

T.C.
MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUĞLA ÜRETİMİNDE TERMİK SANTRAL ATIĞI
PUZOLANİK UÇUCU KÜLLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ
ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

DOKTORA TEZİ

Y.Mimar Aysen ÇELEN ÖZTÜRK

105839

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Murat ERİÇ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Rifat ÇELEBİ (İ.K.Ü)

Prof. Dr. Halit Y. ERSOY (M.S.Ü)

T.C. MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

105839

EKİM , 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, 18.yy.' in sonlarında, Batı uygarlığında başlayan endüstrileşme ve ekonomik gelişme sürecinin mimari karşılığı olan, artan nüfusa yapı yapma gerekliliğinin, günümüzde tüm dünya ile birlikte Türkiye'de de devam eden endüstrileşmiş konut ve malzeme üretimi problemi ele alınmıştır. Aynı zamanda endüstrileşmenin getirdiği bir problem olan katı atıkların çevre kirliliği yaratması sorununa karşı, atıkların inşaat malzemelerinin üretiminde performans artırıcı bir girdi olarak yeniden değerlendirilmesinin gerekliliği gözönüne alınarak Termik Santral atıklarının tuğla üretiminde kullanılabilirliği üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır.

Doktora çalışmamın her aşamasında öneri ve eleştirileri ile sonuca ulaşmama yardımcı olan danışmanım Prof.Dr. Murat Eriç'e ve M.S.Ü.'si Yapı Fiziği ve Malzeme Kürsüsündeki tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, deneysel çalışmamın ana unsuru olan hammadde temininde yardımcı olan, Kılıçoğlu Tuğla-Kiremit Fabrikası ve Tunçbilek Termik Santrali İşletme Müdürlüğü'ne, üretim aşamasında tuğla numuneleri pişirme işlemini gerçekleştirdiğim M.S.Ü.'si Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü'nden Beril Anılanmert'e ve teknik sorumlusu Kadir Bey'e, tuğla numunelerimin iç yapı analizlerini yapan Anadolu Üniversitesi, Seramik Müh.'den Doç.Dr. Aydın Doğan' a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın her safhasında ve teorik aşamada teknik yorumlarıyla tezime katkıda bulunan arkadaşım, dostum Metalurji Müh.'si Kamil Mingü'ye, doktora tezim süresince gösterdiği destek ve anlayıştan dolayı eşim Mustafa Öztürk'e, İstanbul Kültür Üniversitesi Mimarlık Bölüm Başkanım sayın Koray Gökan'a ve sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşen ÇELEN ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

RESİM LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	IX
ÖZET	XI
SUMMARY	XII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
BÖLÜM 3. KULLANILAN MALZEMELER	13
3.1. TUĞLA MALZEME	
3.1.1. Tuğla Malzemenin Tarihçesi	13
3.1.2. Tuğla Malzemenin Mimari Tasarımdaki Rolü	15
3.1.3. Tuğla Malzeme Üretim ve Özellikleri.....	22
3.1.3.1. Tuğla Hammaddesi Kilin Özellikleri.....	24
3.1.3.1.a. Tuğla Bütünyesinde Gözenek Oluşumu.....	26
3.1.3.1.b. Tuğla'da Oluşan Gözenekler ile Yapı Fiziği Arasındaki İlişki.....	27
3.1.3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Tuğla Üretim Yöntemi.....	30
3.1.3.2.a. Tuğla Hamurunun Hazırlanması.....	30
3.1.3.2.b. Tuğla Hamurunun Şekillendirilmesi.....	30
3.1.3.2.c. Tuğla Hamurunun Kurutulması.....	32
3.1.3.2.d. Tuğla Hamurunun Pişirilmesi.....	34
3.2. PUZOLANİK UÇUCU KÜLLER.....	38
3.2.1.Uçucu Küllerin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	38
3.2.2. Mineralojik ve Kimyasal Yapısı.....	40
3.2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	41
3.2.4. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	43
3.2.4.1. Tuğla Üretiminde Kullanımı.....	43

