

**ÇEVRESEL ATIKLARIN KOMPOZİT YAPI MALZEMESİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Taha A. ABDULKAREM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2011

ANKARA

Taha A. ABDULKAREM tarafından hazırlanan “ ÇEVRESEL ATIKLARIN KOMPOZİT YAPI MALZEMESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ayşe MURATHAN

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Aburrahman ASAN

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşe MURATHAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Yılmaz ARUNTAŞ

Yapı Eğitim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Göksel ÖZKAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Aburrahman ASAN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Hitit Üniversitesi

Tarih: 11.05.2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Taha A. ABDULKAREM

**ÇEVRESEL ATIKLARIN KOMPOZİT YAPI MALZEMESİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Taha A. ABDULKAREM

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2011

ÖZET

Bu çalışmada, yurdumuzun çevresel atıkları tuğla kilinde kullanılarak kompozit malzeme üretimi amaçlanmıştır. Ana malzeme Reşadiye kili; dolgu malzemeleri ise Kütahya- Emet Bor İşletmesi bor atığı, Seyitömer Termik Santral uçucu külü ve Ankara-Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurudur. Değişik kaynaklardan elde edilen numuneler önce öğütülmüş daha sonra değişik oranlarda iyice karıştırılmış, nemlendirilmiş ve kalıplara dökülmüştür. Deneyleerde kütle temel alınmak üzere kompozitlerde bor atığı %2,5-20, uçucu kül %2,5-10, arıtma çamuru %0-10 oranında değiştirilmiş ve tuğla kili %75-85 arasında kullanılmıştır. 50x50x50 mm ebadında şekillendirilen numuneler sırasıyla oda sıcaklığında 24 saat, daha sonra 105±1 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Birim hacim ağırlığı, kuruma küçülmesi, su emme, basınç dayanımı ve kütle kaybı testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonunda, TS EN 771-1 standardı olan tuğla fiziksel parametrelerine kısmen yaklaşıldığı tespit edilirken aynı zamanda enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit malzeme üretilmiştir.

Bilim Kodu : 910.1.140

Anahtar Kelimeler : Kompozit malzeme, tuğla kili, basınç dayanımı , kütle kaybı

Sayfa Adedi : 62

Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Ayşe MURATHAN, Y.Doç.Dr. Abdurrahman ASAN

**EVALUATION OF ENVIRONMENTAL WASTES IN COMPOSITE
BUILDING MATERIAL**

(M.Sc. Thesis)

Taha A. ABDULKAREM

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2011

ABSTRACT

In this study, it was aimed to product composite material by using environmental wastes of our country in brick clay. It was selected Reşadiye Clay as main material and boron waste of Kütahya-Emet Boron Works, fly ash of Seyitömer Power Plant and wastewater treatment sludge of Ankara- Tatlar Wastewater Treatment Plant as filling materials. Obtained samples from various resources were firstly grinded, then well mixed in different ratios, moistened and poured into the molds. In the experiments boron waste (2,5-20%), fly ash (2,5-10%) and treatment sludge(0-10%) were changed in composites as mass based respectively and brick clay was used between 75-85%. Shaped samples which have 50x50x50 mm dimension were dried at room temperature for 24 hours, then at 105±1 °C for 12 hours, respectively. Specific bulk density, drying shrinkage, water absorption, compressive strength and loss of weight tests were carried out. At the end of the tests, it has been concluded approach to the TS EN 771-1 brick standard physical parameters partly also, it has been produced energy saving and environment friendly composite material.

Science Code : 910.1.140

Key Words : Composite material, brick clay, compressive strength, loss of weight

Page Number : 62

Adviser : Prof.Dr.Ayşe MURATHAN, Assist. Prof.Dr. Abdurrahman ASAN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Ayşe MURATHAN'a ve Y. Doc. Dr. Abdurrahman ASAN'a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Atilla MURATHAN'a, ayrıca bana yardım eden tüm Kimya Mühendisliği'ndeki arkadaşlara ve beni bugünlere getiren, her zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kil.....	3
2.1.1. Killerin sınıflandırılması	4
2.1.2. Killerin fiziksel özellikleri	5
2.1.3. Tuğla yapımında hammadde olarak kil.....	9
2.1.4. Kil tuğlalarının üretimi.....	10
2.1.5. Tuğla yapım aşamaları	12
2.1.6. Tuğlanın sınıflandırılması	12
2.1.7. Tuğlaların özellikleri.....	14
2.2. Bor Atıklarının Oluşumu ve Değerlendirilmesi	15
2.3. Arıtma Çamuru.....	17
2.3.1. Birincil arıtma çamuru	18
2.3.2. İkincil arıtma çamuru	18
2.3.3. İleri arıtma çamuru	19
2.3.4. Arıtma çamurunun bileşimi.....	19
2.4. Uçucu Kül.....	22

Sayfa

2.4.1. Uçucu külün tanımı ve tarihçesi.....	22
2.4.2. Uçucu küllerin sınıflandırılması.....	24
2.4.3. Uçucu küllerin fiziksel ve mekanik özellikleri	24
2.4.4. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri	26
2.4.5. Uçucu külün kullanım alanları	28
3. LİTERATÜR ARASTIRMASI	32
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	40
4.1. Kullanılan Malzemeler	40
4.1.1. Kil.....	40
4.1.2. Bor atığı.....	40
4.1.3. Uçucu kül	41
4.1.4. Arıtma çamuru.....	42
4.2. Deneysel Yöntem	43
4.2.1. Kurutma işlemleri.....	44
4.2.2. Kontrol numunesinin hazırlanması	44
4.2.3. Birim hacim ağırlığı deneyi.....	44
4.2.4. Kuruma küçülmesi (rötre) deneyi	45
4.2.5. Su emme deneyi	45
4.2.6. Basınç dayanımı deneyi	45
4.2.7. Kütle kaybı deneyi	46
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
5.1. Blok Tuğla Standard Değerleri.....	47
5.2. Kontrol Numunesi	47
5.3. Birim Hacim Ağırlığı	47

Sayfa

5.4. Kuruma Küçülmesi (rötre)	48
5.5. Su Emme	50
5.6. Basınç Dayanımı	52
5.7. Kütle Kaybı	53
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
6.1. Sonuçlar	56
6.2. Öneriler	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	62

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Arıtma çamurlarının genel özellikleri	20
Çizelge 2.2. Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.3. Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları.....	22
Çizelge 2.4. Türk uçucu küllerinin yoğunluk dağılımı ve özgül yüzey alanları	25
Çizelge 2.5. Değişik termik santral uçucu küllerin kimyasal kompozisyonu	28
Çizelge 4.1. Reşadiye kilinin kimyasal analizi	40
Çizelge 4.2. Emet Borik asit Fabrikası atıklarının kimyasal analizi	41
Çizelge 4.3. Seyitömer Uçucu Külünün kimyasal analiz sonuçları	42
Çizelge 4.4. Kurutulmuş arıtma çamuru analiz sonuçları	43
Çizelge 4.5. Hazırlanan karışımların kütlece yüzde oranları	43
Çizelge 5.1. TS EN 771-1 Blok tuğla değerleri	47
Çizelge 5.2. Birim hacim ağırlığı sonuçları	47
Çizelge 5.3. Kuruma küçülmesi yüzdesi sonuçları	49
Çizelge 5.4. Su emme yüzdesi sonuçları.....	50
Çizelge 5.5. Basınç dayanımı sonuçları	52
Çizelge 5.6. Kütle kaybı sonuçları	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Basınç dayanımı deneyi şematik gösterimi.....	46
Şekil 5.1. Birim hacim ağırlığı.....	48
Şekil 5.2. Kuruma küçülmesi.....	49
Şekil 5.3. Su emme.....	51
Şekil 5.4. Basınç dayanımı.....	52
Şekil 5.5. Kütle kaybı.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
BHA	Birim hacim ağırlığı
MPa	Mega Pascal
µm	Micrometre
Kısaltmalar	Açıklama
10B5K	%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül
10K5B	%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı
5BKÇ	%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru
10B4K1Ç	%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru
20B4K1Ç	%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru
10Ç2,5BK	%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı
AB	Avrupa Birliği
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
ASTM	Amerika Test ve Malzeme Komitesi
BOI	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EDX	Enerji Dağılımlı X-Işını
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPA	Çevre Koruma Ajansı
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
STS	Seyitömer Termik Santrali
TS	Türk Standardı
EEA	Avrupa Çevre Ajansı
XRD	X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

Bugün bor ürünleri birçok endüstri dalının ana ham maddesidir. Kullanım alanlarında tüketimin hızla artışı kadar, yeni kullanım alanlarının da günden güne artışı ve borun yakın gelecekte enerji üretim kaynağı olarak kullanılabilme olasılığı bu hammaddeye diğerleri arasında bir ayrıcalık kazandırır. Bilinen dünya bor rezervlerinin %70'ten daha fazlasının Türkiye'de bulunuşu, bu hammaddenin önemini bizim açımızdan daha da artırır. Bu nedenlerle bor cevherlerinin en verimli şekilde üretimi ve açığa çıkan atıklarının etkili şekilde bertaraf edilmesi, madencilik sektörü ve ülkemiz açısından önem arz etmektedir. Günümüzde atıklarının çevreye zarar vermeden uzaklaştırılması, ülke madenciliğinin gelişmesinin ve büyümesini etkileyen en önemli teknik problemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

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. 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 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.

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddelerin yanısıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır.

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. Borun işlenmesi sırasında çıkan atıklar ile atık suların arıtılmasında çıkan arıtma çamurları ve uçucu kül bu konuda örneklerdir.

Bu çalışmada tuğla kili ağırlıklı kompozit yapı malzemesi üretiminde, bor atığı, atık çamur ve uçucu külün katkı maddesi olarak kullanılması ve malzeme kalitesine etkileri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

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 kiler, 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 üretilebilmektedir. Üstelik dekoratif amaçlı üretilen birçok tuğla da mevcuttur. Özellikle İngiltere'nin bu konuda çok eskilere dayanan tecrübesi vardır [Müdüroğlu, 1999]. Killer, çok ince taneli (0,02 mm) çökelti oluşumları olup, su ile muamele edildiklerinde plastik özellik kazanan, Al_2O_3 içeriği yüksek olan minerallerdir. Bu mineraller, genellikle feldspatların veya volkanik kayaların 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 plastiklik kil tanelerinin boyutuna, katyon değişim kapasitesine ve ortamın

pH'sına göre değişen kenar-yüzey yüklerine bağlıdır. Plastik killerin tane buyutu genelde çok incedir. Bunun yanısıra, 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 plastikliğini 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. 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, $Al_2O_3.SiO_2.2H_2O$ dur [Guggenheim ve Martin, 1995].

Genel olarak kil, muayyen bir kristal bünyesine sahip, tabii, toprağımsı, ince taneli, muayyen miktarda su katıldığı zaman plâstikliği artan bir malzemedir. Kil mineralleri esas itibarıyla alüminyum hidrosilikatlarıdır. Bazı killer tek bir kil mineralinden ibarettir. Fakat çoğu birkaç mineralin karışımıdır. Killer içinde kil minerallerine ilâveten kuartz, kalsit, feldspat ve pirit gibi mineraller "kil olmayan malzeme" olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri de organik maddeleri ve suda çözünebilir tuzları ihtiva ederler [Akıncı, 2006].

2.1.1. Killerin sınıflandırılması

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. 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.

Ateşe dayanıklılıklarına göre

Killer yüksek ısıda sinterlenmeleri sırasında gösterdikleri özelliğe göre ateşe dayanıklı killer ve eriyebilen killer olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Ateşe dayanıklı killer; yüksek ısıda katı durumlarını korurlar. Ancak 1580 °C üstünde yumuşayıp erirler. Eriyen killer; 1550 °C' nin altında yumuşar ve erirler. Bu killer eritken maddeler ismini verebileceğimiz oksitler, feldispatlar, mineral kalıntıları ince dağılmış kuvars ve CaCO_3 'ca zengindirler.

2.1.2. Killerin fiziksel özellikleri

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 birbiri üzerinde kayarak verilen şekli alır. İki cam levha ısıtıldığında nasıl birbiri 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 plastiklike suyu %20-40 arasında değişir. Diğer taraftan plastiklik, irili ufaklı taneciklerin yanyana olmasına da bağlıdır [Yılmaz, 1994].

Yağlılık

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 gözenekliliği de 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 pürüzlü bir görünüştedir. Suda çabuk açılıp dağılırlar. Az su kaldırırlar ve özsüzdürler. Bağlama özelliği zayıftır. Çünkü birçok kum taneciğini bağlamıştır. Yüksek ısılarda ancak sinterleşmeyle yaklaşırırlar. Kırılmalığa karşı dayanıklılık kazanırırlar [Kayta, 1997].

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 çıktıktan 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 genişmeden ayırılır. 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 bünyeyi tamamen terk eder [Koroğlu, 2007].

