen camı kürelerin imalinde, kullanım üretimlerinin yüksek fiyatlarından dolayı uygulamalarda sınırlandırılmıştır. Bundan dolayı, bileşiklerin materyal maliyetleri, metalik alaşım ve polimer matrislerin içine uçucu külün katılması vasıtasıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Ancak metal matrislerin ve polimer matrislerin herbirinde uçucu külün birleştirmesini yapmış olmaya çalışmaya rağmen kompozite materyallerin dizaynında uçucu kül tanelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine çok az bilgi vardır.

“Cenosphere fly ash”, “talk” ve kalsiyum karbonattan daha az bir yoğunluğa sahiptir fakat boşluklu cam’dan az yüksektir. Birim hacim maliyetlerinde, Cenosphere en alçak (düşük) maliyetlerden birine sahip olabilir.

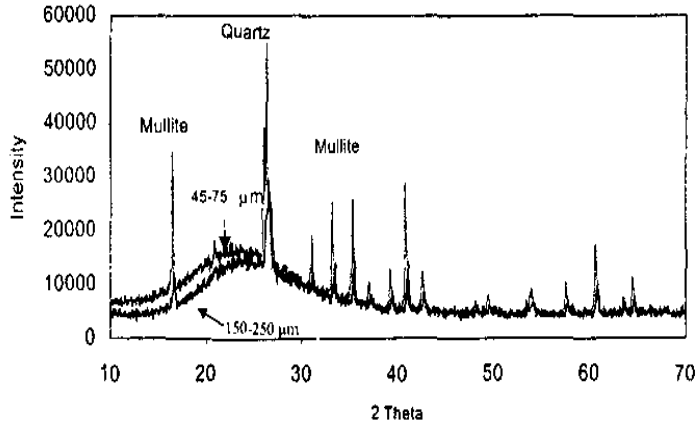
Küresel tanelerde modülleri tanımada ve böylece yaklaşık mukavemetle kompozitlerin dizaynında sebep farklılıktan kaynaklanır. Katı uçucu külün morfolojisi tanelerin abadına bağlıdır. Küçük olan katı taneler, büyük olan katı uçucu külden şekilde daha küreseldir. Fakat; Cenosphere uçucu külü, precipitator uçucu külden daha küreseldir ve şekli ebada bağlı değildir.

Müllit ve kuartz camı fazlardır. Uçucu kül ebatları arttıkça “precipitator fly ash” da toplam kristal fazların hacim kesride artar. Şekil 2.1.



Şekil 2.1. Çökelek (Precipitator) Uçucu Külde Kuartz ve Müllit Kristallığı (Matsunaga vd. 2001).

Bu sonuçlar Uçucu külün büyüklüğü arttığı zaman uçucu külde müllitin bir artışına bağlı olarak “precipitator fly ash”da toplam kristallığı sunar. Kristal kuartz’ın miktarı tüm “precipitator fly ash”dan nispeten azdır ve uçucu kül ebadının fonksiyonu gibi işlemez. Uçucu kül (precipitator) ebadında kristallığın bağımlılığı büyük ve küçük uçucu kül parçalarının arasında soğutma hızında farklılığından dolayıdır.



Şekil 2.2 Boşluklu Uçucu Külün Kuartz ve Müllit Kristal Fazları ve Toplam Kristallığı (Matsunaga vd. 2001).

Boşluklu Uçucu Külde ise; Şekil 2.2’de görüldüğü gibi tanelerin boyutu arttıkça müllit yoğunluğu azalmakta, kuartz ise ebada göre bir değişim göstermektedir.

2.3.7 Uçucu Külün Kullanım Alanları

Ülkemizde miktarı her geçen gün biraz daha artan uçucu küller, ya kuru olarak atık sahalanında biriktirilmekte ya da su ile karıştırılmak suretiyle uçucu kül barajlarına pompalanmaktadır. Her iki durumda da çevrenin kirlenme riski ortadan kaldırılamamaktadır. Çevre kirliliğini önlemek ve aynı zamanda ucuz bir malzeme kaynağı olarak kullanmak amacıyla, uçucu küllerin çeşitli alanlarda değerlendirilmesine çalışılmaktadır (Anderson ve Jackson 1993).

Her endüstriyel atık gibi uçucu külden de yararlanma olasılıkları araştırılmıştır. Bunların başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir. Silindire sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım bulur. Çimento hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agrega elde edilebilir. Diğer kullanım alanları arasında: beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kumtaşı blokların, endüstriyel seramik ve refrakterlerin, boyaların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanımları sayılabilir.

Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi artırır, ayrıca hidrasyon ısısını azaltır. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külden kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik yani bağlayıcılık özelliği gösterirler.

Antrasit kömüründen veya iyi yakılmayan diğer kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olur. Bu da çimento ve betonda su ihtiyacını artırır; puzolanik özelliği ve kaliteyi olumsuz etkiler. Uçucu kül genellikle çimentodan daha ince taneli olarak elde edilir. Dolayısıyla ilave öğütme gerektirmeden kullanılabilir. Gerektiğinde

seperatörden geçirilerek inceliği daha da arttırılır ve olumlu özellikleri daha etkin hale getirilir.

Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımını hem kullanıcı, hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlar, atık bir madde ortadan kalktığı için çevre korunmuş olur.

Çeşitli ülkelerde uçucu küllerin önemli miktarlarda kullanılmaya başlaması baraj inşaatları sırasında ve betonda hidrasyon ısısını düşürmek amacı ile olmuştur. Örneğin ABD. de ilk kullanım 1940'lı yıllarda önce Hoover daha sonra Hungry Horse barajlarındadır. Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda Gökçekaya ve Porsuk baraj inşaatlarında uçucu kül kullanılmasına karar verildi ve Türk Standardları Enstitüsü uçucu kül (TS 639) ve uçucu küllü çimento (TS 640) standartlarını hazırlayarak yayınlamıştır.

Devlet Su işleri Genel Müdürlüğü'nün baraj uygulamaları dışında Karayolları Genel Müdürlüğü bazı köprü ve yol inşaatlarında deneme amacı ile uçucu kül kullandı. Uçucu küllü çimento hemen hiç üretilmedi. Katkılı çimentolarda ise kısıtlı miktarlarda kül kullanıldı. Geçen süre içinde ülkede uçucu kül kullanımını bu tür uygulamalarla sınırlı kaldı. Kullanılan uçucu kül miktarları yılda elde edilenin %1ine bile ulaşamadı. Ancak son yıllarda, özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları çimento ve beton endüstrilerinde uçucu küle olan ilgiyi arttırmış bulunmaktadır (Türker vd. 2003).

2.3.7.1 Gaz Beton Yapımında Kullanımı

Gaz beton; çimento, kireç, kum ve alüminyum tozları ile uçucu küllerin karıştırılması sonucu elde edilir. Karışıma ilave edilen sıcak su, alüminyum tozları ve kireç arasında bir reaksiyona yol açar. Böylece istenilen boyutlarda elde edilen bloklarda oluşan çok sayıda hidrojen kabarcıklarından hidrojenin uzaklaşp havanın girmesi ile dayanıklı ve hafif bir yapı malzemesi elde edilir. Daha sonra otoklavlarda buhar uygulaması ile fiziksel ve kimyasal özellikleri iyileştirilen bloklar, kullandıkları binalarda ısı yalıtımının yanı sıra, hafif olmaları sebebiyle taşımada da kolaylık sağlarlar (Akar 2000)

2.3.7.2 Yapı Tuğlaları Üretiminde Uçucu Külün Kullanımı

Uçucu küller; çok ince taneli olmaları, sertleştikleri zaman yüksek dayanım vermeleri ve kilin yapısındaki oksitleri içermeleri nedeniyle, tuğla üretiminde kullanılabilir. Uçucu küllerin bünyesindeki karbon, tuğlaların pişirilmesi sırasında enerji tasarrufu da sağlamaktadır (Yılmaz 1992).