3.2.4.2. Çimento ve Beton Üretiminde Kullanımı.....	44
3.2.4.3. Seramik ve Cam Üretiminde Kullanımı.....	44
3.2.4.4. Hafif Agrega Üretiminde Kullanımı.....	44
3.2.4.5. Yol Yapımında ve Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı.....	45
3.2.4.6. Diğer Kullanım Alanları.....	45

BÖLÜM 4. PUZOLANİK UÇUCU KÜL KATKILI TUĞLA DENEYLERİ

4.1. KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	46
4.1.1. Kil Hammadesinin Özellikleri.....	46
4.1.2. Uçucu Küllerin Özellikleri.....	46
4.2. ÖN DENEY ve NUMUNE ÜRETİMİ.....	47
4.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	48
4.2.1.1. Yoğurma Suyu.....	48
4.2.1.2. Hamur Hazırlama.....	48
4.2.1.3. Şekillendirme.....	49
4.2.1.4. Doğal Kurutma İşlemi.....	50
4.2.1.5. Pişirme.....	51
4.2.2. Ön Deney Sonuçları.....	54
4.2.2.1. Ön Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	56
4.3. DENEYSEL AŞAMA.....	59
4.3.1. İç Yapı Analizleri.....	59
4.3.2. Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	63
4.3.2.1. Rötire Deneyleri Ve Sonuçları.....	66
4.3.2.2. B.Hacim Ağırlık Tespiti.....	67
4.3.2.3. Su Emme Deneyleri Ve sonuçları.....	67
4.3.2.4. Statik Elastisite Modülü Tespiti.....	71
4.3.2.5. Eğilme Dayanım Deneyi ve Sonuçları.....	72
4.3.2.6. Basınç Dayanım Deneyi ve Sonuçları.....	75

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Uçucu Kül Katkı Oranlarının Tuğlanın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	78
5.1.1. Kuruma, Pişme ve Toplam Rötme Değerleri.....	78
5.1.2. Su Emme Değerleri.....	82
5.1.3. Birim Hacim Ağırlık Değerleri.....	84
5.1.4. Mekanik Dayanım Değerleri.....	86
5.1.5. Isı İletkenlik Katsayısı-B. Hacim Ağırlık İlişkisi.....	89
5.2. Deney Sonuçlarının TS 705 / 1985' e Göre Değerlendirilmesi.....	90
5.3. Deney Sonuçlarının ASTM C216' ya Göre Değerlendirilmesi.....	90
BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAKLAR.....	94
EKLER.....	99
EK 1. TS 705/1985.....	100
EK 2. ASTM C216.....	102
EK 3. Mecburi Standart Tebliği (Bayındırlık ve İskan Müd.).....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	105