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].

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: Yağlı killerin kuru mukavemeti, yağsız killere oranla daha yüksektir. Killerin tane büyüklükleri belirli oranda karışık olmalıdır. Çünkü aynı büyüklükteki kil taneciklerinin kuru mukavemeti daha azdır.

Kuru mukavemete etki eden başka 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. 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.

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 başlayınca 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 pişirilmeye uygun değildirler, büzölmeleri 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 topak 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 bileşikleri gelir. Kilde üç değerlikli demir bileşikleri varsa miktarına

göre sarı kırmızı veya koyu kırmızı renk verir. İki değerlikli demir bileşikleri gri, koyu gri ve siyah renk verir. Fırın atmosferinin yükseltgen veya indirgen oluşuna göre de pişme renkleri değişebilir. Mesela, demir bileşiklerinden ileri gelen renklilik yükseltgen pişme atmosferinde koyu sarı ise, indirgen atmosferde beyaza yakın açık bir renkte pişer. Mangan ve titan bileşiklerinin varlığı demir renklendirmesini daha da arttırır. Özellikle demir yanında titan bulunmasıyla, demir ve titanın birlikte oluşturacakları çift oksit $Fe_2 O_3-TiO_2$ (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].

2.1.3. 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, mangan 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.

2.1.4. 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 büzülme 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 amaç pişirme safhasındaki biçim değişikliği ve çatlamayı azaltmaktır. Kurutma normal atmosferik veya kontrollü sıcaklık ve nem şartlarında suyun buharlaştırılmasıdır.

Pişirme 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 pişirme özel ateşleme deliklerinden başlatılır ve birkaç hafta veya daha fazla devam eder. Harman boyunca farklı pişirme derecesinden dolayı tuğlaların kalitesi farklı olur ve bazıları az, bazıları da çok pişer. Bu ve diğer sebeplerden dolayı harmanda pişirme birkaç küçük çalışma dışında çok büyük bir oranda yerini fırında pişirmeye bırakmıştır. Fırında pişirme için özel inşa edilmiş odalarda veya tünellerde sıcaklığın kontrolü yapılarak pişirme 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.

2.1.5. 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. Burada kurutulan tuğlalar pişirmeye hazırdır. Tuğlalar belli aralıklarla "Hofman fırın" adı verilen fırının içine yerleştirilir ve kenarlarına odun yığılır. Bu işlemlerden sonra fırının ağzı 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 sunulmaktadır.

2.1.6. 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, ateş tuğlası, sırlı tuğla ve zemin döşeme tuğlası gibi özel kullanım amacı için üretilen tuğlalardır [TS EN 771-1,2005].

Harman tuğlaları

1970'li yılların başlarına kadar oldukça yaygın olan harman tuğlası üretimi ve kullanımı giderek bu günlerde 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/cm^2 , en küçük ortalama basınç dayanımı 23 kg/cm^2 olarak bulunmuştur.

Fabrika tuğlaları

Fabrika tuğlalarından düşey deliklilerde delik oranı % 15'den az ise dolu tuğla sınıfına girmektedir. Yatay delikli tuğlalar taşıyıcı tuğla olarak kabul edilmemektedir. Düşey delikli tuğlaların boşluk oranı % 15'den azdır. Bunlar taşıyıcı tuğla olarak kullanılabilir. 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. Basınç altında biçimlendirilmiş tuğlalarda presden çıkış yönüne dik ya da paralel yönlerdeki basınç dayanımları da farklı olmaktadır. Genellikle presden çıkış yönüne paralel yönde basınç dayanımı dik yöndeki basınç dayanımına göre daha yüksek bulunmaktadır.

2.1.7. 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 dayanıklıdır. Tuğla malzemenin içindeki kuartz, kaolinit ve mika ısı etkisi ile kuartz kristobalit, mullit ve bunları bağlayan bir camsı malzeme oluştururlar, inşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200 °C civarındadır. Tuğla üretimi önemli ölçüde yakıt gerektirir. Adi tuğlalar, harman tuğlası, 800 °C' 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 hacminin tuğlanın toplam hacmine oranıdır ve yüzde olarak belirtilir. Genellikle tuğlanın porozitesi %25'den fazla ise giderek basınç dayanımı azalır. Hava koşullarına açık ve sıva ile kaplanmayacak tuğlalarda porozite %15'den yüksek olmamalıdır. Basınç dayanımı tuğlanın en önemli özelliğidir. Tuğlanın porozitesi, pişirilme ısısı, üretim biçimi gibi pek çok faktörün fonksiyonudur. 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. 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 kütle 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 olmasını sağlamak gerekir.

2.2. Bor Atıklarının Oluşumu ve Değerlendirilmesi

Artan tüketim ve buna bağlı olarak artan endüstriyel üretim, doğal kaynakların (hammadde ve enerji) kullanılabilirliğinde önemli bir düşüşe sebep olmuştur. Buna karşılık, doğrudan geri dönüşümü mümkün olmayan yan ürünlerin ya da istenmeyen malzemelerin artışı yeni çözümler üretmeyi şart kılmıştır. Günümüz teknolojisi, daha önceden artık olarak nitelendirilen malzemelerin yeniden kazanımına olanak sağlamaktadır. Endüstriyel açıdan önemli bor bileşikleri arasında boraks (tinkal, sodyum kökenli bor bileşikleri), kolemanit (kalsiyum kökenli bor bileşikleri), üleksit (sodyum-kalsiyum kökenli bor bileşikleri) ana gruplaması altında kernit, probertit, szyabelit, datolit, sasolit, boraks dekahidrat, boraks pentahidrat, susuz boraks, borik asit, sodyum perborat, susuz borik asit, hidroborasit sayılabilir. Bor madenlerinin değeri genellikle içindeki B_2O_3 (bor oksit) ile ölçülmekte, yüksek oranda B_2O_3 bileşiğine sahip olanlar daha değerli kabul edilmektedir. Bu mineraller arasında en önemlileri tinkal ve kolemanittir. Bunların yanı sıra üleksit, kernit, probertit ve szyabelit de ticari açıdan önemlidir. Madencilik faaliyetleri sonucunda genellikle zenginleştirilmiş üleksit, tinkal, kolemanit, boraks veya borik asit gibi mineraller elde

edilir. Bor kullanılarak üretilen bor bileşiklerinin ise en önemlileri boraks pentahidrat, susuz boraks, boraks dekahidrat ve borik asittir [Yılmaz, 2002].

Bor minerallerinin yapısında çoğunlukla kil mineralleri içermesi, örneğin Emet Borikasit fabrikası atığının minerolojik yapısı Jips, Kuvars (çok çok az), Feldispad (çok çok az) şeklindedir, bu atıkların seramik sanayinde değerlendirilebileceğini akla getirmektedir. Atık killerin tuğla sanayinde değerlendirilmesi ile hem tuğla sanayine ek hammadde kaynağı sağlamakta hem de işletmede atıkların atılması sırasında ortaya çıkan problemler en aza indirilmektedir. Atık killer seramik sanayinde frit, sir ve masse yapımında, inşaat sektöründe çimento ve betona katkı malzemesi, yol, baraj ve köprü yapımında dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir. Son zamanlarda artan çevre bilinci madencilik sektöründe de kendisini hissettirmiş, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi hususunda çeşitli yönetmelikler ve standartlar getirilmiştir. Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda;

- Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak,
- Çevreyi kirleten unsurlar en az düzeye indirilecek,
- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır.

Türkiye'de ticari öneme sahip bor minerallerinden Kırka tinkal minerali, birbirine yakın miktarlarda montmorillonit ve dolomit içeren gri killer ile dolomitçe zengin beyaz killerden ve kalsitten oluşmakta [Sabah ve Yeşilkaya, 2000]. Bursa- Kestelek bor işletmelerindeki kolemanit atıkları ile Kütahya-Emet-Hisarcık işletmesindeki kolemanit atıkları montmorillonit, kalsit, klorit ve biyotit gibi paramanyetik mineraller içerirken, Balıkesir- Bigadiç atıkları, montmorillonit, jips ve kalsit ihtiva etmektedir [Bozkurt, 1989]. Bor atıklarının kil içeriği bakımından zengin oluşu, sözkonusu atıkların değerlendirilmesine yönelik bilimsel çalışmaları; seramik başta olmak üzere, tuğla ve çimento sektörüne yönlendirmiştir.

2.3. Arıtma Çamuru

Arıtma çamuru, arıtma proseslerinden kaynaklanan sıvı ya da yarı katı halde, kokulu, uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak kütleça %0,25 ile %12 katı madde içeren bir yan üründür ve ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40-60 g kuru madde olduğu belirtilmektedir [Caballero, 1997]. Arıtma çamurları çıkış kaynaklarına göre üç başlıkta incelenebilir:

- Yerel yönetimlerce işletilen atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; sadece evsel atıksu veya evsel, endüstriyel ve yağmur sularının arıtıldığı atıksu arıtma tesisleri,
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları;
- İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları; içme sularının kullanımdan önce arıtılması zorunludur ve içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarı atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamur miktarına göre önemli ölçüde düşüktür.

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanısıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır [EEA, 1998]. Bu çamurlar, çökebilen katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltme çamurları, kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar, biyolojik arıtma prosesleri sonucu oluşan biyolojik çamurlar ve içme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan alum çamurları gibi arıtımın tipine ve amacına bağlı olarakta sınıflandırılabilir. Klasik atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurları, birincil, ikincil ve ileri arıtma proseslerinden çekilmektedir. Her bir arıtma prosesi, atıksu kirlilik yükü üzerinde farklı etkilere sahiptir. Buna bağlı olarak oluşan çamurlarda farklı yapıdadır.

2.3.1. Birincil arıtma çamuru

Özellikle büyük şehirlerde yaygın olarak kullanılan ön arıtma sistemlerinden çıkan çamurdur. Ön arıtmanın temel prensibi çökebilir haldeki katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasıdır. Ön arıtma sistemlerinde oksijen gereksinimi olan maddelerin giderilmesi esas değildir, ancak BOI'nin bir kısmı çökebilir katı maddeler ile birlikte giderilir. Kendiliğinden çökebilir nitelikli ve esas olarak inorganik karakterdeki katı maddeler ızgara, kum tutucular ve ön çökeltme havuzlarında tutulurlar. Özellikle ızgaralarda tutulan kaba nitelikte çökebilir katı maddeler evsel katı atık niteliğinde olduğundan herhangi bir işleme gerek duyulmadan kentsel katı atıklarla birlikte uzaklaştırılırlar. Ham çökeltme çamuru olarak isimlendirilen bu çamurların organik madde içeriği % 60-80 arasındadır ve su içeriği ise oldukça yüksektir [Filibeli, 1996].

2.3.2. İkincil arıtma çamuru

Çözünabilir nitelikteki organik maddelerin biyolojik oksidasyonunun yani BOI gideriminin yapıldığı ikincil arıtmada oluşan çamurdur. İkincil arıtmada BOI biyolojik proseslerle giderilir ancak fiziksel ve kimyasal arıtma işlemleri de bu amaç için kullanılabilir. Biyolojik sistemlerde aktif maddeler mikroorganizmalardır ve lagünler, aktif çamur ve damlatmalı filtre veya biofiltrasyon prosesleri gibi çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Lagünlerde bakteriyel bir çoğalma lagün içerisinde sağlanır ve organik maddeler CO₂ ve biyokütleye dönüştürülür. Gerekli oksijen lagüne yapay havalandırma ile verildiği gibi, genelde sistemde mikro ve makrofit aktiviteler ile fotosentetik olarak sağlanır. Pratik uygulamalarda atıksu, daha yüksek bir giderim seviyesine ulaşılması için birkaç lagünden geçirilir. Bu teknik atıksuyun geniş alanlarda arıtımı için uygundur [İnternet, 2010]. En yaygın kullanılan ikincil arıtma prosesi aktif çamur sistemidir. Sudaki organik maddenin giderimini sağlayan biyokütle, sıvı içinde süspanse halde bulunur. Aktif çamur, havuz içerisinde aerobik şartlarda askıda çoğaltılmaktadır. Havalandırma havuzu içine hava, difüzörler, yüzeysel havalandırıcılarla verilir. Havalandırma tankındaki biyokütle son çökeltme havuzunda çökeltilir, bir kısmı yeniden kullanılmak üzere tesis başına gönderilir.