Uçucu kül kullanılarak tuğla üretiminde kullanılan, külün miktarına göre değişik durumlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, kil ana malzemedir; uçucu kül, kilin özelliklerini geliştirmek ve bünyesindeki karbonun yanma ısısından faydalanmak için kullanılır(Ergüt 1994).

Kil, uçucu küllerin plastiklik özelliği olmadığı için bağlayıcı olarak kullanılır. Tuğla üretiminde kullanılan uçucu küllerin tane boyutu, tuğlaların özelliklerini etkilemektedir. Tane boyutu küçük küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu büyük olanlara nazaran daha yoğun ve daha dayanıklıdır ve daha düşük pişme küçülmesi oranı ile su emme özelliğine sahiptir(Anderson ve Jackson 1993).

Tuğla üretiminde kullanılan killer, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O ve TiO_2 gibi minerallerden meydana gelmektedir (Tanışan ve Mete 1986).

Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilir. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile tuğlaların kuruma ve pişme küçülmesi azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır (Anderson 1984).

Uçucu küllü tuğlaların üretiminde dikkat edilecek ilk nokta, konunun geliştirilemeyeceğidir. Bütün uçucu küllerin ve killerin aynı özelliklere sahip değildir. Aynı kül, bir çeşit kil ile avantajlar sağlarken, değişik özellikteki başka bir kil ile iyi sonuçlar vermeyebilir.

Uçucu kül ile kilin uygun karışımı bulunduğu zaman aşağıdaki avantajlar elde edilebilmektedir.

- Öğütme değirmeninin kolay beslenmesi (bu sadece yaş veya yapışkan killerde çalışıldığı zaman mümkündür)
- Kalıplama için daha az kuvvet gerekmektedir
- Daha kolay kuruma
- Yakıt tasarrufu ve daha kolay pişirme

Tuğla üretiminde uçucu küllerin tane boyutu, tuğlaların özelliklerinin etkilemektedir. Küçük taneli küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu daha iri olan uçucu küllü tuğlalara göre daha fazla basma mukavemetine ve bulk yoğunluğuna sahiptirler. Ayrıca daha düşük oranlarda pişme küçülmesi ve su emme özelliği gösterirler (Anderson ve Jackson 1983). İnce taneli uçucu küllerin tuğlalarda daha iyi özellikleri göstermesi, maksimum noktada teması sağlayarak yoğunlaşmayı arttırmasından ileri gelmektedir.

Uçucu kül içeren tuğlaların pişirilmesinde sıkıştırılmalı fırınların kullanımı, kil tuğlaların pişirilmesinde kullanılan geleneksel fırınlardan daha iyi sonuçlar vermektedir. Uçucu küllerde karbonun yanma enerjisini daha iyi değerlendirebildikleri için, sıkıştırılmalı fırınların termal verimlilikleri yüksektir.

Uçucu kül özelliklerinin sonuçları öncelikle yanan kömür tipinden, kullanılan gereçlerin yanma, tutuşma tipi ve kullanılan uçucu kül toplama mekanizmasına bağlıdır. Uçucu külün kullanımı, değerli element çıkarımında (tuğla, çimento, agrega) gibi birçok alanda yıllardır çalışılmaktadır. Hala kullanım miktarı çok azdır. Tuğla için kil, gelişmiş uygun plastiklik ve aşırı büzülme yapmadan hızlı kuruma yeteneğinde başlamasının özelliklerini ve dayanımını isteğe göre yapmak zorundadır. Yapı tuğlaları yapımında uçucu külün kullanımı üzerine detaylı birkaç çalışma vardır.

National Thermal Power Corporation Ltd., R&D center, Hindistan da tuğla yapımında uçucu kül-kireç-alçıtaşı sistemi çalışmasında kül kullanımı için derince bir çalışma yapmıştır (Kumar et al., 1996). Uçucu külün bünyede bulunmasına rağmen 240 kg/cm^2

lik kalıp basıncında otoklavlama metodu sayesinde standart kaliteye uygun yapı tuğlası üretilebilmiştir. Uçucu kül tuğlaları ile bazı çözümsüz problemler, yüksek su emme, alçak aşınma direnci, alçak ateş direnci ve yüksek prozite gibidir.

Uçucu külün kullanımı ve yerleştirilmesi Türkiye için önemli bir olaydır. 2000' de 15 milyon ton kül sadece termik santrallerden üretilmiştir. 2020 yılına kadar kül üretimi yılda 50 milyon tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. Şuan uçucu külün çoğu kömür madeninden gelen parçaların yerleştirildiği Elbistan dışında hemen hemen termik santrallerinde yerleşmiştir. Uçucu külün çok küçük bir yüzdesi (%1' den az) yapı uygulamalarında kullanılmaktadır.

Yapılan bir çalışmada (Tütünlü ve Atalay 2001) uçucu kül ve tuğla kili kullanılmıştır. Kil, Ankara yakınında kurulu bir tuğla fabrikasından alınmış ve $2,61 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Uçucu kül ise Çayırhan Termal Elektrik santralinden alınan $2,00 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu uçucu küldür. Tuğla kili, darbeli kırıcı ile (-28 m mesh; 0,589 micron) öğütülmüş ve açık hava ortamında kurutulmuştur.

Tuğlalar, 81 mm yükseklikte ve 38,8 mm'lik çapa sahip silindir kalıplar kullanılarak 300 kg/cm^2 basınçta preslenmiş ve 750, 850 ve 950 °C de yarım saat pişirilmiştir.

Sonuç olarak; 950 °C gibi bir pişirme sıcaklığında %60'a kadar uçucu kül eklenmesinin tuğla kalitesinde önemsiz zararlı etkileri vardır. Yapı tuğlalarına uçucu külün eklenmesi geleneksel yapı tuğlaları ile rekabete gelebilir ve uygun iyi özellikler gösterebilir.

Yapı tuğlalarının üretimi için bir ham madde olarak uçucu külün kullanımı yalnızca kile pratik alternatif değildir fakat bir de farklı ve pahalı problemleri yok eder (Tütünlü ve Atalay 2001).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kil

Çalışmada kullanılan tuğla kili Afyonkarahisar bölgesindeki bir tuğla fabrikasından alınmış olup kimyasal bileşiminde tuğla üretimine zarar verebilecek bileşik bulunmamakta olup kilin kimyasal analizi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan tuğla kilinin kimyasal bileşimi

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O 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

3.1.2 Borik Asit

Çalışmada ETİ A.Ş.’den alınan borik asit kullanılmıştır. ETİ AŞ. Borik asidin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir (İnt. Kyn. 6).

Çizelge 3.2 ETİ AŞ. Borik Asit Özellikleri (İnt. Kyn. 6)

Kimyasal Özellikler: (Tipik)		
	Normal Sulphate	Low Sulphate
Safılık	99.90% min	99.90% min
B ₂ O ₃	56.25% min	56.25% min
SO ₄	500 ppm max	130 ppm max
Fiziksel Özellikler		
Kristal		
Molekül Ağırlığı	61,83	61,83
Özgül Ağırlık	1,435 gr/cm ³	1,435 gr/cm ³
Yığın Yoğunluğu	0,8 gr/cm ³	0,8 gr/cm ³
Tane Boyutu	+1 mm 4%max	+1 mm 4%max
	-0,060 mm 4% max	-0,060 mm 5% max
Toz		
Molekül Ağırlığı	61,81	
Özgül Ağırlık	1,435 gr/cm ³	
Yığın Yoğunluğu	0,7 gr/cm ³	
Tane Boyutu	+1 mm 0%	
	-0,060 mm 30% min	

3.1.3 Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül; Kütahya ilinde faaliyet gösteren, Seyitömer termik santralinden (STS) elde edilmiştir. STS'ye ait uçucu külün; kimyasal, mineralojik ve morfolojik özellikleri bu bölümde açıklanmıştır.