RESİM LİSTESİ

Resim 3.1. Fagus Fabrikası, Berlin 1911-1914, W.Gropius.....	16
Resim 3.2. Robie Evi, Chicago, 1909, F.L. Wright.....	17
Resim 3.3. Karl Liebknecht ve Rosa Luxemburg Anıtı, Berlin 1926, Mies Rohe.....	18
Resim 3.4. 15 Jaoul Evi, Neuilly-sur-Seine, Paris 1954-56, Le Corbusier.....	19
Resim 3.5. Hint İş İdaresi Enstitüsü, Ahmedabad, Hindistan 1962-74, L.Kahn.....	20
Resim 3.6. T.C. Tahran Büyükelçilik Binası, 1933, Seyfi Arkan.....	21
Resim 3.7. ODTÜ Liman Teknolojisi Laboratuvarı, Ankara 1970 ,A.-B. Çinici.....	21
Resim 3.8. Tuğla Kesit Yüzeyinin Taramalı Elektron Mikroskopunda x3000 Kez Büyütülmesi.....	29
Resim 4.1. Hazırlanan Kil Hamurunun Yoğurma İşlemi.....	48
Resim 4.9. Prizmatik Numune Çıkışına Olanak Sağlayan Metal Uç.....	49
Resim 4.3. Motor Bağlanarak Sabit Hızda Ve Seri Numune Hazırlama.....	50
Resim 4.4. Alçı Kurutma Ünitesi İle Doğal Kurutma İşlemi.....	51
Resim 4.5. MSÜ Güzel Sanatlar Fakültesinin Seramik Bölümündeki Fırın.....	52
Resim 4.6. Pişirme Sonrası Oluşan Çizgisel Çatlaklar.....	55
Resim 4.7. İç Yapıda Görülen Burulma Çatlakları.....	57
Resim 4.8.Boyuna Çatlağın Enine Kesiti	57
Resim 4.9. Katkısız Tuğla SEM Görüntüsü.....	60
Resim 4.10. % 20 Uçucu Kül Katkılı Tuğla SEM Görüntüsü.....	60
Resim 4.11. % 30 Uçucu Kül Katkılı Tuğla SEM Görüntüsü.....	61
Resim 4.12. % 40 Uçucu Kül Katkılı Tuğla SEM Görüntüsü.....	62
Resim 4.13. % 50 Uçucu Kül Katkılı Tuğla SEM Görüntüsü.....	62

Resim 4.14. Tuğla Numunelerin Suya Doymuş Hale Getirilmesi.....	68
Resim 4.15. Geliştirilen Arşimet Terazisi ile Su İçindeki Ağırlık Tespiti.....	68
Resim 4.16. Ultrasonik Deney Aleti ile Ses Geçiş Hızının Saptanması.....	71
Resim 4.17. Amsler Marka Deney Aleti.....	73
Resim 4.18. Eğilme Dayanımı Tespiti için 100 mm. Mesnet Açıklığına Yerleştirilmiş Numune.....	73
Resim 4.19. Alt ve Üst Yüzeye Yerleştirilen Plakalarla Basınç Dayanımı Tespiti.....	75



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Çeşitli Yapı Malzemelerinin Su Emme Değerleri.....	28
Şekil 3.2. Farklı Yapı Malzemelerinin Duvar Kalınlıklarına Göre Nemi Dışarı Vermesi.....	30
Şekil 4.1. Fırın Kapasitesine Göre Pişirme Rejimi.....	50
Şekil 4.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Şematik Gösterimi.....	74
Şekil 4.3. Basınç Dayanımı Deneyi Şematik Gösterimi.....	76
Şekil 5.1. Uçucu Kül Katkı Oranı-Kuruma Rötresi İlişkisi.....	79
Şekil 5.2. Uçucu Kül Katkı Oranı-pişme Rötresi İlişkisi.....	80
Şekil 5.3. Uçucu Kül Katkı Oranı-Toplam Rötresi İlişkisi.....	81
Şekil 5.4. Uçucu Kül Katkı Oranı-Ağırlıkça Su Emme Değerleri.....	82
Şekil 5.5. Uçucu Kül Katkı Oranı-Hacimce Su Emme Değerleri.....	83
Şekil 5.6. Uçucu Kül Katkı Oranı-Su Emme Değerleri.....	83
Şekil 5.7. Uçucu Kül Katkı Oranı-Plastiklik Suyu Değerleri.....	84
Şekil 5.8. Uçucu Kül Katkı Oranı- B. Hacim Ağırlık Değerleri.....	85
Şekil 5.9. 850 ⁰ C'deki Sinterlemelerde B. Hacim Ağırlık- A.Su Emme İlişkisi.....	85
Şekil 5.10. 1000 ⁰ C'deki Sinterlemelerde B.Hacim Ağırlık – A. Su Emme İlişkisi...86	
Şekil 5.11. Uçucu Kül Katkı Oranı-Mekanik Dayanım İlişkisi.....	87
Şekil 5.12. Basınç Dayanımı-Sinterleşme Sıcaklığı İlişkisi.....	88
Şekil 5.13. Uçucu Kül Katkı Oranı Statik Elastisite Modülü İlişkisi.	88
Şekil 5.14. Birim Hacim Ağırlık- Isı İletkenlik Katsayısı İlişkisi.....	89