Atılan biyokütle atık aktif çamur olarak bilinir ve arıtma tesisi için gerçek problemlerden biridir. Damlatmalı filtreler de yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma yöntemidir. Filtre yataklarından kopan katı partiküller son çökeltme havuzunda arıtılmış sudan ayrılır. Bu çamur filtre humusu olarak bilinir ve miktarı azdır. Filtre humusu ve atık aktif çamur genellikle ham ön çökeltme çamuru ile karıştırılır ve anaerobik çürütücülerde çürütülür. Sonuç materyal karışık çürük çamur olarak isimlendirilir ve son ıslah öncesi suyunun alınması gerekir. Anaerobik çürütücüye alternatif olarak, atık aktif çamur aerobik olarakta çürütülür. Atık aktif çamur ayrı bir tank içine alınır ve birkaç gün süre ile havalandırılır. Böylece çamur içindeki uçucu katı maddeler biyolojik olarak stabilize olur. Sonuçta oluşan çamur aerobik çürük çamur adını alır [Filibeli, 1996].

2.3.3. İleri arıtma çamuru

İleri arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar, kimyasal prosesler ve bakteriyel faaliyet nedeniyle oluşan istenmeyen nütrientlerin (azot ve fosfor) giderilmesi için ikincil arıtma proseslerine ek olarak kurulan sistemlerde oluşmaktadır. İleri arıtım, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması için gereklidir. Ortamda amonyak ve nitratın oluşumu toksiktir ve azot giderimi, N₂ oluşumu ile gelişen biyolojik bir prosestir. Her bir adım spesifik bakteriler ile yürütülür ve gelişimi için farklı şartlara ihtiyaç vardır. Fosfor giderimi ise kimyasal ve biyolojik proseslerin birlikte kullanılması ile uygulanır. Fosforun fiziksel-kimyasal giderimi ile aktif çamur tesislerinde üretilen çamur miktarı %30 oranında artar. Biyolojik arıtma fosfor giderimine uygun spesifik mikroorganizmalar ile yürütülür. Arıtma sırasında bakteri bünyesinde biriken fosfor, atılan çamurun arıtımını zorlaştırmaktadır [Krogmann vd., 1997].

2.3.4. Arıtma çamurunun bileşimi

Arıtma çamurları, kirlenici yanı sıra tarımsal değere sahip bileşikleri içermektedir. Tarımsal değeri olanlar organik maddeler, azot, fosfor ve potasyum ile birlikte az

miktarda kalsiyum, sülfür ve magnezyum, kirleticiler ise, ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenlerdir.

Katı madde içeriği

Çamurun katı ve sulu kısımları arasındaki oran, katı madde konsantrasyonu olarak tanımlanır ve mg/L veya % katı madde olarak belirtilir. Örneğin özgül ağırlığı 1 olan bir çamur için; 10000 mg/L katı madde konsantrasyonu, % 1 oranında katı maddeyi ifade eder. Askıda ve çözünmüş katı maddelerin toplamı toplam katı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Konsantre atıklar ve özellikle endüstriyel çamurlar için mg/L olarak yapılan hesap yüzdeye çevrilemez. Çeşitli arıtma işlemlerinde beklenen çamurların genel özellikleri Çizelge 2.1 de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Arıtma çamurlarının genel özellikleri[Filibeli, 1996]

Parametre	Arıtılmamış Birincil Çamur		Çürütülmüş Birincil Çamur		Aktif Çamur
	Aralık	Tipik	Aralık	Tipik	Aralık
Toplam Katı, %	2,0 - 8,0	5,0	6,0 - 12,0	10,0	0,83 - 1,16
Uçucu Katı, %	60 - 80	65	30 - 60	40	59- 88
Yağ ve Gres, %	6,0 - 35,0	-	5,0 - 20,0	18	5,0 - 12,0
Protein, %	20 - 30	25	15 - 20	18	32 - 41
Azot, %	1,5 - 4	2,5	1,6 - 6,0	3	2,4 - 5,0
Fosfor, %	0,8 - 2,8	1,6	1,5 - 4,0	2,5	2,8 - 11,0
Potasyum, %	0 - 1	0,4	0 - 3,0	1	0,5 - 0,7
Selüloz, %	8,0 - 15,0	10	8,0 - 15,0	10	-
Demir, %	2,0 - 4,0	2,5	3,0 - 8,0	4	-
Silisyum, %	15,0 - 20,0	-	10,0 - 20,0	-	-
pH	5,0 - 8,0	6	6,7 - 7,5	7	6,5 - 8,0

Organik madde içeriği

Çamurdaki organik içerik çoğunlukla hidrokarbonlar, aminoasitler, küçük proteinler ve yağlar gibi çözünmüş maddelerden oluşmaktadır. Evsel özellikteki arıtma çamurlarının organik içeriği çamura uygulanan şartlandırma ve arıtma yöntemlerine göre değişmekle birlikte genellikle kuru bazda %50 den fazladır. Aşağıdaki Çizelge 2.2'de evsel arıtma çamurlarının organik içeriği evsel atıklar ve hayvansal gübreler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Çamurun organik içeriğinin karşılaştırılması[Filibeli, 1996]

	Organik Madde İçeriği % kuru madde
Evsel Çamur	
Aerobik çürütme	60 - 70
Anaerobik çürütme	40 - 50
Termal Yöntemler	< 40
Kireçle Arıtma	< 40
Kompost	50 - 85
Evsel kompost	40 - 60
Tarım atık vb. kompost	30 - 60
Hayvansal gübre	45 - 85

Evsel arıtma çamurlarının organik içeriğinin hayvansal gübrelere yakın değerlere sahip olmasına karşın, Avrupa Birliği ülkelerinde tarımsal kullanımda toprağa ilave edilecek organik madde oranı 5 ton/hektar ve 10 ton kuru madde/hektar ile sınırlandırılarak toprağın fiziksel özelliklerine minimum etki oluşturacak çamur miktarı belirlenmiştir. Bununla birlikte, uygulanan bu limit değerler ile tarımsal kullanımda dikkate değer bir fayda elde edilememiş ancak arazi ıslahı amacıyla ilave edilen çamurlar ile daha önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Arıtma çamurunun organik içeriğinin hızla mineralize olması sonucu topraktaki kirletici ve nitrat miktarlarında bir artış meydana gelmiş, ancak özel uygulamalar ile organik maddelerin daha yavaş

mineralize olması sağlanarak yer altı sularına sızma ile tehlike oluşturacak azotun potansiyel riski azaltılmıştır [Sanchez-Monedero vd., 2004]. Arıtma çamurundaki çok sayıda ağır metaller bulunmaktadır. Ağır metaller, bitkilerin yaşaması, büyümesi ve mikroorganizmaların gelişimi için olumsuz etkilere sahiptir ve canlı, insan ve çevrede birikmektedir. Çizelge 2.3' te, arıtma çamurlarında bulunan ağır metaller ve sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. Arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonları [Özdemir,2010]

Ağır Metal	TKKY/EK 1B-Sınır değerleri ¹ , mg/kg fırın kuru madde	EKAÇTKY/EK 1B-Sınır değerleri ² , mg/kg fırın kuru madde
Cd	40	10
Cr ³⁺	1200	1000
Cu	1750	1000
Hg	25	10
Ni	400	300
Pb	1200	750
Zn	4000	2500

1.Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

2.Evsel ve Kentsel Arıtma ÇamurlarınınToprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik

2.4. Uçucu Kül

2.4.1. 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 [Perçinel vd., 2000]. 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. Çevreyi olumsuz olarak etkileyecekleri için, uçucu küllerin santral bacasından çıkarak 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. 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]. Türkiye'de uçucu kül kullanımına ait detaylı veriler bulunmamakla birlikte genellikle çimento ve tuğla üretimi ile baraj yapımında kullanıldığı görülmektedir. Bu gün Dünya'da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. 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 [Aruntaş, 2006].

2.4.2. 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.

2.4.3. 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 açıktır. İyi yanmamış kömürlerin uçucu küllerinin koyu rengi, yapılarında mevcut yanmamış karbondan ileri gelmektedir. Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütülme 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 elektrotrelerde veya siklonlarda tutulma hassasiyetleridir. Sistemi terk eden küller ne kadar iyi yakalanırsa, o oranda ince taneli küller elde edilmektedir. Elektrotrelerde daha ince uçucu küller tutulabildiği için, elektrotrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulandan daha

küçüktür. Genel olarak, uçucu kütlelerin tane boyutları 1-100 μm , özgül yüzeyleri ise 0,1-0,5 m^2/g 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. Türk uçucu küllerinin yığın yoğunluğu 0,88 den 1,44 e, özgül ağırlığı ise 1,83 den 2,99'e kadar değişim gösterir. Aynı zamanda tane boyutunun azalması ile birlikte, yığın ve özgül ağırlık da artmaktadır. Önemli yoğunluk farkları ise muhtemelen duvar kalınlıklarına, boşluk hızına ve parça çapının dağılımlarını etkilemektedir. Düşük yığın 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. Çizelge 2.4'ta çeşitli uçucu küllerin yığın yoğunlukları ve özgül yüzey alanları görülmektedir.

Çizelge 2.4. Türk uçucu küllerinin yoğunluk dağılımı ve özgül yüzey alanları [Bayat, 1998]

Uçucu kül	Yığın Yoğunluğu (g/cm^3)	Özgül Ağırlık	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 Fe_2O_3 olduğunu göstermiştir [Kolukısa, 1999].

Uçucu külün erime sıcaklığı, elde edildiği şartlara, uygulanan prosesin maksimum ve minimum sıcaklıklarına bağlı olarak değişir. Yapılan bir deneyde, yan yükseltgen-yarı 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.

2.4.4. Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu küllerde çok yüksek miktarlarda yer alan oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'dir. Bunların yanı sıra, bir miktar CaO , MgO , C (çok ince taneli durumda olan yanmamış kömür) ve Na_2O '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]. 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 pm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak, 2,1- 2,7 (ortalama 2,4) g/cm^3 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 olmaktadır. 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. Uçucu külün kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma, toz toplama, desülfirizasyon gibi) bağlıdır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ve CaO olup, diğerleri SO_3 , 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; SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO 'in miktarları, uçucu külün silisli veya kireçli yapıda olmasına göre geniş aralıkta değişmektedir. Buna göre, uçucu külde; SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 olarak ve CaO , %1-40 değerleri arasında bulunmaktadır.

Çizelge 2.5'te, değişik termik santrallerden elde edilen uçucu küllerin içerikleri gösterilmektedir. Buradan görülebileceği gibi, birçok uçucu küldeki " $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ " 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 olmamalıdır. 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. Uçucu küllerde, az miktarlarda da olsa, MgO , SO_3 , alkali ve karbon yer almaktadır. Bunların oranının yüksek olması istenmemektedir [Bayat 1998].

Çizelge2.5. Değişik termik santral uçucu küllerinin kimyasal kompozisyonu [Bayat, 1998]

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.

2.4.5. 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 değerlendirilmeye 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. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım alanı 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 küle 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 artırılır ve olumlu özellikleri daha etkin hale getirilir. Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de küle 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 Gökçe kaya ve Porsuk baraj inşaatlarında uçucu kül kullanılmasına karar verilmiştir.

Devlet Su İşleri 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 kullanımı bu tür uygulamalarla sınırlı kaldı. Kullanılan uçucu kül miktarları yılda elde edilenin %1'ine 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.

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 vd., 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 husus uçucu küllerin ve killerin aynı özelliklere sahip olmadığıdır. 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.

- Ögütme 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 özelliklerini etkilemektedir. Küçük taneli küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu daha iri olan uçucu küllü tuğlalara göre daha fazla basma mukavemetine ve yığın 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 arttırmamasından 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. 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. Uçucu külün çok küçük bir yüzdesi (%1' den az) yapı uygulamalarında kullanılmaktadır [Aruntaş, 2006].

3. LİTERATÜR ARASTIRMASI

Weng vd. (2003), çalışmasında endüstriyel atık su işleme tesislerinden toplanan kurutulmuş çamurdan üretilen tuğlaları araştırmıştır. Yapılan testlerin sonuçları, çamur oranı ve yanma sıcaklığının tuğla kalitesini belirleyen iki faktör olduğunu göstermiştir. Çamur içeriğini artırmak tuğlanın rötresi, su emilimi ve basınç mukavemetinde azalmalara neden olmuştur. Tutuşma anındaki kütle azalışı, yanma işlemi süresince yanmakta bulunan ve çamur içerisinde bulunan organik madde içeriğiyle ilgili olduğu vurgulanmıştır. İyi kalitede tuğla üretiminin % 24 nem ile % 10 çamuru ihtiva eden karışımlarda ve 880 °C – 960 °C’ de pişirilmesiyle elde edilebildiği belirtilmiştir.