3.1.3.1 Kimyasal Özellikler

Seyitömer uçucu külü, reaktif kireç miktarının % 10' un altında olması (% 2,49) nedeniyle, TS EN 197-1'de verilen V sınıfı (silissi uçucu kül) kapsamına girmektedir. Reaktif silis miktarının % 25' in üzerinde (% 39,01) olması nedeniyle de TS EN 197-1' de V sınıfı uçucu kül için istenilen koşullara tamamen uymaktadır. $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ miktarı ortalama, %88,71 olup ASTM C 618' e göre % 70' in üzerinde ve CaO' in % 10' dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir.

Seyitömer uçucu külü, $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ 'in % 70' in üzerinde olması nedeniyle, TS 639'da istenen şarta uymaktadır. SO_3 değeri TS EN 450 standardında, SO_3 için istenen en fazla % 3 sınırları içinde (% 0,52) kalmaktadır. Düşük kireçli kül olması nedeniyle serbest kireç yüzdesi de % 0,26 olup, standarttaki % 1'lik sınırın altında kalmaktadır (Türker vd. 2003). Seyitömer uçucu külüne ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

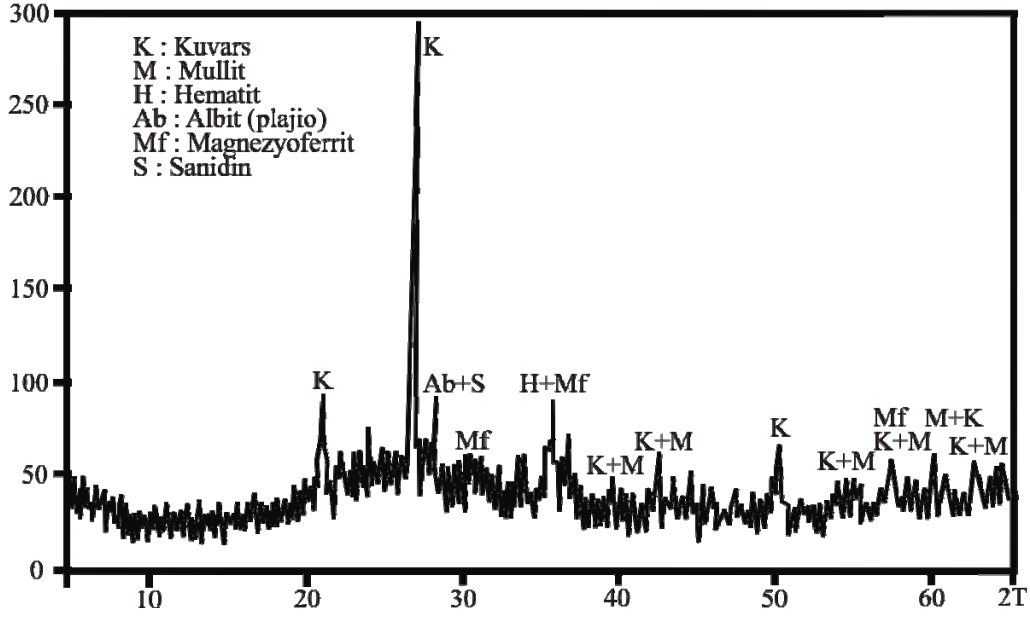
Çizelge 3.3 Seyitömer uçucu külünün kimyasal analiz sonuçları

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S+A+F	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	KK
54,49	20,58	9,27	84,34	4,26	4,48	0,52	2,01	0,65	0,006	3,01

3.1.3.2 Mineralojik Özellikler

Seyitömer termik santrali uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-ışınları difraktogramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Şekilde görüleceği gibi, uçucu külde başta camsı faz olmak üzere, kuvars, mullit, magnezyoferrit, hematit kristalleri ve minör olarak alkali feldispatlar (albit, sanidin) bulunmaktadır. Seyitömer uçucu külünün, X-ışınları difraktogramında camsı fazın 22-25o 2θ arasında maksimum verdiği ve background'un camsı fazca zengin olduğu görülmüştür. Bu durumda camsı fazının kuvars kristalinin maksimum pikine yakın olması nedeniyle silissi karakter taşıdığını gösterir (Türker vd. 2003).



Şekil 3.1 Seyitömer uçucu külünün mineralojik bileşimine ait X-ışınları difraktogramı (Türker vd. 2003).

3.1.3.3 Morfolojik Özellikler

Seyitömer uçucu külü, 1-30 µm arasında değişen büyüklüklerde çoğunluğu küresel bazıları düzensiz şekilli olmak üzere farklı morfolojide tanecikler içermektedir. Özellikle 10 mikronun altındaki taneciklerin içi dolu camsı küreler (solid spheres) halinde olduğu görülmüştür (Türker vd. 2003).

Taneciklere uygulanan mikroanalizde (Türker vd. 2003), bazılarının yüzeyinde magnezyoferrit, hematit biriktiği, masif kütle halinde nadiren rastlanan yapıların alkali feldispat bileşiminde olduğu saptanmıştır. Magnezyoferrit ve hematit demiroksit esaslı bileşenler olup, kömürden gelen piritin oksidasyonu ile oluşan demir oksidin spinel grubunu oluşturan oksitlerle birleşmesi sonucu meydana gelirler.

Taneciklerin HF-asit de çözülmesi sonrasındaki incelemede, çözülmüş camsı yapı, mullit kristalleri ve değişime uğramamış kuvars kristalleri bulunmuştur. Mullit, kaolinit kilinin metamorfizasyonu sonucu oluşmaktadır (Türker vd. 2003).

STS uçucu külüne ait tane boyut analizi değerleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 STS Uçucu külünün lazer tane boyutu analizi

Elek Çapı (µm)	% Geçen	Elek Çapı (µm)	% Geçen
0,5	0,18	46	67
1	1,05	56	72
1,5	1,8	68	77
2	2,43	83	81
2,5	3,75	101	84
4	8	123	87
5	11	150	89
10	22	183	91
20	44	223	94
25	49	272	97
30	55	331	99
37	61	404	100

3.2 Metot

Örneklerin hazırlanması sırasında; uçucu kül, kil ve borik asitten oluşan karışımlar farklı oranlarda hazırlanmış ve bu karışımların oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Hazırlanan Karışımların Hammadde Oranları

Seri No	Uçucu Kül (%)	Kil (%)	Borik Asit (%)
1	100	-	2,5
2	100	-	5
3	90	10	-
4	90	10	2,5
5	90	10	5

Karışımlarda kullanılan uçucu kül, Kütahya’da faaliyet gösteren Seyitömer Termik Santralinden alınmış olup; karışımlarda kullanılan kil ise Afyonkarahisar bölgesinden temin edilmiştir.

Değişik oranlarda uçucu kül, kil ve borik asit kullanılarak yapılan karışımlar sonucunda örnek numuneler hazırlanmıştır.

Karışımların üretimi için uçucu kül, kil ve borik asit hammaddeleri kuru halde homojen bir biçimde karıştırılmış daha sonra bu karışımlara, sert plastik kıvamda (0 slump) karışım elde edilecek biçimde su ilave edilmiştir. Karışımlar homojenliği sağlayıncaya kadar elle karıştırılmıştır.