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Killerin Kimyasal Bileşim Yüzdelerine Göre Sınıflandırılması	24
Tablo 3.2. Tuğla Yapımına Uygun Kimyasal Bileşim Yüzdeleri.....	25
Tablo 3.3. Plastiklik Suyu Oranlarına İlişkin Değerlendirme.....	26
Tablo 3.4. Uçucu Küllerin İçerdikleri Bileşiklerin Maksimum ve Minimum Miktarları.....	40
Tablo 3.5. Türk Standartları Enstitüsü'ne Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları	41
Tablo 4.1. Kılıçoğlu Tuğla-Kiremit Fabrikası Toprağı Kimyasal Analizi.....	46
Tablo 4.2. Tunçbilek Uçucu küllü Kimyasal Analizi.....	47
Tablo 4.3. Fırın Kapasitesine Göre İki Farklı Sıcaklık İçin Hazırlanan Pişirme Programı.....	51
Tablo 4.4. Üretilen Seriler - Karışım Oranları Ve Hasar Durumu.....	54
Tablo 4.5. Yeniden Üretilen Tuğla Serileri.....	56
Tablo 4.6. 1000°C de Üretilen Seriler.....	58
Tablo 4.7. Hazırlanan Tüm Seriler ve Karışım Oranları.....	64
Tablo 4.8. Varyasyon Katsayısı-Kalite Kontrol Değerlendirmesi.....	65
Tablo 4.9. Plastiklik Suyu, Rötire ve Su Emme Deney Sonuçları ve B. Hacim Ağırlık Tespitleri	70
Tablo 4.10. Mekanik dayanım Değerleri Ve Elastiklik Modülü Sonuçları.....	77

ÖZET

Yapılan çalışmada, Tuğla üretiminde kullanılan ana malzeme olan kilin, özelliklerini geliştirmek amacıyla, termik santrallerde yakılan kömürün katı atığı olarak ortaya çıkan uçucu kül, katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Uçucu külün seçilmesindeki amaç; bünyesindeki karbonun yanma sonucu uzaklaşması ile ısı izolasyonu için önemli bir kriter olan porozite miktarını arttırmasıdır. Genel olarak tuğla bünyesinde oluşan mikroporların avantajı, nemin kapilarite ile taşınım imkanını gözlemlenebilir oranda yavaşlatmasıdır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Birinci bölümde, dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesi olma özelliğine sahip tuğlanın; ilk yıllardan günümüze kadar kısa bir tarihçesi verilmiş, mimari tasarımdaki rolü, strüktür kurucu yapı ögesi ve yüzey elemanı olarak çeşitli örneklerle incelenmiştir. Daha sonra tuğla üretiminde kullanılan kilin yapı ve özellikleri yapı fiziği açısından irdelenmiş, deneysel çalışmada kullanılan üretim yöntemi anlatılmıştır.

İkinci bölümde, tuğlanın performansını arttırmak için kullanılan katkılarla yapılan araştırma çalışmaları ve uçucu külün özellikleri ile kullanım alanları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, deneysel çalışmada kullanılan kil ve uçucu külün özellikleri incelenerek, yapılan ön deney ve numune üretimleri ele alınmış, alınan ön sonuçlara göre deneysel aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada üretilen tuğlaların iç yapı analizleri, fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde elde edilen tüm sonuçlar, grafik anlatımıyla değerlendirilmiş, uçucu kül katkı oranları ve sinterleşme sıcaklıkları (850°C ve 1000°C) ile irdelenmiştir. Üretilen katkılı tuğlaların özellikleri, TS 705/ 1985 Türk Standardı ve ASTM C216 Amerikan Standardı ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada sonuç olarak; üretilen uçucu kül katkılı tuğlalarda, ısı yalıtım değerinin artmasını sağlayan porozite oluşumu elde edilmiş ve mekanik dayanımların ele alınan standartlardan yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik, Tuğla, Kil, Uçucu kül, Puzolanik atık.