Morais vd. (2006), yapı malzemeleri üretiminde atıksu çamuru-kil karışımının 1050 °C’de 3 saat boyunca pişirilmesi esnasında, çamurdaki organik maddelerin tamamen elimine edilmesiyle yüksek sıcaklık uygulaması sonrası genişleyen gaz çıkışı nedeniyle oluşan mikrodelliklerin, nihai malzemenin akustik ve termal izolasyon özelliklerini geliştirdiğini SEM, XRF ve ICP-OES analizlerinde Zn, Ni, Cr, Cu, Al oksitlerinin çamurun katılaştırılmış seramik matriksine entegrasyonu ile belirlemiştir. Kurutulmuş atıksu çamurunun yapı malzemelerinde bileşen olarak kullanılması, örneğin tuğla, kiremit ve çimento üretiminde çamur-kil karışımının kullanılmasının dünya çapında sık denenen bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Wiebusch ve Seyfried (1997), kanalizasyon atık suyu çamurundan elde edilen küllerin tuğla ve seramik endüstrisindeki kullanımını incelemiştir. Almanya’daki kül üretimi konusu tartışılmış ve farklı atık su arıtma yöntemlerinin etkisi incelenmiştir. Demir içeren çöktürme maddelerinin kullanılmasının külün kalitesini oldukça etkilediği ve kimyasal bileşimlerine bağlı olarak farklı küllerin karıştırıldığı kilden yapılan tuğlaların seramik kalitelerindeki etkilerinin farklı olduğu belirlenmiştir.

Tay (1987), atık su arıtma tesislerinden çıkan çamurun bertarafının sorun oluşturduğunu, genellikle susuzlaştırılan çamurun araziye dağıtıldığını veya arazide

sızmaya bırakıldığını ve büyük şehirlerde çamurun arazide sızmaya bırakılmasının yönetmeliklerden dolayı uygun olmadığını; yakmanın bir alternatif çözüm olabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, yakma işleminden sonra önemli miktarda kül üretildiğinden bunların değerlendirilmesi için bu çalışmada tuğla yapımında kurutulmuş çamur ve çamur külünden yararlanılmasının sonuçları gösterilmektedir. Tuğla yapımında kille karıştırılabilen kurutulmuş çamur ve çamur külünün maksimum yüzdelerinin sırasıyla %40 ve %50 olduğu, basınç dayanımı %0 çamurda 87,2 N/mm² iken %40 kurutulmuş çamurda 37,9 N/mm²'ye ve %50 çamur külünde ise 69,4 N/mm² değerine düşüş gösterdiği belirlenmiştir.

Kaya vd. (2009), Eti Maden Kirka Boraks Şirketinden öğütülmüş boraks katı atıklarının maksimum %40 oranında tuğla yapılarının içine katıldığı çalışmalarında, hazırlanan tuğla kurutulmuş ve daha sonra elektrikle ısıtılan bir fırının içinde 850-1000 °C arasındaki sıcaklıklarda yakılmıştır. Nihai ürünlerin fiziksel, mekanik ve mikro yapısal değişiklikleri incelendiğinde, fritlenmiş katı boraks atıklarında yakma işlemi esnasında diyopsit oluşması ile tuğla yapılarının özelliklerinin arttırdığı tespit edilmiştir.

Abalı vd. (2007), fosforik asit tesislerinde ve bor konsantratörlerinde üretilen atıkların yapısal tuğla üretiminde kullanımını araştırmıştır. İlave edilen atığın oranı, pişirme hızı ve pişirme sıcaklığının tuğla yapısını etkilediğini; bu parametrelerin performansı belirlemek için doğal kurumunun kısaltılması, su emmesi ve kütle kaybı gibi bazı kriterlerin ölçülmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle, bu parametrelerin atık kullanılarak üretilen tuğlalar üzerinde etkilerinin ölçülmesi için çok sayıda deney yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, üç farklı malzeme kombinasyonu için yani orijinal atık artı normal tuğla kili, yıkanmış atık artı normal tuğla kili ve hiç katkı maddesi bulunmayan normal tuğla kili için yaklaşık olarak 220 deney yapılmış ve fosforik asit tesislerinin ürettiği sanayi atıklarının tuğlaların kurutmanın kısaltılması, kütle kaybı ve su emmesiyle ilgili performansını arttırabildiğini göstermiştir.

Kavas (2006), Kirka'da bulunan konsantratör tesisinden bor kili atığı (CW) ve toz bor atıklarının(FW) kırmızı tuğlanın (RM) üretiminde katkı maddesi olarak

kullanılabilirliğini incelemiştir. Malzeme karakterizasyonu üzerine laboratuvar çalışmaları ve tuğla üretimi için endüstriyel düzeyde testler yapılmıştır. Benzer kimyasal kompozisyonlar sahip olan ama farklı tip ve miktarda oksit içeren CW ve FW, yüksek miktarda Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 ve alkaliler içeren RM'de kütleça % 5, 10 ve 15 oranında eklenmiştir. Altı farklı numune setinde 700, 800 ve 900 derecelerde fırınlama yapılarak pişmiş tuğlaların üzerinde kuruma küçülmesi, eğilme ve basınç dayanımı, pişme büzülmesi, su emme, dona dayanım ve zararlı magnezyum ve kirece direnç testleri uygulanmıştır. Mineralojik ve mekanik test sonuçlarına göre RM tuğlaların üretiminde bor atıklarının kullanımının mümkün olduğu ayrıca, kırmızı tuğlaya kütleça 15% CW ve FW eklenmesiyle elde edilen numunelerin en iyi mekanik dayanım gösterdiği belirlenmiştir.

Ren vd. (2006) çevre kirliliğini ve kaynak israfını engellemek için bor sedimenti, uçucu kül ve çok az demir içeren madenin kullanılmasıyla ve pişirme ile bir tür tuğlanın geliştirildiği çalışmalarında en iyi bileşim oranının kütlece sırasıyla 4:2:4 olması halinde 1100 °C'lik pişirme sıcaklığında ve 20 Mpa kalıplama basıncında fiziki özelliklerin daha iyi olduğu; ısı değişim katsayısının sıradan kil tuğlanın yaklaşık yarısı olduğu ve ısı korunumu özelliğinin de sıradan kil tuğlaya göre çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Uslu ve Arol (2004), bor maden çıkarma ve işleme çalışmalarında, büyük miktarda cevher içeren kil oluştuğunu; bunun maddi kaybın yanısıra ciddi çevre sorunlarına da yol açtığını belirten çalışmalarında atıkların bertarafı için büyük alanlar ayrılması gerektiğini ve bu sorunu gidermek için, boraks konsantratöründen elde edilen cevher içeren kilin kırmızı tuğla imalatında kullanılabilirliğini incelemiştir. Kütlece % 30 oranında posa ilave edilmesinin tuğlanın kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir.

Binici vd. (2010), uçucu kül ve bazaltik pomza taşının kaliteli pişirilmiş kil tuğlasının üretiminde katkı maddesi olarak kullanıldığı çalışmalarında % 100 kil ; eşit miktarlarda ve kütlece %5, 10 ve 20 oranlarında uçucu kül ve bazaltik pomza taşının kullanıldığı tuğlalarda her numune 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda 8 saat pişirilerek birim hacim ağırlığı, zararlı magnezyum oksit ve kireç, kuruma

küçülmesi, su emme, basınç ve eğilme dayanımı, donma ve kanallaşma testleri yapılmıştır. Test sonuçları standart değerlerle karşılaştırıldığında, uçucu kül ve bazaltik pomza taşının uygun katkı maddeleri olduğu ve pişirilmiş tuğla üretiminde verimli şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Satapath (2000), zirkonya ve uçucu kül katkıları ile farklı kompozisyonlarda tuğla üreterek, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda artan katkı oranıyla su emmenin azaldığı ve sertliğin arttığı, üç noktalı eğilme dayanımında %10 katkı oranına kadar artış gösterdiği, fakat %10 oranının üstündeki karışımlarda bu değer azaldığı tespit edilmiştir.

Lav. ve Lav. (2000), uçucu külün içyapısı, kimyasal ve mineralojik özellikleri, termal analiz sonuçları nedeniyle kaldırım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Uçucu külün çimento ve kireç ile stabilize edilmesinde kimyasal karışıma, kristal yapıya ve hidrasyona etkisi test edilmiştir. ASTM F sınıfı düşük kalsiyum içerikli uçucu kül kullanılmış olup, yanmamış karbon içeriği % 0,90 - 1,28 arasındadır. Çimento ve kireç stabilizasyonlu uçucu külün aynı şartlarda üretildiği çalışmada ürünlerde X-ray difraksiyon analizi sonucunda karbonatlaşma olmadığı, karışımların aynı basınç dayanımı değerlerini gösterdiği ancak kireç stabilizasyonlu örneklerde; miktar, yoğunluk ve hidrasyon gelişim sürecinin, çimento stabilizasyonlu örneklerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Yıldırım ve Alatas (1997), yaptığı çalışmada Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünü yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte kullanmıştır. Kireç ve uçucu kül oranları için %0, %5, %10, %15 seçilmiş ve bu numunelere 7 ve 28 günlük kürlenmeden sonra serbest basınç mukavemeti deneyleri uygulanmıştır. Aynı kireç oranı için, uçucu kül oranı arttıkça basınç mukavemetleri de artmış, %10 uçucu kül oranından sonra ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu deneylerin sonuçları, Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünün bir mineral katkı maddesi olarak kullanıldığında zemin-kireç karışımlarının özelliklerini iyileştirdiğini ve stabilizasyonda kullanılan diğer yapı malzemelerinden daha az kullanarak tasarruf sağlanacağını göstermiştir.

Yeğınobalı ve Öztok (1997); silis dumanı ve uçucu kül içeren taşıyıcı Bims betonları ile ilgili çalışmasında Çayırhan uçucu külü kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yaklaşık 500 kg/m^3 çimento dozajı ve çimentonun %15' i kadar silisdumanı ile toplam bağlayıcı malzemenin %2'si kadar akışkanlaştırıcı kullanarak 48 MPa'a kadar ulasan 28 günlük beton basınç dayanımları elde edilebilmiş, betonlarda kuru birim ağırlık 1950 kg/m^3 , ısı iletkenlik değerleri $0,55 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$ gibi göreceli olarak düşük olmuştur. Taşıyıcı hafif betonlarda yüksek dayanım elde edilebilmesi için yapılan çalışmada, uçucu kül ilavesi ile betonda su ihtiyacının ve ayrışmanın azaldığı, mekanik dayanımda azalan çimento oranı yerine kullanılan uçucu külün aynı özellikleri sağladığı ve daha az kuruma rötresi görüldüğü tespit edilmiştir. Bu tür betonların üretimi, uçucu kül ve silis dumanı gibi endüstriyel atıkların değerlendirilmesini de sağlamaktadır.

Özçelik (1975), yapmış olduğu çalışmada tuğlaların üretim aşamalarındaki farklı hammadde ve karışım oranı, farklı pişirme sıcaklığı ve farklı tip fırınlama teknikleri sebebiyle çok değişik dayanım gösterdiklerini ifade etmiştir.

Öneş (1988), şekillendirilmiş tuğlaların pişirme öncesi belirli bir mukavemet kazanmaları ve pişirme sırasında röt ve çatlamayı engellemek için kurutulması gerektiğini ifade etmiştir. Kurutma işleminin normal atmosferik şartlarda doğal olarak yapılabileceği gibi, sıcaklığın ve nemin kontrol altında tutulabildiği özel kurutma odalarında da yapılabilir olduğunu tespit etmiştir.

Tokyay ve Çetin (1991), çalışmasında tuğla yapımında kullanılan ideal kil içerisinde % 15'den fazla kalker ve bitkisel atıklar bulunmaması ve yarı yağlı olarak tanımlanan kil olması gerektiğini, kullanılacak kilin kimyasal yapıdan çok mekanik özelliklerinin önemli olduğunu, kullanılacak tuğla malzemesinin suyla yoğrulmasında kolayca şekil alabilmesi ve içindeki suyu kaybettiği zaman bu halini koruyabilmesi gerektiğini, şekillendirilerek kurutulan malzemenin pişirilmeden önce şekil yapısını koruyacak düzeyde dayanıklı olması gerektiğini, pişirme sonrasında hacim küçülmesinin maksimum % 5 civarında olması ve üretilen tuğlanın kullanım

alanında öngörülen dayanım değerlerine sahip olması gerektiği tespitlerinde bulunmuştur.

Ekmekyapar ve Örüng (1993), yapmış oldukları çalışmada tuğla üretimindeki son aşamanın pişirme olduğunu, bu sırada kilde kimyasal reaksiyonların sonucunda 300 °C civarında organik maddelerin tamamen yandığını, 550 °C’ da molekül suyunun bileşimi terk ederek karışımın silis ve alümina haline ayrıştığı ve 550–900 °C arasında silis ve alüminanın tekrar birleşerek metakaolin silikatu ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşturduğunu tespit etmiştir. Pişirme sıcaklığının artmasının tuğlanın mekanik dayanımını arttırdığından, su emmesini azalttığından ve birim hacim ağırlığını arttırdığından bahsedilmiştir. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığının tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olduğu ve bu nedenle pişirme sıcaklığının 900– 980 °C arasında olması gerektiği tespitlerinde bulunmuştur.