Hazırlanmış olan karışımlar 50 mm x 100 mm boyutundaki silindir metal kalıp kullanılarak, Resim 3.1' deki manuel olarak kullanılan hidrolik preste 100 barlık basınç altında şekillendirilmiştir.

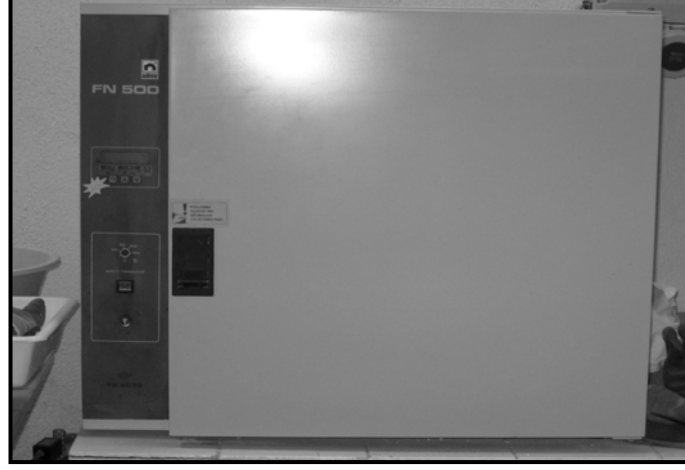
Karışımlara kuru şekillendirme yapabilecek oranda (% 5-10) su eklenmiş ve daha sonra bu karışımlar 50 x 100 mm'lik metal silindir kalıp kullanılmak suretiyle, manuel olarak kullanılan hidrolik el presinde 100 barlık basınç altında şekillendirilmiştir.



Resim 3.1. El Presi

Karışımlarda kullanılan hammaddelerin her biri etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Hammaddelerin kurutulmasında Resim 3.2. 'de gösterilen Nüve

500 marka etüv kullanılmıştır. Malzemeler kurutulduktan sonra Çizelge 3.5’ deki oranlara göre beş farklı seride karışımlar hazırlanmıştır



Resim 3.2. Etüv

Şekillendirmenin ardından üretilen örnek numuneler etüvde kurutulmuş ve daha sonra; 800-900 ve 1000 °C de olmak üzere üç farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Fiziksel özellikler belirlendikten sonra karışım örneklerinin basınç mukavemet testleri 200 kN’luk bilgisayar kontrollü otomatik basınç presinde gerçekleştirilmiştir.

Basınç mukavemet testinde kullanılan cihaz ise bilgisayar destekli pres olup Resim 3.3’de gösterilmiştir.



Resim 3.3 Bilgisayar Destekli Basınç Presi

3.2.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

Örneklerin, su içinde asılı ağırlıkları, yüzeyi kuru halde doymuş ağırlıkları ve etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup kuru tartımları da yapılarak ilgili numunelerin; porozite, bulk yoğunluk ve su emme gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

3.2.1.1 Su Emme

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

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

Sa: Ağırlık olarak su emme

P2: Su emdirilmiş ağırlık, P1: Kuru ağırlık

3.2.1.2 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 kurusu ağırlığı (gr),

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

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

3.2.1.3 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)

W1: Numunenin etüv kurusu 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).

3.2.1.4 Birim Hacim Ağırlık

$$D_h = \frac{M_k}{V_h} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.4)$$

Dh: Birim hacim ağırlığı (kg/m³),

Mk: Etüv Kurusu Ağırlığı (kg),

Vh: Numunenin (Delikleri Dahil) hacmi (dm³).

3.2.1.5 Görünür Yoğunluk

$$Gr.Y. = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (3.5)$$

W1: Numunenin etüv kurusu 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).

4. BULGULAR

4.1 Fiziksel Özellikler

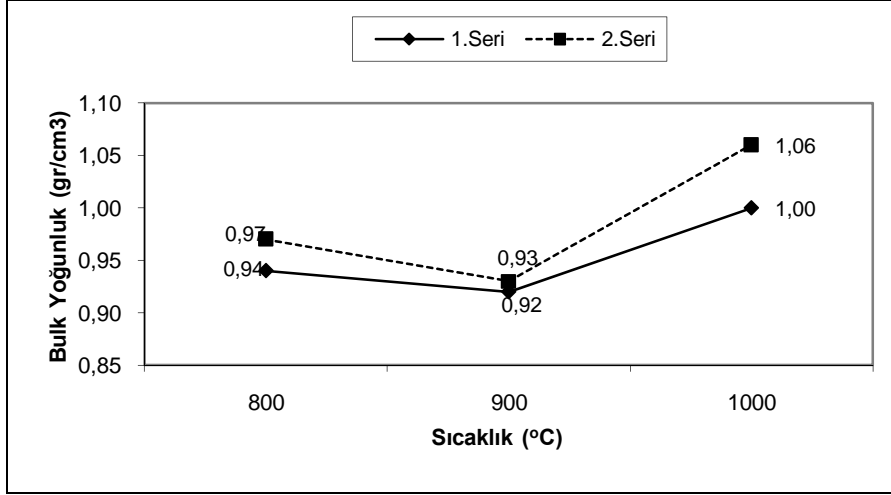
Toplam beş farklı reçeteden oluşan karışım örnekleri farklı sıcaklıklarda pişirildikten sonra örneklerin; bulk yoğunluk, görünür yoğunluk, su emme ve poroziteden oluşan fiziksel özellikleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Karışımların Fiziksel Özellikleri.

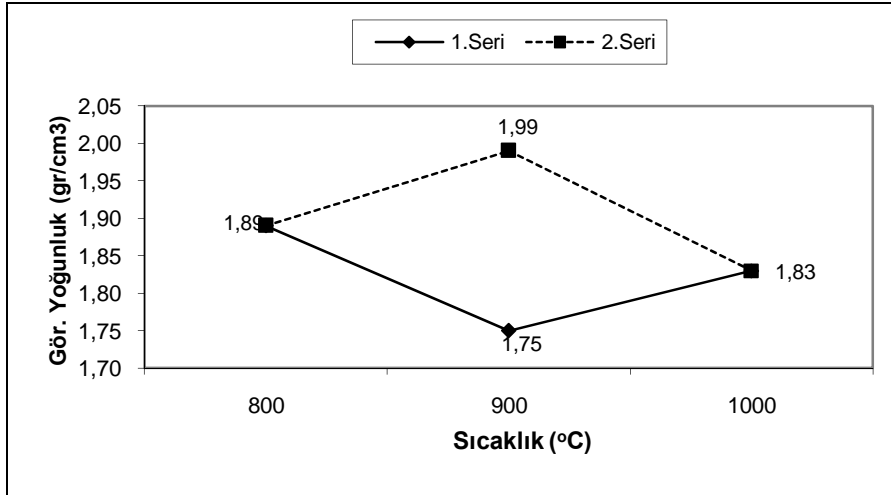
Seri No	Pişme Sıcaklığı (°C)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör.Yoğ. (gr/cm ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Porozite (%)
1	800	0,94	1,89	53,34	50,24
	900	0,92	1,75	51,13	47,21
	1000	1,00	1,83	45,72	45,54
2	800	0,97	1,89	50,55	48,82
	900	0,93	1,99	47,83	48,90
	1000	1,06	1,83	40,02	42,34
3	800	1,02	2,04	48,00	48,90
	900	1,03	1,92	45,22	46,45
	1000	1,12	1,99	40,46	45,23
4	800	1,05	1,92	43,04	45,28
	900	1,08	1,88	39,33	42,55
	1000	1,27	1,87	25,46	32,31
5	800	1,06	1,93	42,46	45,00
	900	1,05	1,86	39,60	41,62
	1000	1,17	1,80	31,63	37,04

Kil ilavesi bulunmayan, 1. ve 2. karışım örneklerinin bulk yoğunluk değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekilde 4.1 ‘de görüldüğü gibi bulk yoğunluk değerleri 1000 °C’ de maksimuma ulaşırken, 900 °C’ de minimum değerleri vermiştir.