In the first part of this study, the general properties of ceramics and solidification types effective in the production of ceramic materials and the change in the body of clay due to firing.

In the second part of the study the literature have been reviewed, on the subject of lightweight wall bricks of fired clay and using the waste fly ash as a raw materials.

Experimental work consists of two parts. The third part covers the preliminary test.

First step of the study, seven groups of samples with different proportions of clay and fly ash were prepared. Rectangular shaped samples (40x40x160mm), were prepared from each group, using semi-dry pressing method. After drying the samples at 110⁰C, they were sintered at 850⁰C and 1000⁰C. In the second step of this study, the shrinkage, water absorption, density, static modulus of elasticity, three point bend strength and compression tests of the sintered samples were determined. And comparative results have been presented.

The variations in the porosity and the shrinkage of the samples were found to be dependent on fly ash addition.

The overall results showed that, all clay and fly ash proportions are high strength. The strength of prepared groups were found to be comparable to the TSE 705 and ASTM C 216 standards bricks. These results indicate the possibility of using the fly ash as in the brick production as a raw material source.

Keywords: Brick, Fly ash, Ceramic composite, Clay, Waste.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING WASTE FLY ASH FROM POWER PLANTS IN THE BRICK PRODUCTION

SUMMARY

In this study, the production possibilities of lightweight wall bricks of fired clay have been attempted to be investigated experimentally with a hypothetic-deductive approach. Investigation of material production possibilities based on local resources becomes as significant as the other factors that may be effective in the solution of this problem. On the other hand, taking precautions for energy conservation has become a necessity.

The materials property improvements and addition with other ceramic materials for better performance are leading to increasing applications in many industrial sectors.

Fly ash is a by-product of thermal power stations. Although the generation of fly ash is very high in Turkey, the utilization is only %6,5 , posing a serious threat to the environment. The chemical composition of fly ash is not constant due to the nature of coal available from different places. However, the main constituents of fly ash are Silica and Alumina. Many efforts in the safe disposal of the fly ash waste have been made. The emphasis has been given to make value added products from fly ash. Some of these products are bricks, cements, concrete block, vibrated paving slabs, tiles, concrete making etc. Efforts are also being made to develop value added ceramic materials using fly ash as a raw material.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada ; inşaat sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan, pişmiş toprak tuğla malzemesinin, termik santrallerde kömürün yakılması ile ortaya çıkan uçucu kül ile kompozisyonunda, iki ayrı sıcaklıkta sinterlenmesi ile oluşan boşluklar sayesinde; ısı iletkenlik değerinin azaltılması, su emme değerlerinin ve mekanik dayanımlarının TS ve ASTM standartlarına uygun olması hedeflenmiştir.

Uçucu kütle yapılan çalışmalar sonucunda; uçucu külün içindeki organik maddelerin yanması, yüksek sıcaklıkta fazların oluşumu, amorf maddelerin kristalleşmesi nedeniyle egzotermik reaksiyon sonucu, sıcaklığın açığa çıktığı saptanmıştır[10]. Uçucu külün pişme sırasında açığa çıkaracağı enerji ile normal pişme sıcaklığından tasarruf sağlanması ve düşük sıcaklıkta sinterleşme, ekonomik üretilere olanak sağlayacaktır.

DeneySEL çalışmada uçucu kül, çok ince taneli olması, pişirilme ile yapay puzolan özelliği göstermesi, sertleştiği zaman yüksek dayanım vermesi ve kilin yapısındaki oksitleri içermesi nedeniyle seçilmiştir. Uçucu küllerin tuğla yapımında kullanılması ile tuğlaların kuruma ve pişme küçülmeleri de azalmaktadır.