Köktürk (2002), çalışmasında kil minerali ihtiva eden, belli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen, şekillenme özelliğine sahip ve 900–1000 °C’de pişirildiğinde, çatlamadan sertleşebilen bütün toprakların, tuğla-kiremit hammaddesi olup tuğla toprağının genellikle illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözünebilen tuzlar içerdiğini belirtmiştir. Kil minerallerinin en önemli özelliği belirli oranda su ile (% 25–35) karıştırıldığında plastikleşmesi, şekillenmesi ve kurutulup pişirildikten sonra dayanıklı bir malzeme olmasıdır. Kil içinde bulunan silisli, demirli ve alkali bileşiklerin plastikliğini ve ateşe dayanma yeteneğini azalttığını ifade etmiştir.

Demir (2003), çalışmasında tuğlaların dayanıklılığı ve mekanik özellikleri üzerine atık tuğlaların geri dönüşümünün etkileri analiz edilmiştir. Yanmış atık tuğlalar çevreye dikkate değer bir zarara neden olabilmektedir. Bu amaç için, Türkiye’ de Batı Anadolu’ da bulunan Çorum bölgesinden atık tuğlaların kimyasal ve mineralojik yapıları araştırılmıştır. Toz haline getirildikten sonra örnekler iki kategoriye bölünmüştür: A; 4,75 mm elekten geçenler (kaba), B; 600 µm elekten geçenler (ince). Karşılaştırma yapabilecek test sonuçlarını elde edebilmek için atıkların

kütlesel oranlarda (0, 10, %20 ve % 30) pişmemiş ham tuğla kiline katılmıştır. Tuğlaların mekanik özelliklerini belirlemek için standart test metotları farklı sıcaklıklarda uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, kütlece % 30 luk bir ince malzeme katkısı ile 900 °C' de ısıtılan test örneği uygun mukavemeti vermiştir. Bu malzemenin endüstride yeniden kullanımının, arazilerin ve çevrenin korunmasına katkıda bulunabilir olduğunu belirtmektedir.

Lingling (2004), çalışmasında düşük kaliteli ıslak uçucu külü, pişmiş tuğla üretmek için kil hammaddesine katarak büyük miktarda kil yerine uçucu külün katılmasıyla, tuğlanın yanma parametreleri ve özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar uçucu külün karışım oranı arttıkça kil ve uçucu kül karışımının plastisite indeksinin çarpıcı bir biçimde azaldığını göstermiştir. Tuğla imalatında, plastisite çıkışını karşılamak için karışımın plastisite indeksini artırmaya yönelik bir katkı seçilebilir. Yüksek oran uçucu kül katkısıyla oluşan tuğlaların katılma sıcaklığı yaklaşık 1050 °C dir, bu değer normal kil tuğlalardan 50 ila 100 °C daha fazladır. Pişmiş tuğlanın özellikleri toz haline gelmiş uçucu kül kullanılarak artmıştır. Yüksek oranda kullanılan uçucu küllü pişmiş tuğlalar daha yüksek basınç mukavemeti, düşük su emilimi, kalsiyum oksitten dolayı oluşan daha az çatlama, buzlanmama ve buz erimesine karşı yüksek bir dayanım göstermekte olduğunu çalışmasında belirtmiştir.

Çiçek ve Tanrıverdi (2006), çalışmasında uçucu külün, kömür yakıtlı termik santrallerde atık malzemesi olarak ortaya çıkmakta olduğunu fakat bu atığın sadece küçük bir kısmından ham madde olarak beton ve çimento üretiminden faydalanılmakta olduğunu belirtmiştir. Yaptığı bu çalışmada Seyitömer termik santralinden çıkan uçucu külden hafif ağırlıklı tuğla üretimi araştırılmıştır. Uçucu kül, kum ve kireç karışımları, tuğla örnekleri üretmek için değişik koşullar altında fırınlanmıştır. Bunun sonucunda en uygun hammadde karışım oranları % 68 uçucu kül, %20 kum ve % 12 kireç olarak bulunmuştur. Optimum tuğla kalıplama basıncı 20 Mpa, optimum fırınlama süreci ve fırınlama basıncı sırasıyla 6 saat ve 1,5 Mpa bulunmuştur. Uçucu kül-kum-kireç tuğlalarının en uygun test koşulları altında belirlenen basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı ve su emme değerleri sırasıyla 10,25 MPa, 1,14 g/cm³ ve % 40,5 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucu

göstermiştir ki, Seyitömer termik santrali uçucu külünden iyi kalitede hafif ağırlıkta tuğlalar üretmenin mümkün olduğunu belirtmiştir.

Singh (2006), galvanizleme ve metal bitirme işleminden oluşan atıklarda Pb, Cu, Cr, Zn vs. gibi metallerin varlığından dolayı tehlikeli olarak kabul edilmekte olduğunu belirterek kil ve uçucu külün mevcudiyetinde bu tip atıkların ısısal iyileştirilmesi ile bunların toksisitesinin azaltılabileceğini belirtmiştir. İyileştirme işleminden sonra oluşan katılaşmış kütleden yapılarda faydalanılabilir veya zehirli maddelerin tekrardan hareketlenmesine şüphe bırakmayacak şekilde arazi dolgusuna bırakılabilirler. Bu çalışmada yerel olarak bulunan kil ve özel olarak termik santralden alınan uçucu kül, 850 °C, 900 °C ve 950 °C’ de farklı oranlarda, atıkların her ikisinde ısısal iyileştirme için katkı olarak kullanılmışlardır. Gözlenen sonuçlar göstermiştir ki, atıkların toksik metallerinin hareketsizliğinde ısınma sıcaklığı anahtar etken olmuştur. Şuna dikkat edilmiştir ki, atıkların metallerinin filtrelenmeleri, 950 °C’ de ısıtıldıktan sonra önemsiz bir seviyeye düşmektedir. Isısal olarak iyileştirilen atığın %10 luk katılaşmış örneği ve kalan kil, bina yapılarında kullanılan pişmiş kil tuğladan oldukça yüksek basınç mukavemeti göstermiştir. Yine de çinko kaplama atığından yapılan termik olarak ısıtılmış modeller, metal işleme atığı modelinden daha iyi mukavemet göstermiştir. Katılaşmış maddenin XRD analizleri, metal oksitlerin karışım aşamalarının varlığını doğrulamıştır.

Bu çalışmada, ham tuğla kilinde çevresel atıklar olan uçucu kül, bor atığı ve arıtma çamuru değişik kütle oranlarında kullanılarak kompozit yapı malzemesi üretimi hedeflenmiştir. Basınç dayanımı, su emme, kuruma küçülmesi, birim hacim ağırlığı ve kütle kaybı deneyleri sonucunda kurutma sıcaklığının düşük tutulması ile enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit yapı malzemesi elde edilebilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Kil

Çalışmada kullanılan tuğla kili Reşadiye-Tokat yöresine ait olup kimyasal analizi Çizelge 4.1'de verilmiştir [Kocakuşak vd., 1997].

Çizelge 4.1. Reşadiye kilinin kimyasal analizi

Bileşim	%
SiO ₂	61,40
Al ₂ O ₃	18,00
Fe ₂ O ₃	3,01
FeO	-
MgO	0,80
CaO	0,66
Na ₂ O	1,90
K ₂ O	0,30
TiO ₂	0,35
Toplam su	12,36
Eser Element.	-
P ₂ O ₅	-
SO ₃	-
CO ₂	1,05
S	0,07

Kil hamuru hazırlanmadan önce, alınan kil örnekleri bilyalı değirmende öğütülmüş, etüvde 105±1 °C' de kütlesi sabit kalacak şekilde kurutulmuş ve 0,2 mm ortalama partikül boyta olan kil kullanılmıştır.

4.1.2. Bor atığı

Bor atığı Eti Holding Eti Bor A.Ş.'ye ait Kütahya-Emet konsantratör ve bor türevleri tesislerinin atık barajından temin edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan bor atığının bileşimi Çizelge 4.2'de verilmiştir [Koçak, 2010].

Çizelge 4.2 Emet Borik asit Fabrikası atığının kimyasal analizi

Bileşim	%
B ₂ O ₃	4,07
SiO ₂	22,88
CaO	25,2
MgO	10,85
Fe ₂ O ₃	0,6
Al ₂ O ₃	1,62
Na ₂ O	0,12
K ₂ O	1,66
LiO	0,08
TiO ₂	0,21
Kızdırma kaybı	32,71

Bor atıkları kil hamuruna katılmadan önce bilyalı değirmende öğütülmüş, etüvde 105±1 °C' de kütlesi sabit kalacak şekilde kurutulmuş ve 0,2 mm partikül büyüklüğünde kullanılmıştır.

4.1.3. Uçucu kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül; Seyitömer Termik Santralinden (STS) elde edilmiştir. Yığın yoğunluğu 0,88 g/cm³, özgül ağırlığı 1,58 ve özgül yüzey alanı 0,115 m²/g olun diğer uçucu küllere göre daha hafif bir yapı gösteren F tipi uçucu kül kullanılmıştır [Bayat, 1998].

F tipi uçucu küllerdeki CaO oranı %10'dan daha düşük olup puzolanik özellik gösterebilmektedir. Seyitömer uçucu külüne ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Seyitömer Uçucu Külünün kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	(%)UK
SiO ₂	52,34
Al ₂ O ₃	18,91
Fe ₂ O ₃	9,30
CaO	7,47
MgO	5,75
SO ₃	2,25
Serbest CaO	0,20
Na ₂ O	0,88
K ₂ O	2,17
Na ₂ O(eşdeğer)	2,31

4.1.4. Arıtma çamuru

Çalışmada, ASKİ-Tatlar Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamuru kullanılmıştır. Kullanılan arıtma çamuru özümlemiş olup bant filtre presi sonunda çamur kekindeki kuru madde % 30'dur, ayrıca 2010 yılı verileriyle 869 m³/gün debide çıkış yapılmıştır. TS 6166'ya göre yapılan pH tayininde 30 gram kurutulmuş çamur tekrar 60 °C'de 24 saat kurutulduktan sonra oda sıcaklığına getirilmiş, 75 mL suda oda sıcaklığında 6 saat bekletildikten sonra pH değeri 5,0 olarak okunmuştur [TS 6166,1988]. Deneylerde kullanılan atık çamurda bulunabilecek patojenlerin giderilmesi amacıyla susuz kalsiyum oksit ile pH değeri 11,0 olacak şekilde ilaveler yapılarak iyice karıştırılmış ve kompozit malzeme kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan arıtma çamurunda kimyasal analiz MTA-Ankara laboratuvarında Perkin-Elmer marka ICP-OES cihazında yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kurutulmuş arıtma çamuru analiz sonuçları

Parametre	Miktar
pH	11,00
N	2,28 %
P	0,98 %
K	0,37 %
C/N	10
Fe	2800 ppm
Cu	307 ppm
Zn	4000 ppm
Ni	65 ppm
Cr	221 ppm
Cd	0,70 ppm
Pb	180 ppm

4.2. Deneysel Yöntem

Örneklerin hazırlanması sırasında; kil, bor atığı, uçucu kül ve atık çamur farklı oranlarda karıştırılarak hazırlanmıştır. Bu karışımların kütlece % oranları Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Hazırlanan karışımların kütlece yüzde oranları

Malzeme	Deney Serileri					
	10B5K	10K5B	5BKÇ	10B4K1Ç	20B4K1Ç	10Ç2,5BK
Kil(%)	85	85	85	85	75	85
Bor atığı(%)	10	5	5	10	20	2,5
Uçucu kül(%)	5	10	5	4	4	2,5
Arıtma çamur(%)	—	—	5	1	1	10

10B5K (%85 Kil + %10 Bor Atığı + %5 Uçucu Kül)

10K5B (%85 Kil + %5 Bor Atığı + %10 Uçucu Kül)

5BKÇ (%85 Kil + %5 Bor Atığı + %5 Uçucu Kül + %5 Arıtma Çamuru)

10B4K1Ç (%85 Kil + %10 Bor Atığı + % 4 Uçucu Kül + %1 Arıtma Çamuru)

20B4K1Ç (%75 Kil + %20 Bor Atığı + %4 Uçucu Kül + %1 Arıtma Çamuru)

10Ç2,5BK (%85 Kil + %2,5 Bor Atığı + %2,5 Uçucu Kül + %10 Arıtma Çamuru)

Değişik oranlarda kil, bor atığı, uçucu kül ve arıtma çamuru kullanılarak yapılan karışımlar sonucunda numuneler hazırlanmıştır. Karışımların üretimi için kil, atık bor, uçucu kül ve arıtma çamuru hammaddeleri kuru halde bilyalı değirmende homojen bir biçimde karıştırılmış daha sonra bu karışımlara plastik kıvam elde edilecek biçimde (%5-10) su ilave edilerek homojenlik sağlanıncaya kadar karıştırılmıştır. Hazırlanmış olan karışımlar 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutundaki küp şeklinde açılabilir şekilde yapılmış tahtadan kalıplara (Gazi Ün. Teknik Eğitim Fak. Yapı Malzemesi Lab.'dan temin edilen) hidrolik preste 5 bar basınç altında sıkıştırılmıştır.