Borik asit ilaveli uçucu kül örneklerinde 800 °C’ de ve 1000 °C’ de pişen örneklerin görünür yoğunluk değerleri birbirlerinin değerleriyle aynı çıkarken; %5 borik asit ilaveli uçucu kül örnekleri daha yüksek bir değer vermiştir (Şekil 4.2).

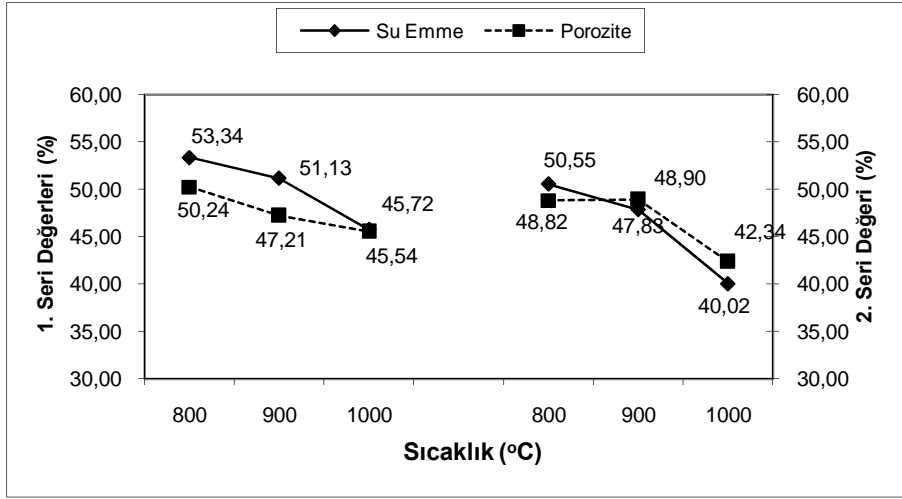


Şekil 4.1 Borik asit katkılı örneklerin bulk yoğunluk değerleri.



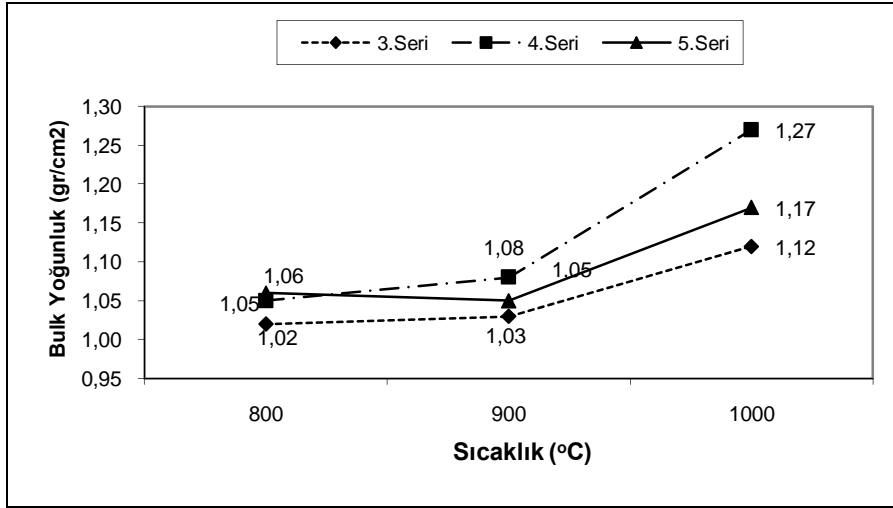
Şekil 4.2 Borik asit katkılı örneklerin görünür yoğunluk değerleri.

1. seri örnekleri bünyesinde bulunan % 5'lik borik asit ilavesi nedeniyle pişirildikleri tüm sıcaklıklarda, %2,5 borik asit ilavesi bulunan örneklerin su emme değerlerinden daha düşük bir değer vermiştir. Porozite değerleri ise 800 °C' de ve 900 °C' de pişirilen örneklerde birbirlerine yakın değerler verirken; 1000 °C' de pişirilen örneklerde en düşük porozite değeri, % 40,02 ile %5 borik asit ilaveli karışım örneklerinde elde edilmiş, en yüksek porozite değeri de %50,24 ile %2,5 borik asit ilavesi bulunan örneklerde elde edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Borik asit katkılı örneklerin su emme ve porozite değerleri.

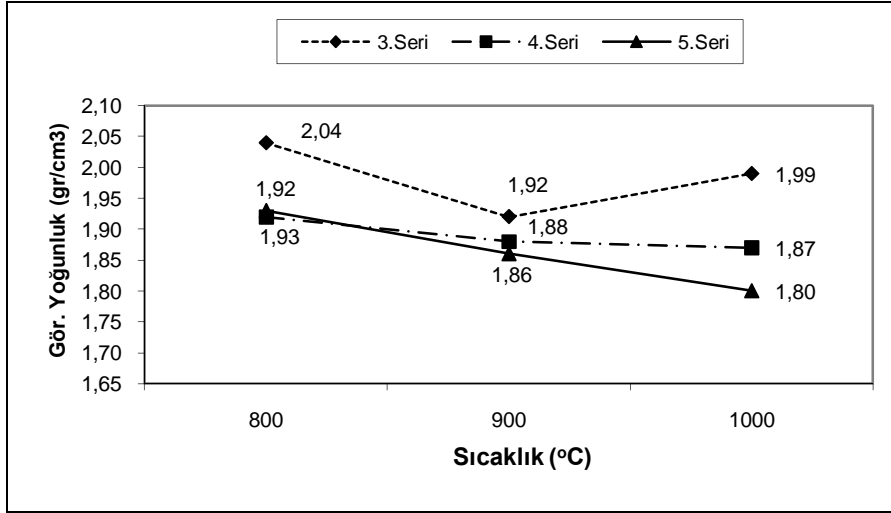
Kil ilave edilen 3., 4. ve 5. karışım örneklerinin bulk yoğunluk değerleri Şekil 4.4’de incelendiğinde, borik asit katkılı (4. ve 5. seri) örneklerin katkısız olan 3. seri örneklerine göre bulk yoğunluk değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4 Kil ilaveli örneklerin bulk yoğunluk değerleri.