Birçok ülkede, kül, arıtma tesisi çamuru, atık cam, atık seramik ve döküm kumları gibi atık malzemelerin kullanılması ile ilgili yönetmeliklerin artması, bu malzemelerin tekrardan kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Türkiye’de şu an böyle bir zorunlu standart olmamasına rağmen, Avrupa Birliği’ne geçiş döneminde olmamız gözönüne alınırsa atıkların değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar önem kazanmaktadır.

Seramik sanayinin kullandığı killerin zamanla azaldığı ve doğal kaynakların tükenirliliği düşünüldüğünde, yeni kil yatakları ve hammadde aranmasına yönelik çalışmalar da hız kazanmaktadır. Tuğla üretiminde kil oranını azaltıcı diğer katkıların özellikle endüstriyel atıkların kullanılması doğal kaynakların tüketimini azaltıcıdır.

Yapılan bu çalışmada endüstriyel atık malzeme olarak, Tunçbilek termik santral linyit kömürü puzolanik uçucu külü seçilmiş, Kılıçoğlu kiremit-tuğla fabrikasından alınan kille belirli oranlarda kompoze edilerek laboratuvar şartlarında farklı sıcaklıklar için sinterlenmiştir. Kullanılan uçucu külün, tuğlanın fiziksel ve mekanik özelliklerini ne yönde etkileyeceği araştırılmıştır.

Pişmiş toprak yapı malzemelerinden biri olan tuğla, çok eski çağlardan beri güncelliğini kaybetmemiş, günümüz konutunda da en çok kullanılan endüstrileşmiş malzeme olma özelliğini korumuştur. Geçen süreç içinde kullanım amacı değişmemiş, özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların başında da ısı yalıtım değerinin artırılması gelmektedir. Enerji kaynaklarının azlığı ve tükenirliği enerji tasarrufunu gerekli kılmaktadır. Bu nedenle konut üretiminde en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan tuğla üretiminde de yalıtım değerinin artırılması çalışmaları önem kazanmaktadır.

Endüstriyel üretimin artması yanında bazı problemleri beraber getirmiştir. Bu problem üretim girdisinden geriye kalan atıklardır. Atık yığılması yok edilemediği için çevreye zararlı hale gelmektedir. Gelişmiş ülkelerde bu problem önceden farkedilip, atıkların yeniden üretime kazandırılması çalışmaları önem kazanmıştır.

Türkiye’de de son yıllarda, endüstriyel atıkların değerlendirilmesi ve kompozit malzeme üretiminde performansa olan etkilerinin araştırılması, gündemi oluşturan önemli konulardan biri olmuştur. Termik santral, demir-çelik, bakır, ferrokrom, gübre, kağıt vb. sanayi alanlarından elde edilen birçok atık malzemeye kullanım olanaklarının yaratılması çok yönlü yarar sağlayacaktır. Özellikle yapı malzemelerinin iyileştirilmesi konvansiyonel malzemelere yeni kullanım alanları bulunabilmesini sağlarken, enerji tasarrufu, ekonomi, çevre koruma ve doğal kaynakların daha akılcı kullanımı gibi avantajlara da neden olacaktır.

BÖLÜM 2. KONU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Hızlı kentleşme ve nüfus artışı nedeniyle artan konut ihtiyacının seri olarak endüstrileşmiş yapı malzemeleriyle karşılanması, konutlarda harcanan ısı enerjisinin, enerji kaynaklarının tükenirliliği nedeniyle minimum seviyeye indirilmesi, ısı yalıtım değeri yüksek malzemelerin kullanımını gerekli kılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda, gelişen teknolojiye paralel olarak, yeni yapı malzemeleri üretilmekte ve tuğla gibi geleneksel yapı malzemelerinin özellikleri de değiştirilip, geliştirilmektedir.

Sinterleşme esnasında kısmen veya tamamen yanabilen, organik veya inorganik katkılar, kil hamuruna eklendiğinde pişme sonrası seramik bünyesinde boşluklar oluşturur. Artan porozite oranı, seramik malzemenin ısı yalıtım değerini arttırarak, yapıların ısı enerjisi tüketimini azaltmaktadır.