4.2.1. Kurutma işlemleri

Çizelge 4.5' deki oranlara göre altı farklı seride olacak şekilde hazırlanan karışımlar kalıplanmış, kalıptan çıkarıldıktan sonra 24 saat oda sıcaklığında; daha sonra etüvde 105 ± 1 °C sıcaklıkta 12 saat kurutulmuştur.

4.2.2. Kontrol numunesinin hazırlanması

% 100 tuğla kili öğütme işleminden sonra 0,2 mm partikül büyüklüğünde olacak şekilde plastik kıvam için uygun miktarda suyla şekillendirilmiş ve kalıplanmıştır. Kalıptan çıkarıldıktan sonra yukarıda anlatılan kurutma işlemlerinden geçirilmiştir. Kontrol numunesi ve Çizelge 4.5'te verilen karışımlarda aşağıda verilen fiziksel parametrelerde TS EN 771-1 esas alınmış; her bir parametre için üç adet paralel numune hazırlanmış ve sonuçlar aritmetik ortalama cinsinden verilmiştir.

4.2.3. Birim hacim ağırlığı deneyi

Numuneler, sıcaklığı 105 ± 1 °C' ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek 12 saat değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Bu şekilde kurutulan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra boyutları 0,01 mm. duyarlılıkta kumpasla ve kütleleri hassas terazi ile ölçülmüş ve birim hacim ağırlığı hesaplanmıştır.

4.2.4. Kuruma küçülmesi (rötre) deneyi

Şekillendirme işlemi tamamlanmış örnekler kurutma aşamasına alınmadan önce boy, genişlik ve yükseklikleri ölçülerek kaydedilmiş, daha sonra Madde 4.2.1’de belirtildiği şekilde kurutma gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi bitirildikten sonra oda sıcaklığına getirilen örneklerde boyut tekrar ölçülmüştür.

4.2.5. Su emme deneyi

Deneyden önce kurutularak sabit tartıma getirilmiş numunelerin oda sıcaklığında kütleleri hassas terazide alınmış daha sonra numuneleri içine alabilecek büyüklükteki kaba, 20 ± 1 °C ‘de, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiş 24 saat ve 48 saat süreyle suda bekletildikten sonra yüzeyleri kabaca kurulanmış ve bekletilmeden tartılarak doygunluk kütlesi ölçülmüştür.

Numunelerin kütleçe su emme oranı (S_a) Eşitlik 4.1’den hesaplanmıştır. Kütleçe Su Emme Oranı:

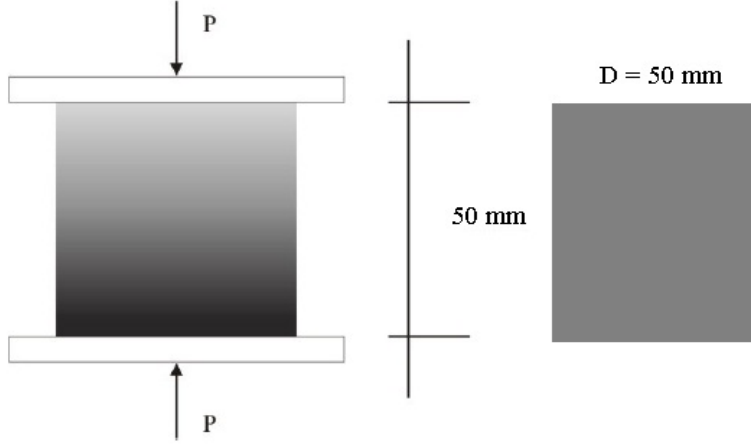
$$S_a = \frac{W_d - W_o}{W_o} \times \% 100 \quad (4.1)$$

W_d : 24 saat suda doygun hale gelen kuru yüzey doygun kütle (g)

W_o : ilk kütle (g)

4.2.6. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı için küp şeklinde hazırlanan numunelerde zımpara yapılarak yüzey düzgünleştirilmiştir. Şekil 4.1’ de basınç dayanım deneyinin şematik gösterimi verilmiştir. Basınç dayanımı deneyi 5 kN’luk bilgisayar kontrollü otomatik Shimadzu marka AG-I cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde kurutma işlemine ilave olarak



Sekil 4.1 Basınç dayanımı deneyi şematik gösterimi.

200 ±2 °C 'de 3 saat daha kurutma yapılarak düşük sıcaklığa ilave olarak sıcaklığı bir miktar daha artırmanın etkisi gözlemlenmiştir.

Basınç dayanımları Eşitlik 4.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (4.2)$$

σ : Basınç dayanımı (N/mm²),

P: Kırılma anındaki yük (N),

F: Numunelere basınç uygulanan yüzeyin alanı (mm²),

4.2.7. Kütle kaybı deneyi

Hazırlanan numuneler önce açık havada daha sonra sıcaklığı 105±1 °C' ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek 24 saat değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. Bu şekilde kurutulan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Blok Tuğla Standard Değerleri

TS EN 771-1'e göre blok tuğla değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. TS EN 771-1(2005) Blok tuğla değerleri

Deneyi	MİN	MAS
BHA (Kg/m ³)	1601	2000
Basınç Dayanımı (MPa)	8	24
Su Emme (%)	8	18

5.2. Kontrol Numunesi

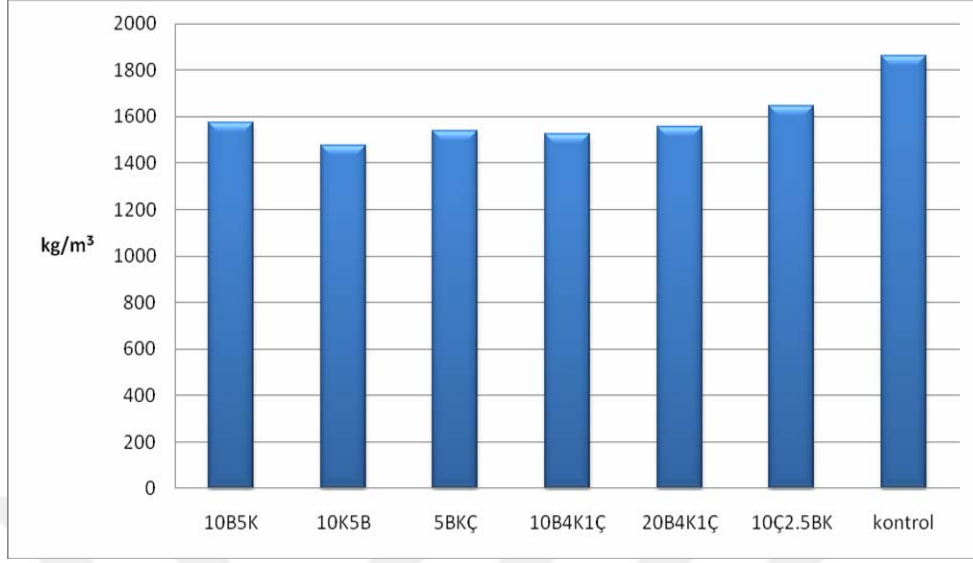
Kontrol numunesinde tespit edilen birim hacim ağırlık değeri 1863,49 kg/m³, kuruma küçülmesi % 10, su emmede çözüdüğü, basınç dayanımı 8,56 MPa, kütle kaybı 5,36 g olarak tespit edilmiştir.

5.3. Birim Hacim Ağırlığı

Hesaplanan birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 5.1'de, grafiksel gösterimi Şekil 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Birim hacim ağırlığı sonuçları

	kg/m ³
Kontrol	1863,49
Karışım	
10B5K (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül)	1573,48
10K5B(%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı)	1475,28
5BKÇ(%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	1540,08
10B4K1Ç(%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	1523,78
20B4K1Ç(%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	1556,91
10Ç2,5BK(%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	1647,78



Şekil 5.1. Birim hacim ağırlığı

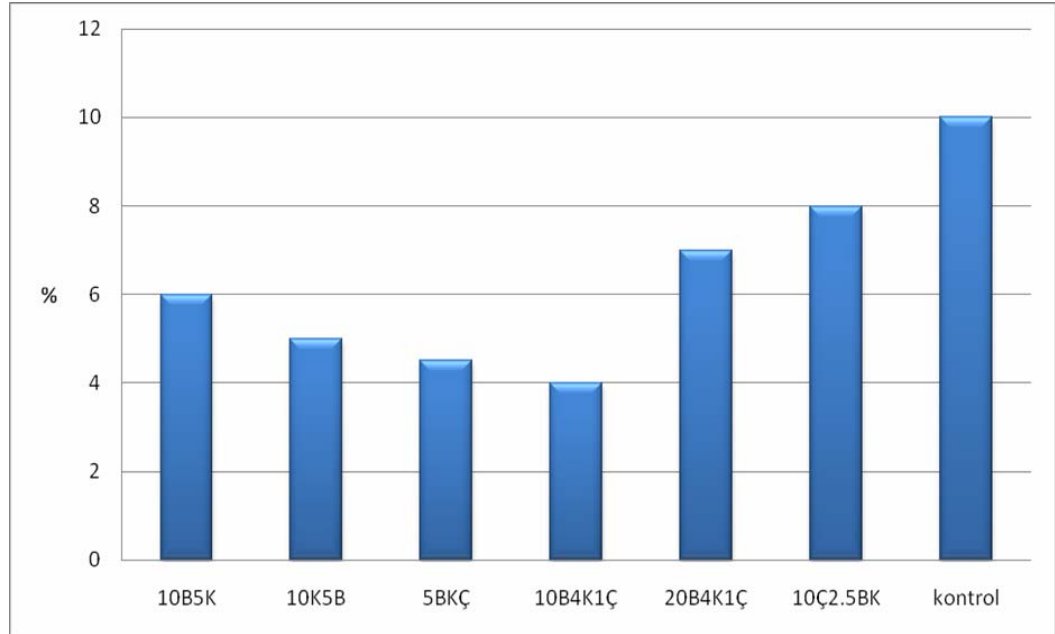
Şekil 5.1 ve Çizelge 5.1 beraber incelendiğinde, üretilen kompozitlerde TS EN 771 standardı olan blok tuğla değerlerine hemen hemen yaklaşıldığı görülmektedir. Atık çamur yüzdesinin daha yüksek olduğu malzemede 1647 kg/m^3 olduğu, atık bor oranının yüksek olduğu malzemede ise ikinci büyüklükte BHA değeri elde edildiği görülmektedir. Çamurda ilave edilen kalsiyum oksit nedeniyle ve bor atığının suyla etkileşime girmesi; ayrıca çamur özgül ağırlığının yüksekliği sebebiyle BHA değerlerinin daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Uçucu kül miktarının artmasıyla BHA' da düşme gözlenmesi de uçucu kül yoğunluğunun düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Tuğla pişirme sıcaklığı olan daha yüksek sıcaklıklarda pişirme yapılmadığından çevre dostu ve enerji tasarruflu kompozit yapı malzemesi üretilmesi yanısıra birim hacim ağırlığında hedeflenen sonuca ulaşılabildiği tespit edilmiştir.