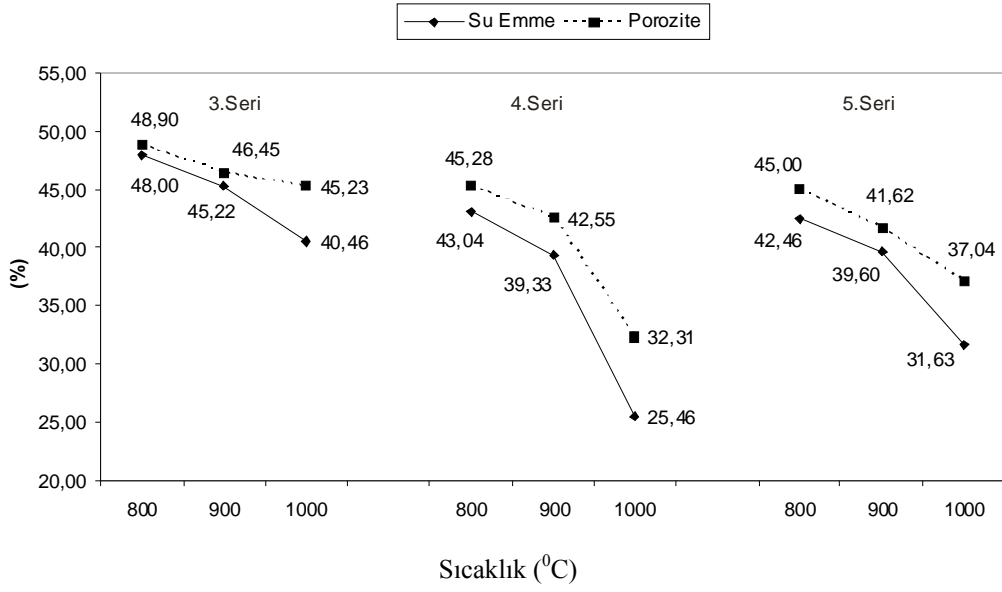
Üç farklı sıcaklıkta pişirilen örnekler içerisinde tüm sıcaklıklarda, borik asit katkısı bulunmayan 3. serinin örnekleri Şekil 4.5’de de görüldüğü gibi, görünür yoğunluk değerleri bakımından en yüksek değerleri vermiştir. Karışımlarında borik asit ilavesi

bulunan 4. ve 5. karışım örneklerinde ise pişirme sıcaklığının artışıyla birlikte görünür yoğunluk değerlerinde azalma görülmüştür.



Şekil 4.5 Kil ilaveli örneklerin görünür yoğunluk değerleri.

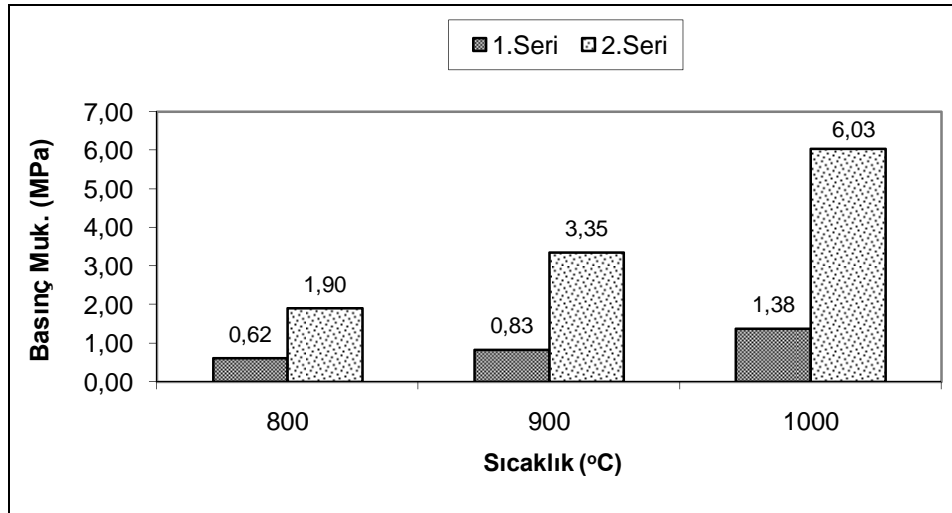
Kil bağlayıcılı serilerin (3., 4. ve 5. Seri) su emme ve porozite değerleri, Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi borik asit katkısı yapıldığında, su emme değerleri katkısız olan seriye oranla düşüş gerçekleştirmiştir. %2,5 borik asit katkılı olan örneklerin değerleri bu grup içindeki en düşük değerleri vermiştir. Ayrıca porozite değerleri incelendiğinde de yine borik asit katkılı serilerin porozite değerleri, borik asit katkısı içermeyen seriye oranla daha düşük sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.6 Kil ilaveli örneklerin su emme ve porozite değerleri.

4.2 Basınç Mukavemeti

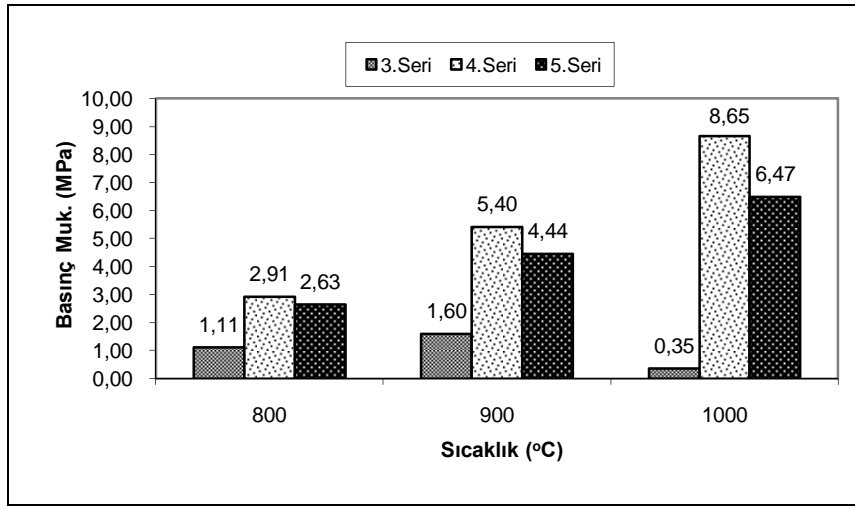
Uçucu küle borik asit ilavesi ile hazırlanan karışım örneklerinin basınç mukavemet değerleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Şekil 4.7’de de görüldüğü gibi sıcaklık arttıkça örneklerin basınç mukavemetleri artmış ayrıca borik asit katkısı arttıkça örneklerin basınç dayanım değerlerinde de belirgin bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 Borik asit katkılı örneklerin basınç mukavemet değerleri.

Kil ilaveli karışımların basınç mukavemet değerleri Şekil 4.8’ de gösterilmiştir. Borik asit katkılı örneklerin basınç dayanım değerleri sıcaklık artışına paralel olarak belirgin bir artış gösterirken, borik asit katkısı içermeyen 3. karışım örneklerinin basınç dayanım değerleri ise; borik asit katkılı örneklerin değerlerinden düşük çıkmıştır.

En düşük basınç dayanım değeri, 3. karışım örneklerinin 1000 °C’ de pişen örneklerinden (0,35 MPa) elde edilirken, en yüksek basınç mukavemet değeri ise 8,65 MPa olarak %5 borik asit katkılı örneklerin (5.seri) 1000 °C’ de pişirilen örneklerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.8 Kil ilaveli örneklerin basınç mukavemet değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan deneyler sonunda çıkan sonuçlar şunlardır:

- Bulgular incelendiğinde uçucu küle kil ve borik asit ilaveli numunelerin (3. , 4. ve 5. karışım) bulk yoğunluk değerleri sadece borik asit ilaveli numunelerin (1. ve 2. karışım) bulk yoğunluk değerlerinden biraz daha fazladır. Buna karşılık kil ve borik asit ilaveli numunelerin (3. , 4. ve 5. karışım) ağırlıkça su emme değerleri sadece borik asit ilaveli numunelerin (1. ve 2. karışım) ağırlıkça su emme değerlerine göre daha düşüktür. Borik asit ile birlikte kilin sinterlemeye olumlu katkı yaptığı düşünülmektedir.
- Bulk yoğunluk değerleri 1000 °C’de pişirilen numunelerin hepsinde maksimuma çıkmıştır. Bulk yoğunluk olarak en ağır numuneler kil ve borik asit ilaveli serilerin 1000 °C’de pişirilen numunelerinde elde edilmiştir. Optimum pişirme sıcaklığı 1000 °C olarak belirlenmiştir.
- Kil katkılı numunelere (3., 4. ve 5. karışım) borik asit ilave edilmesiyle ve sıcaklığın artırılmasıyla birlikte bu numunelerin görünür yoğunluk değerleri azalma göstermiştir. Bunun artan sıcaklıkla birlikte açık gözeneklerin kısmen kapanarak, kapalı por hacminin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Borik asit katkının sinterlemeyi olumlu etkilediği; porozite değerlerini ve buna bağlı olarak su emme değerlerini azalttığı; bulk yoğunluk ve basınç mukavemeti değerlerini arttırdığı belirlenmiştir.
- En yüksek porozite değeri sadece % 2,5 borik asit katkılı 1000 °C’de pişirilen numunede olduğu görülmüştür. Sadece borik asit katkılı numunelerin (1. ve 2. karışım) porozite değerleri kil ve borik asit katkılı numunelerin (3., 4. ve 5. karışım) porozite değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca numunelerin tümünde pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte porozite değerleri azalmıştır. Bunun sıcaklığın artması ile birlikte bünyedeki camsı faz miktarının artarak gözenek miktarının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Uçucu küle sadece borik asit ilave edilmesiyle elde edilen numunelerin (1. ve 2. karışım) basınç mukavemet değerleri ilave edilen borik asit miktarının ve pişirme sıcaklığının artmasıyla birlikte belirgin bir artış göstermiştir.
- Uçucu küle kil ve borik asitin birlikte katıldığı numunelerde (4. ve 5. karışım) belirgin bir mukavemet artışı gerçekleşmiştir. Borik asit katkılı örneklerin basınç dayanım değerleri sıcaklık artışına paralel olarak belirgin bir artış gösterirken, borik asit katkısı içermeyen 3. karışım örneklerinin basınç dayanım değerleri ise; borik asit katkılı örneklerin değerlerinden düşük çıkmıştır. Sonuçta borik asit katkının uçucu kül bünyesinde sinterlemeyi olumlu yönde etkileyerek mekanik özellikleri geliştirdiği belirlenmiştir.

Yapılan bu deneysel çalışmada uçucu küle kil ve borik asit ilave edilerek beş farklı karışım hazırlanmıştır. Bu karışım numunelerine uygulanan deneyler sonucunda fiziksel ve mekanik özellikler olarak en iyi sonuçları, 4. karışım (% 90 Uçucu kül + % 10 Kil + % 2,5 Borik asit) numuneleri vermiştir. Sonuçta borik asit katkının sinterlemeyi olumlu etkilediği, camsı faz yapısını artırdığı ve buna bağlı olarak da mekanik özellikleri geliştirici etki yaptığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak %10 kil ve % 2,5 borik asit katkı katılarak seyitömer termik santral uçucu külü ile optimum şartlarda yapı tuğlası üretilebileceği belirlenmiştir.

6.KAYNAKLAR

ACI COMMITTEE 226, September-October 1987 Use of Fly Ash in Concrete, ACI Materials Journal, pp. 381-409.

Akar, M., 2000. Uçucu Kül Den Üretilen Cam-Seramiklerin Kristalizasyon Kinetiğinin ve Karakterizasyonunun İncelenmesi, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi İstanbul.

Akman, M. S., 2005, "Betonun Dayanımını Yükseltme Amacıyla Yapılan Eski Çalışmalar", SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş. Teknik Bülteni, Sayı: 2005/3.

Akman, M. S., Akçay, B., 2005, "Kimyasal Beton Katkılarının Gelişimi ve Çimentolara Uyumu", Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harç Katkıları) Sempozyum ve Sergisi, 24-25 Mart, Milli Kütüphane-Ankara.

Alkadasi, N. A. N., Hundiwale, D. G., Kapadi, U. R., 2006, "Effect Of Titanate Coupling Agent On The Mechanical Properties Of Flyash Filled Chloroprene Rubber", Polymer-Plastics Technology And Engineering 45 (3): 415-420.

Anderson, M., 1984. Processed High Carbon PFA As A Fuel Additive İn Brickmaking, Inter. Con. On Ash Technology, pp. S63-566, 16-22 Sept., London.

Anderson, M., Jackson, G., 1993. Benefication of Power Station Coal and Its Use in Heavy Clay Ceramics, Trans. J. Brit. Ceram. Soc., Vol.82, No.2, pp. 50- 55.

Aruntaş, H., Y., 2006, "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt: 21, No: 1, pp: 193-203.

ASTM C 618, 1998, "Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standart, No. 4.

- Aydın, A., O., Gülensoy, H., Akıcıoğlu, A., Sakarya, A., 2003, “Kolemanitlerdeki Arseniğin Borik Asit ve Boraks Üretimine Etkisi”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. (2003), Cilt:5, No:1, syf:51-58.
- Aydın, S., Aytaç, A. H., Ramyar, K., 2005, “Çimento Kompozisyonunun ve Kimyasal Katkı Kökeninin Beton Özelliklerine Etkisi”, Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harç Katkıları) Sempozyum ve Sergisi, 24-25 Mart, Milli Kütüphane- Ankara.
- Aytaç, A. H., Aydın, S., Ramyar, K., Çil, İ., 2005, “Kimyasal Katkı Kökeni, Çimento Kompozisyonu ve Çimento Dozajının Taze Beton Özelliklerine Etkisi”, Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harç Katkıları) Sempozyum ve Sergisi, 23-24 Mart, Ankara.
- Bayat, O., 1998. Characterisation of Turkish Fly Ashes, Fuel, Vol. 77, No. 9/10, pp. 1059-1066.
- Bulutçu, N.A., Gürbüz, H., Özgül, Ö., Yavaşoğlu, N., Gür, G., Sayan, P., 1997. Borik Asit Tesisi Araştırma Ve Danışmanlık Hizmetleri, İ.T.Ü. Kimya Metalürji Fakültesi, İstanbul.
- Chand, N., Jain, D., 2006, “Effect Of Temperature On Electrical Behavior Of Flyash-Filled Epoxy Gradient Composites”, Journal Of Applied Polymer Science 100 (2): 1269-1276.
- Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H., A., 2003, “Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi”, BAÜ Fen Bil. Enst. Derg. (2003), Cilt:5, No:1, syf: 99-110.
- Doven, A. G., Pekrioglu, A., 2005, “Material properties of high volume fly ash cement paste structural fill”, Journal Of Materials In Cıvıl Engineering 17 (6): 686-693 Nov-Dec.

- E.İ.E., 1979. Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri Ve Kullanım Olanakları, Genel Yayın Direktörlüğü, Yayın No.81-45, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 1982. Türkiye Uçucu Külleri Üretim ve Kullanılma Olanakları, Sorunlar ve Öneriler, E.İ.E., Yayın No:82-19, 5h. 15, Ankara.
- Eriç, M., 1994, “Yapı Fiziği ve Malzemesi”, Literatür Yayıncılık San., ISBN: 975-7860-01-8, İstanbul.
- Goni, S., Guerrero, A., Luxan, M. P., Macias, A., 2000, “Dehydration of Pozzolanic Products Hydrothermally Synthesized from Flyash: Microstructure Evolution”, Materials Research Bulletin, Vol. 35, 1333-1344.
- Greenwood, N. N., 1973. The Chemistry Of Boron, Vol.8., University Of Leeds Pregamon Press, Oxford.
- Ha, T. H., Muralidharan, S., Bae, J. H., Ha, Y. C., Lee, H. G., Park, K. W., Kim, D. K., 2005, “Effect of unburnt carbon on the corrosion performance of fly ash cement mortar”, Construction And Building Materials 19 (7): 509-515 Sep.
- He, J.Y., Scheetz, B.E., Roy, D.M., 1985. Comparison of tuff and fly ash, in blended cement, American Ceram. Soc., Vol 64, No.5, pp.707-711.
- Jiang, Z.,G., Zhao, Y., 2005, ”Mechanism And Optimal Application Of Chemical Additives For Accelerating Early Strength Of Lime-Flyash Stabilized Soils”, Journal Of Wuhan University Of Technology-Materials Science Edition 20 (3): 110-112, Sep.
- Karla, N., Harit, R. C., Sharm, S. K., 2000, “Effect of Flyash Incorporation on Soil Properties of Texturally Variant Soils”, Bioresource Technology, 75, pp: 91-93.