Bu nedenle tuğla üretiminde, malzemeyi hafifleştirici özelliği olan organik ve inorganik katkılar kullanılmaktadır [17].

Hafifleştirici katkıların sınıflandırılması ve özellikleri:

1. Organik katkılar: Hızır talaşı, talaş tozu, ahşap yongası, polistren(polimer kökenli), kömür tozu, kağıt çamuru gibi bir üretim sonucu oluşan yan ürünler.
2. İnorganik katkılar: Genleştirilmiş perlit, vermikülit gibi doğal malzemelerden üretilen yapay agregalar ve ponza taşı, volkanik curuf, diyotomit gibi doğal hafif agregalar.

Kil ürünlerine karbon atıklarının ilavesi termal izolasyon özelliğini geliştirmiş, kömür ocağı atıklarının katılması pişme sırasında açığa çıkan enerji sayesinde, gerekli olan pişme enerjisini azaltmıştır.

Katkılı tuğla ve kille yapılan çalışmalar ile uçucu kütle üretilen kompozit malzeme araştırmalarına ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Tanaçan,L. [35], genleşmiş perlit, cam tozu ve bor bileşiklerini kullanarak farklı kompozisyonlarda tuğla üretmiştir. Çalışmada sinterleşme etkisi nedeniyle genleşmiş perlit, mukavemetin sağlanması için cam tozu ve bor katkısı tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre perlit katkı oranı arttıkça su emme değeri artmış, buna paralel olarak birim hacim ağırlığı azalmıştır. Cam tozu katkısının mekanik dayanımlarda

olumlu artışlara neden olduğu fakat cam tozunun elde edilmesi ve öğütülmesinin ek bir gider oluşturduğu saptanmıştır. Bor içerikli Borik asit ve Boraks Fabrikası üretim artışı nispeten düşük sıcaklıkta camlaşmayı sağlayabilmiş, dolayısıyla 850⁰C'de 2 saatlik pişirme süresi perlit taneciklerinin erimesinide engellediğinden uygun bir sıcaklık olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma ile elde edilen basınç dayanımı değerleri TS 705'de verilen basınç dayanımı değerleri ile karşılaştırıldığında, üretilen tüm örneklerin standartta verilen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Standartın en büyük birim hacim ağırlığı olan 2.00kg/m³ için belirlediği basınç dayanım değerleri 23,5-17,6 ve 11,8 N/mm² dir. Bu çalışmada ise; birim hacim ağırlığı 0,87 kg/m³ olan %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 13,60 N/mm², birim hacim ağırlığı 0,96 kg/m³ olan %10 cam tozu ve %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 17,49 N/mm² ve yine birim hacim ağırlığı 0,92 kg/m³ olan %15 atık ve %90 perlit katkılı tuğlanın basınç dayanımı 24,07 N/mm² olarak bulunmuştur.

Çolak, M. [9]' de yukarıdaki çalışmaya paralel bir çalışmada, Kırka Boraks İşletmesi konsantratörü atık ürünlerinin seramik yapıda atık malzeme ve seramik üretimi için uygun olabilecek bir malzemenin potansiyel kullanımını araştıran sonuçlar sunmaktadır. Boraks işletmesinin atık malzemesi üzerinde yapılan toplam kayaç x-ray difraktometre(XRD) çalışması sonucuna göre ortalama %41-45 dolomit, %24-28 boraks, %10-14 üleksit ve %18-21 kil mineralleri bulunmuştur. Çalışmada %17-21 kuvars, %7-11 kalsit, %56-60 simektit ve %12-16 illit+plajiyoklas+K-feldispat mineral topluluğu içeren Turgutlu tuğla hammaddesi kullanılmış ve 850-900⁰C gibi düşük sıcaklıklarda bor atıklarıyla üretilen; düşük su emme özelliği ile yüksek sertlik değerine sahip tuğla numuneler elde etmiştir. Bu düşük pişme sıcaklığı endüstriye büyük bir enerji tasarrufu sağlayacaktır. Yapılan çalışma Kırka Boraks madeninde gözlenen bor ve kil içeriği nedeniyle bor atıklarının seramik amaçlı kullanılabilceğini göstermiştir.