5.4. Kuruma Küçülmesi (rötre)

Kuruma küçülmesi gözlenen örneklerde herhangi bir deformasyona rastlanılmamış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2'de, grafiksel gösterimi Şekil 5.2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kuruma küçülmesi yüzdesi sonuçları

	%
Kontrol	10
Karışım	
10B5K (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül)	6
10K5B (%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı)	5
5BKÇ (%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	4,5
10B4K1Ç (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1Arıtma Çamuru)	4
20B4K1Ç (%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	7
10Ç2,5BK (%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	8



Şekil 5.2. Kuruma küçülmesi yüzdesi

Kompozitlerde arıtma çamurunun artırılmasıyla kuruma küçülmesi artmıştır. Bu sonuç çamurda bulunan bağlı suyun uçurulmasıyla açıklanabilir. Arıtma çamurunun bulunmadığı ve daha az bulunduğu karışımlarda daha düşük kuruma küçülmesi elde edilirken bu sonuç için uçucu külün boşluklu yapıyı doldurduğu ve atık borun ise suyu absorbe etmesiyle kuruma küçülmesinde değerlerin biraz daha yükseldiği tespit edilmiştir. Tuğla kilinin yanısıra arıtma çamuru, bor atığı ve uçucu külün uygun olduğu kombinasyonlar Çizelge 5.2' de görüldüğü şekildedir. % 1 arıtma çamuru,% 10 bor atığı ve %4 uçucu külün yer aldığı karışımda en düşük kuruma küçülmesi

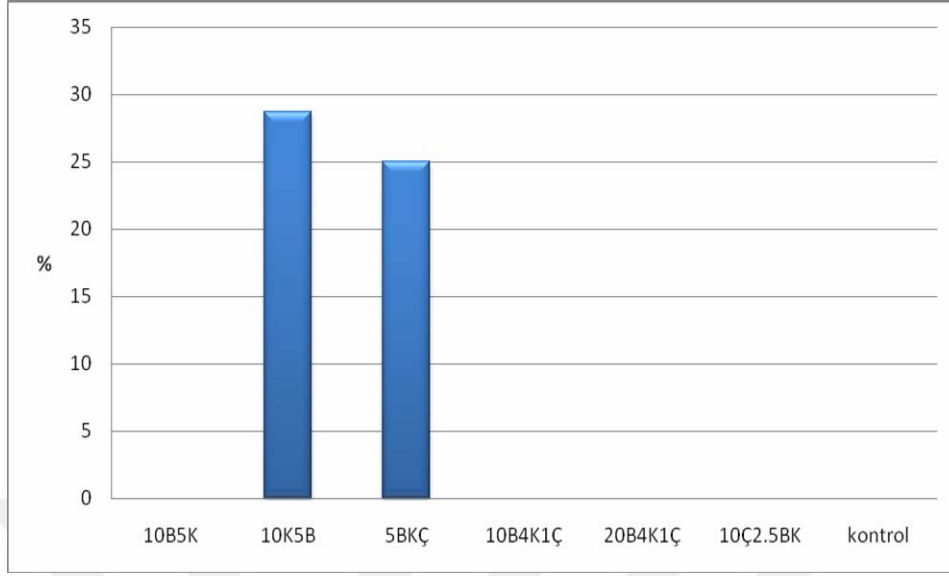
tespit edilmiştir. Bu sonuçlar ile kurutma sıcaklığının %100 tuğla kili kullanılması halinde %10 kuruma küçülmesi elde edilirken, hazırlanan kompozitlerdeki en yüksek değer % 8 olup diğer taraftan ise ortalama %5'lik bir kuruma küçülmesi elde edilmiştir. Bu sonuç ile daha olumlu bir değer alınmış olup, yapı malzemesinde değerlendirilebileceği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca deneylerde kullanılan uçucu kül, partikül büyüklüğü 300 nm dolayında olup F sınıfı (CaO % 10'dan az) kül tipidir. Karışımlarda uçucu külün artmasıyla kuruma küçülmesinin azalması malzemede por yapısına nüfuz etmesi ve puzolanik etkiyle açıklanabilir.

5.5. Su Emme

Hesaplanan su emme yüzdesi değerleri Çizelge 5.3'de ve grafiksel gösterimi Şekil 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.4.Su emme deneyi sonuçları

	Su Emme, 24 saat (%)	Su Emme, 48 saat (%)
Kontrol	Çözündü	Çözündü
Karışım		
10B5K (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül)	Çözündü	Çözündü
10K5B (%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı)	28,72	28,96
5BKÇ (%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	25,00	25,38
10B4K1Ç (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	Çözündü	Çözündü
20B4K1Ç (%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	Çözündü	Çözündü
10Ç2,5BK (%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	Çözündü	Çözündü



Şekil 5.3. Su emme yüzdesi

Şekil 5.3 ve Çizelge 5.3 beraber incelendiğinde, üretilen kompozitlerde % 85'lik kil içeriğinde uçucu kül, bor atığı ve çamur atığının % 5 olduğu karışımlarda oda sıcaklığındaki suda 24 saat ve 48 saat bekletme sonucunda % 28 ve % 25 dolayında su emme değeri elde edilirken diğer karışımlarda çözünme olduğu tespit edilmiştir.

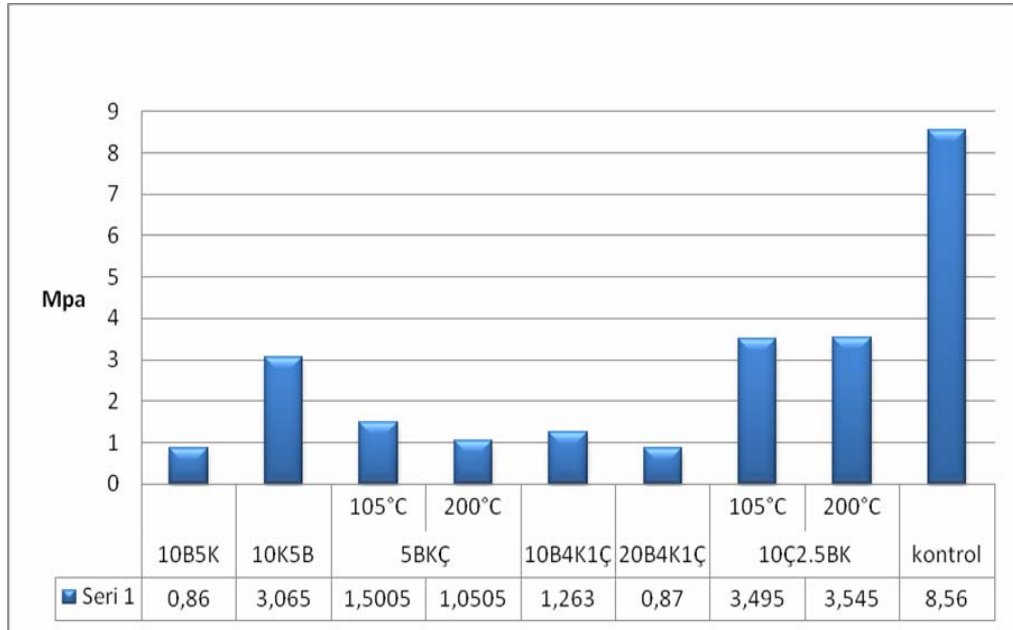
Tuğla malzemesinde % 5-10 kütle yüzdesinde uçucu külün kullanılmasının mekanik testlerin yanısıra su emme sonuçlarına olumlu etki sağladığı; % 15'lik bor atığının kullanıldığı kırmızı kil malzemesinde en iyi sonuçların alındığı çalışma sonuçlarıyla paralel sonuç alınmıştır[Kavas,2006; Binici vd., 2010]. Ayrıca diğer bir önemli husus ise bahse konu çalışmalarda 1100 °C'lik pişirme sıcaklığında çalışılırken bu çalışmada kurutma sıcaklığının 105 °C'de tutulmasıdır. Arıtma çamuru, bor atığı ve uçucu külün % 5-10 kütle yüzdesinde daha düşük su emme gösterdiği; atık çamurun değişik oranlarda bulunduğu ve bulunmadığı kompozitlerde ise çözünme tespit edildiğinden diğer karışımlarda olduğu gibi tuğla kilinde yapılan düşük sıcaklıktaki kurutmanın yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

5.6. Basınç Dayanımı

Hesaplanan basınç dayanım değerleri Çizelge 5.4’de ve grafiksel gösterimi Şekil 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Basınç dayanımı sonuçları

	Sıcaklık, °C	Basınç dayanım, MPa
Kontrol	105	8,56
Karışım		
10B5K (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül)	105	0,86
10K5B (%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı)	105	3,06
5BKÇ (%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	105	1,50
5BKÇ (%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	200	1,05
10B4K1Ç (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	105	1,26
20B4K1Ç (%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	105	0,87
10Ç2,5BK (%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	105	3,49
10Ç2,5BK (%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	200	3,54



Şekil 5.4. Basınç dayanımı

Şekil 5.4 ve Çizelge 5.4 birlikte incelendiğinde, üretilen kompozitlerde atık çamur yüzdesinin arttırılmasıyla 105 °C’ de 12 saat ve 200 °C’de 3 saat kurutmaya % 5 çamur içeriğinde basınç dayanımı 1,5 MPa iken % 10 çamur içeriğinde 3,5 MPa değerine ulaşılmıştır. Çamur miktarı artırılırken basınç dayanımı artmış ancak su emme değerlerinde olumsuzluk tespit edilmiştir. Diğer taraftan literatürde kil ve atık çamurun kullanıldığı malzemede 100 kPa dolayında [Weng, 2003] basınç dayanımı elde edilirken bu çalışmada 3500 kPa değeri elde edildiğinden çamurda oluşabilecek metal oksitlerin basınç dayanımına olumlu etkisinden söz edilebilir. Ayrıca evsel arıtma çamurunun kullanıldığı tuğla üretiminde çamur içeriğinin artırılmasının basınç dayanımı değerinde azalmaya sebep olduğu belirtilirken [Tay, 1987] bu çalışmada kullanılan çamur endüstriyel ve evsel atıksu arıtma çamuru olup, bor atığı ve uçucu kül atıkları kullanıldığından daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Çamurun bulunmadığı % 85’lik kil içeriğinde uçucu kül miktarının artırılmasıyla bu değer 0,86 MPa’dan 3,06 MPa değerine yükselmiştir. Uçucu kül yoğunluğunun düşük ve partikül boyutunun küçük olması ile por yapısına girerek daha sıkı bir yapı oluşturduğu şeklinde yorumlanmıştır [Kavas, 2006; Binici vd., 2010].

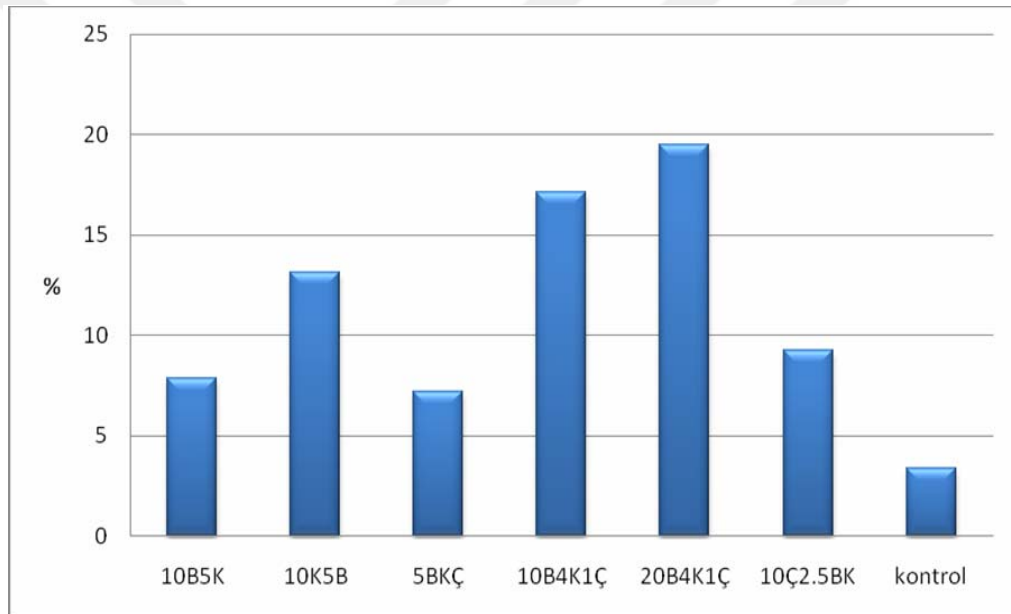
TS EN 771-1 standardı değerlerinde geçen 8 MPa değerine ulaşamamasının bir nedeni de tuğla pişirme sıcaklığı olan 900-1000 °C gibi pişirme değerlerine çıkılmamasıdır. En fazla 200 °C’de 3 saat sadece kurutma yapılarak enerji tasarruflu ve çevre dostu bir kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Ayrıca ilave kurutmanın basınç dayanımında olumlu etki göstermediği tespit edilirken daha yüksek sıcaklıkta pişirme yapılmamasının bir nedeni de çamurda bulunan organik maddelerin yanmasıdır [Ekmekyapar ve Örüng, 1993].

5.7. Kütle Kaybı

Numunelerde tespit edilen kütle kayıpları Çizelge 5.5’de ve grafiksel gösterimi Şekil 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kütle kaybı sonuçları

	g	%
Kontrol	5,36	3,41
Karışım		
10B5K (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül)	14,77	7,86
10K5B (%85 Kil+ %10 Uçucu Kül + %5 Bor Atığı)	25,54	13,13
5BKÇ (%85 Kil+ %5 Bor Atığı+ %5 Uçucu Kül+%5 Arıtma Çamuru)	13,46	7,17
10B4K1Ç (%85 Kil+ %10 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1Arıtma Çamuru)	35,78	17,14
20B4K1Ç (%75 Kil+ %20 Bor Atığı+ %4 Uçucu Kül+%1 Arıtma Çamuru)	41,81	19,51
10Ç2,5BK (%85 Kil+ %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı)	17,18	9,25



Şekil 5.5. Kütle Kaybı

Şekil 5.5 ve Çizelge 5.5 beraber incelendiğinde, üretilen kompozitlerde atık çamurun artırılmasıyla kütle kaybının azaldığı; bor atığının artırılmasıyla kütle kaybının arttığı tespit edilmiştir. Uçucu külün bağlayıcılık etkisi gözönüne alındığında borlu yapıda daha fazla su bulunabileceğinden dolayı bünyedeki higroskopik nemin uzaklaşmasıyla ve atık çamur içeriğindeki nemin de bağlandığı şeklinde yorum getirilebilir. En düşük kütle kaybı her üç atığın eşit oranlarda kullanıldığı(%5'er) karışımda yaklaşık % 7,17 olarak tespit edilirken, diğer taraftan çalışmada yapılan test sonuçlarında da ortalama olarak bu karışımın daha olumlu sonuç sağladığı tespit edilmiştir[Kavas,2006; Binici vd., 2010].