- Kayataz, Y., 1997. Seramik ve Tuğla Hammaddelerinin Hazırlanması, Ders Notu, İ.T.Ü. Maden Fakóltesi, İstanbul.
- Kayacı, K., Kayacı, B., 2006, “Bilecik-Söğüt Civarındaki Yakacık Kumlu Kilinin Duvar Karosu Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması”, Kil bilimi ve Teknolojisi Dergisi, Kibited (1), 43-48.
- Kolukısa, S., 1999. Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lee, S. H., Kim, H. J., Sakai, E., Daimon, M., 2003, “Effect of particle size distribution of fly ash-cement system on the fluidity of cement pastes”, Cement And Concrete Research 33 (5): 763-768 May.
- Liu, H., Burkett, W., Haynes, K.,”Improving Freezing and Thawing Properties of Fly Ash Bricks”, 2005, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.
- Livingston, R. A., Bumrongjaroen, W., 2001, “Optimization of Silica Fume, Fly Ash and Cement Mixes for High Performance Concrete”, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.
- Matsunaga, T., Kim, J.K., Hardcastle, S., Rohatgi, P. K., 2002, “Crystallinity and Selected Properties of Fly Ash Particles”, Materials science & Engineering A 325, pp. 333-343.
- Mishra, S. R., Kumar, S., Park, A., Rho, J., Losby, J., Hoffmeister, B.K., 2003, “Ultrasonic characterization of the curing process of PCC fly ash-cement composites”, Materials Characterization 50 (4-5),: 317-323, Jun.

- Mendki, P. S., Maheshwari, V. L., Kothari, R. M., 2001, "Flyash as a Post-Harvest Preservative for Five Commonly Utilized Pulses", *Crop Protection* 20, 241-245.
- Müdüroğlu, M., 1999. Tuğla Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özcan, M., 1997. Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerinin ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgen, S., 1997. Geleneksel Seramiklerin Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler, Ders Notu, İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- Özgen, B., 1999. Kolemanit Cevherinden Borik Asit Üretiminde MgSO₄ Safsızlığının Etkileri, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- 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.
- Pozin, M.E., Sabo, Z., 1956. Nitric Acid Decomposition Of Apatite Nepheline ores, *Journal Of Colloids*, Vol.36, pp.53.
- Rao, V. V. B., Rao S. R. M., 2006, "Adsorption Studies on Treatment of Textile Dyeing Industrial Effluent by Flyash", *Chemical Engineering Journal* 116 (1),: 77-84, Feb.
- Saraswathy, V., Muralidharan, S., Thangavel, K., Srinivasan, S., 2003, "Influence of activated fly ash on corrosion-resistance and strength of concrete", *Cement & Concrete Composites* 25 (7): 673-680, Oct.

- Sharma, S., K., Kalra, N., 2006, "Effect Of Flyash Incorporation On Soil Properties And Productivity Of Crops: A Review", Journal Of Scientific & Industrial Research 65 (5): 383-390, May.
- Satapathy, L.N., 2000, "A study on the mechanical, abrasion and microstructural properties of zirconia-flyyash material", Ceramics International, 26, pp:39-45.
- Tanışan, H.H., Mete, Z., 1986. Seramik Teknolojisi ve Uygulaması C.1., Söğüt
- The Economics Of Boron, 8th Ed., Roskill Information Services Ltd., London
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., 2003, "Türkiyede Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri", TÇMB, Ankara.
- Tolon, C., 1973. Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerine Katkı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., 2001, "Uçucu kül Kullanımının Betondaki Etkileri" Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C. XIV, S. 2, 2001 Eng.& Arch. Fac. Osmangazi University, Vol. XIV, No: 2.
- Toros, H., 1987. Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Ens., İstanbul.
- "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanım Olanakları", 1979, E.İ.E. Genel Direktörlüğü, Yayın No.81-45, Ankara.
- Tütünlü, F., Atalay, Ü., W., 2001, "Utilization of Fly Ash in Manufacturing of Building Bricks", 2001, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky.

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri-I, DPT: 2615 – ÖİK: 626.

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, 1996, “Kömür”, Madencilik, Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu, Mayıs, Yayın No: DPT: 2440 – ÖİK: 496.

TS 639, Uçucu Küller, 1975, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 450, Uçucu Kül - Betonda kullanılan - Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, 1998, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 451-1, Uçucu Kül - Deney Metodları - Bölüm 1: Serbest Kalsiyum Oksit Tayini, 2000, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 451-2, Uçucu Kül - Deney Metodu - Bölüm 2: Islak Eleme ile İncelik Tayini, 2000, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 771-1, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar), 2005, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. (TS EN 771-1, TS 704 ve TS 705'in yerini almıştır.)

Uz, V., Işık, İ., Özdağ, H., 2006, “Na₂SO₄ İlavelerinin Seramik Endüstrisinde Kullanılan Kaolenin Özelliklerine Etkisi”, Kil bilimi ve Teknolojisi Dergisi, Kibited (1), 17-25.

Vorres, K.S., 1978. Prediction of Ash Melting Behaviour from Coal Ash Composition, Analytical Methods for Coal and Coal Products, Academic Press, New York.

- Yazıcı, H., 2005, “Yapay Alçı – Uçucu Kül Esaslı Bağlayıcıların Mekanik Özellikleri”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Ocak, Cilt: 7, Sayı: 1, 65-72.
- Yılmaz, Ş., 1992. Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bil. Ens., İstanbul.
- Yılmaz, S.G., 1994. Kılıçlı (Şile-İstanbul) Killerinin Jeokimyasal Mineralojik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, K., Canpolat, F., Arman, H., 2004, “Taban Külü ve Doğal Zeolitin Puzolanik Çimentoda Katkı Olarak Kullanımı”, Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul.
- Zhang, Y. M., Sun, W., Yan, H. D., 2000, “Hydration of high-volume fly ash cement pastes”, Cement & Concrete Composites 22 (6): 445-452 Dec.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1- http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik625.pdf | 17.01.2006 |
| 2- http://www.maden.org.tr/www/7.BYKP/ekutup96/o496/turkiyede_komur_rezervleri.htm | 03.05.2006 |
| 3- http://www.agr.state.nc.us/agronomi/sfn13.htm , | 18.10.2007 |
| 4- http://tr.wikipedia.org/wiki/Kil , | 10.11.2007 |
| 5- http://www.kimyasanal.net/sorugoster.php?soru_id=2786 | 26.04.2007 |
| 6- http://www.etimaden.gov.tr/tr/0_sayfa_ortakSayfa.asp?hangisayfa=4_sayfa_a_5_8 | 26.04.2007 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Orhan AYDIN
Doğum Yeri	Afyonkarahisar
Doğum Tarihi	28/12/1980
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce
	Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise	Anadolu Meslek Lisesi-Elektrik Bölümü
Lisans	Trakya Üniversitesi - Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü
Yüksek Lisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı
	Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl aralığı
2006 -....	İstanbul Emniyet Müdürlüğü - Beşiktaş İlçe Emniyet Müdürlüğü