Bu sonuçlarla kütle kaybının artması veya azalması malzemenin kullanılacağı yere göre önem arz ettiğinden (izolasyon veya taşıyıcı malzeme gibi) bu hususun malzeme seçiminde öne çıkacağı belirtilebilir. Ayrıca %100 tuğla kilinin kullanıldığı kontrol numunesinde basınç dayanımı 8,56 Mpa elde edilirken %10 Arıtma Çamuru + %2,5 Uçucu Kül+%2,5 Bor Atığı 'nın kullanıldığı karışımda 3,49 Mpa elde edilmiştir, ilave kurutmanın etkisi bulunmamakla birlikte düşük sıcaklık uygulaması kontrol numunesinde de su emmede çözünmeye yol açmıştır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Ülkemizin yüksek tonajlı termik santral atığı olan uçucu kül, borik asit göletinden alınan çamur atığı ve atıksu arıtma tesisi çıkışından alınan çamurun ham tuğla kili ağırlıklı kompozit malzemede değişik oranlarda kullanılmasıyla elde edilen sonuçların inşaat sektörü yanısıra değişik sektörlerde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada; literatürde elde edilen sonuçların üzerinde sonuçlar elde edilirken(basınç dayanımı, BHA, kütle kaybı ve kuruma küçülmesi) su emmede daha yüksek değerler ve çözünme tespit edilmiştir. Kil ağırlıklı malzemede atık çamur kullanılmasıyla basınç dayanımı artmış; %10 atık çamur,% 2,5 uçucu kül ve % 2,5 bor atığı karışımında kütle kaybı azalırken BHA artış göstermiştir. Ancak su emme değerlerinin yüksek çıkması nedeniyle inşaat malzemesinde şişmede deforme olmayacak malzemede kullanılabilirliği düşünülmektedir. Elde edilen verilerle tuğla pişirme sıcaklığı olan 900-1000 °C'de pişirme yerine 105 °C sıcaklıkta kurutmayla enerji tasarruflu ve çevre dostu kompozit malzeme üretilebilirliği tespit edilmiş olup ayrıca ilave kurutmanın basınç dayanımında etkisinin olmadığı görülmüştür.

6.2. Öneriler

Basınç dayanımında ilave kurutmanın etkisinin olması sebebiyle sabit tartıma getirilmiş numunede 3,06 Mpa değerinin tespit edilmesi ile üretilen kompozit malzemenin hafif yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği ve ilerdeki çalışmalarda yüksek pişirme sıcaklığında ve değişik atıkların (döküm kumu, pomza gibi) kullanımında blok tuğla değerlerinin yakalanabileceği önerilebilir. Tespit edilen enerji tasarruflu ve çevre dostu uygun karışımın iç cephe yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği önerilebilir.

KAYNAKLAR

Abalı, Y. , Yurdusev M. A.n, Zeybek M. S. , Kumanlıoğlu A. A. , “Using phosphogypsume and boron concentrator wastes in light brick production”, *Construction and Building Materials*, 21: 52-56 (2007).

Akıncı Ö. , “Seramik Killeri Ve Jeolojisi”, *MTA Dergisi*, Ankara,71: 63-72 (2006).

Anderson M. , Jackson G. , “ Benefication Of Power Station Coal And Its Use İn Heavy Clay Ceramics”, *Trans. J. Brit. Ceram. Soc*, 82(2): 50- 55 (1993).

Anderson M. , “Processed High Carbon Fly Ash As A Fuel Additive İn Brick Making”, *International Conference On Ash Technology*, 63(566): 16-22, (1984).

Aruntaş H. Y. , “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyelleri”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der*, 21 (1): 193-203 (2006).

Bayat O. , “Characterisation Of Turkish Fly Ashes”, *Fuel*, 77(9): 1059-1066 (1998).

Binici H. , Aksoğan O. , Temiz H. , Kaplan, H. , Ulusoy A. , “ The use of fly ash and basaltic pumice as additives in the production of clay fired brick in Turkey”, *International Journal of Materials Research*, 101 (7): 887-893 (2010).

Bozkurt R. , “Mineralojik incelemelerin cevher zenginleştirmedeki rolüne iki örnek”. *Anadolu Üni. Müh.- Mim. Fak. Dergisi*, Eskişehir, 15-21 (1989).

Demir İ. , “Reuse Of Waste Bricks İn The Production Line”, *Afyon Kocatepe University, Faculty Of Technical Education*, Afyonkarahisar, 1-5 (2003).

Caballero J. A. , “Characterisation Of Sewage Sludges By Primary And Secondary Pyrolysis”, *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 433-450 (1997).

Çicek T. , Tanrıverdi M. , “Lime Based Steam Autoclaved Fly Ash Bricks”, *Dokuz Eylul University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering*, İzmir, 1295-1300 (2006).

E.İ.E. , “Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri Ve Kullanım Olanakları”, *81.Genel Yayın Direktörlüğü Ankara*, 45 (1979).

Ekmekyapar T. , Örüng I. , *İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 145*, 22-36 (1993).

Ergüt S. , Yılmaz S. , Günay V. , Özkan T. , “Termik Karekterizasyonları -Seramik ve Cam Hammaddesi Olarak Kullanım Potansiyelleri”, 8. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, *Metalurji Mühendisleri Odası*, İstanbul, 869-874 (1994).

European Environment Agency, “Sludge Treatment and Disposal: Management Approaches and Experiences”, *Environmental Issues Series No 7*, (1998).

Filibeli A. , “Arıtma Çamurlarının İşlenmesi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi*, İzmir, 255 (1996).

Guggenheim, S. , Martin, R. T., “Definition Of Clay And Clay Mineral”, *Clays And Clay Minerals Review*, 43(2): 255-256 (1995).

İnternet: İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi “Atıksu Yönetimi Ve Çevre”
<http://www.İski.Gov.Tr/Web/Statik.aspx?Kıd=1001217> , (2010).

Kavas T. , “ Use of boron waste as a fluxing agent in production of red mud brick”, *Building and Environment*, 41 (12): 1779-1783 (2006).

Kaya G. , Karasu B. , Karacaoğlu E. , “Effects of fritted borax solid wastes on the properties of brick bodies”, *Silicates industriels*, 12 : 363-367 (2009).

Kayacı K. , Kayacı B. , “Bilecik-Söğüt Civarındaki Yakacık Kumlu Kilinin Duvar Karosu Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması”, *Kil Bilimi Ve Teknolojisi Dergisi*, 43-48 (2006).

Kaytaç Y. , “Seramik Ve Tuğla Hammaddelerinin Hazırlanması”, *Ders Notu, İ.T.Ü.Maden Fakültesi*, İstanbul, (1997).

Kocakuşak S. , Akçay K. , Köroğlu H. J. , Yüzer H. , Ayok T. , Savaşçı Ö. T. , Tolun R. , “Killerin Silanlama Yöntemi ile Tikotropilerinin Araştırılması”, *2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, (1997).

Koçak H. Ş. , “Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması”, Y.Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Müh. Anabilim Dalı*, (2010).

Kolukısa S. , “Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Özellikleri Ve Mikroyapı Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1999).

Koroğlu Ç. , “Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) Yöresi Seramik Killerinin Malzeme Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 31 (2007).

Köktürk U. , *Endüstriyel Hammaddeler, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 250-255 (2002).

Krogmann U. , Boyles L. S. , Martel C. J. , Mccomas A. K. , “Biosolids And Sludge Management”, *Water Environmental Research*, 69 (4): 534-549 (1997).

Lav H. , Lav A. , “Microstructural Development of Stabilized Fly Pavement-13ase Material”, *Journal of Materials Engineering*, 12 (2): 157-163 (2000).

Ren X. , Li G. , Liu S. , Mu Y. , Feng Z. , “Research on Experiment of Firing Craft for Boron Sediment Brickcnki”, *Journal of Shenyang Jianzhu University(Natural Science)*, 22 (5): 764-767 (2006).

Lingling Xu., “Study On Fired Bricks With Replacing Clay By Fly Ash İn High Volume Ratio”, *Department of Materials, Nanjing University of Technology*, 243-247 (2004).

Morais L. C. , Dweck J. , Gonzalves E. M. , Büchler P. M. , “A case study of the ceramic matrix sintering of sewage sludge when fired at high temperatures”, *Materials Science Forum*, 530 – 531: 734–739 (2006).

Müdüroğlu M. , “Tuğla Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1999).

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

Özcan M. , “Tunçbilek Ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerinin Ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1997).

Özçelik N. , *İnşaat Bilgisi. İstanbul Üniv. Orman Fak. Yayın No: 211*, İstanbul. (1975).

Özdemir Ö. , “Kayseri Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Uygulamaları”, *2.Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi*, İstanbul ,190-192 (2010).

Özgen S. , “Geleneksel Seramiklerin Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler”, Ders Notu, *İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi*, İstanbul, (1997).

Perçinel S. , Demir E. , “Termik Santrallerde Kömür Kullanımının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri”, *12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 23-26 (2000).

Roy, D. M. , He J. Y. , Scheetz B. E. , “Comparison of tuffly and fly ash, in blended cement”, *American Ceram. Soc.*, 64 (5): 707-711 (1985).

Sabah E. , Yeşilkaya L. , “Farklı tipte polimerlerle Kırka boraks işletmesi tınkal konsantratörü atıklarının çökelme davranışlarının incelenmesi. Cevher Hazırlama”, *3.Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Derneği Yayını*, İzmir, 1-12 (2000).

Sanchez-Monedero M. A. , Mondini C. , De Nobili M. , Leita L. , Roig A. , “Land Application Of Biosolids. Soil Response To Different Stabilization Degree Of The Treated Organic Matter”, *Waste Management*, 24: 325-332 (2004).

Satapathy L. N. , “A Study On The Mechanical Abrasion and Microstuructural Properties of Zirconia-Flyash Materials”, *Elsevier, Ceramics Int.*, 26: 39-45 (2000).

Singh, I. B. , "Thermal Treatment Of Toxic Metals Of Industrial Hazardous Wastes With Fly Ash And Clay". *Regional Research Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research*, 215-222 (2006).

Tanişan H. H. , Mete, Z. , Söğüt Türker, P. , Erdoğan, B. , Katnaş, F. , Yeğınobalı, A. , “Türkiye’de Uçucu Küllerin Sınıflandırılması Ve Özellikleri”, Seramik Teknolojisi Ve Uygulaması C.1, *TÇMB*, Ankara, (1986).

Tay J. H. , “Bricks manufactured from sludge ”, *Journal of Environmental Engineering*, 113 (2): 278-284 (1987).

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

Tolon C. , “Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel Ve Kimyasal İncelemelerine Katkı”, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1973).

Toros H. , “Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1987).

TS 6166, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri: Kimyevi Deneyler -Zeminde pH Değerinin Ölçümü”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1988).

TS EN 771-1, “Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2005).

Uslu T. , Arol, A. , “Use of boron waste as an additive in red bricks”, *Waste Management* , 24 (2): 217-220 (2004).

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

Weng C. , Lin D. , Chiang P. , “Utilization of sludge as brick materials”, *Advances in Environmental Research*, 7: 679–685 (2003).

Wiebusch B. , Seyfried C. F. , “Utilization of sewage sludge ashes in the brick and tile industry ”. *Water Science and Technology*, 36(11): 251–258 (1997).

Yeğınobalı A. , Öztok İ. , “Silis Dumanı ve Uçucu Kül içeren Tsıyıcı Bimsbetonları”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Seköründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, Eskişehir, 73-95(1997).

Yıldırım B. , Alataş T. , “Afşin-Elbisan Termik Santrali Uçucu Külünün Yo Stabilizasyonunda Kireç ile Birlikte Kullanımı”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası**, Eskişehir, 21-35 (1997).

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

Yılmaz Ş. , “Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1992).



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : A.ABDULKERAM , Taha

Uyruğu : İRAK

Doğum tarihi ve yeri : 06.02.1981 Kerkük

Medeni hali : Bekar

Cep Telefon : 0536 656 2601

e-mail : tahadamirchy@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Kimya Mühendisliği Bölümü	2011
Lisans	Teknik Fakültesi/ Enerji Ve Yakıt Mühendisliği Bölümü	2002
Lise	Alwelieed Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	Türkmeneli TV	Yönetmen

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça

Hobiler

Kitap Okumak, Bilgisayar Teknolojileri, Futbol