Öztürk,S. [28]'de perlitli borakslı tuğlalarda, boraksın tuğla içindeki davranışının belirlenmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Üretilen kompozit malzeme, belirli bir sıcaklık aralığından geçerken, boraksın patlamasıyla hacim büyümesi sağlanması hedeflenmiş ve bünyede oluşan gözeneklere kilin tutunarak bağlayıcılık

özelliği göstermesi; hem boşluklu, hem istenen sağlamlıkta ve ısı yalıtımlı yapı elemanı elde edilmesi amaçlanmıştır. Boraks 350°C - 550°C arasında patlama, 600°C üzerindeki sıcaklıklarda da camlaşma özelliği göstermektedir. Deneylede Boraks'ın bu özelliğinden faydalanılması, Boraksın 350°C - 550°C arasında patlayarak hacim büyümesi sağlaması, 600°C ' den itibaren gözenek oluşturması ve oluşan gözeneklerin camlaşan Boraks ile kilin bağlanarak sağlam bir yapı oluşturması şeklindedir.

Satapath,L.N. [32]'de zirkonya ve uçucu kül katkıları ile farklı kompozisyonlarda tuğla üreterek, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda artan katkı oranıyla su emme azalmış ve sertlik dayanımı artmıştır. Üç noktalı eğilme dayanımı %10 katkı oranına kadar artış göstermiş, fakat %10 oranın üstündeki karışımlarda bu değer azalmıştır.

Çokça, E. [7]'nin yaptığı bir çalışma, Türkiye' de ki Soma-B Termik santral küllerinin, donma-çözülme özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak üzere, numune üretimi ve laboratuvar çalışmalarını kapsamaktadır. Numuneler sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Donma-çözülme tekrarından önce numunelere nem odasında farklı periyotlarda

(1, 7, 14, 28 ve 56 gün, 21°C ' de) kür uygulanmıştır. Numuneler donma kabinde (-16°C 'de) 24 saat ve arkasından %100 relatif nemli ortamda (21°C 'de) 24 saat bırakılmıştır. Donma-çözülme 0, 1, 5, 10 kere dönüşümlü olarak tekrarlanmıştır. Donma-çözülme tekrarının artışı ile dayanımın kür sırasındaki değişimi, basınç testleri ile tespit edilmiş ve dayanımdaki artışın donma çözülme tekrarının artmasına paralel olduğu gözlenmiştir. Soma-B uçucu külü, içerisindeki serbest kirecin etkisi ile puzolanik davranış göstererek, kür sırasında hidrasyon etkisiyle sertleşmiş ve dayanımı artmıştır. Soma-B uçucu külü, çevreyi olumsuz etkilememesi nedeniyle, sıkıştırılmış doymuş halde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

Diğer bir çalışmasında Çokca E. [8], genişmiş toprağın stabilizasyonunda, Türkiye'deki, Soma ve Tunçbilek Termik Santrallerindeki yüksek ve düşük kalsiyum

İçerikli C sınıfı uçucu külleri kullanılmıştır. Genleşmiş topraklardaki aşırı donma sonucu şişme, yapı elemanlarında istenmeyen etkilere yol açmaktadır. Bu problemin kontrolü için birkaç yöntem önerilmektedir. Genellikle kullanılan yöntem genleşmiş toprağa, kireç ve çimento gibi dengeleyici elemanların eklenmesidir. Genleşmiş toprak laboratuvar şartlarında %85 kaolin, %15 bentonit ve %10 oranında suyun karışımıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada genleşmiş toprak-kireç, genleşmiş toprak-çimento, genleşmiş toprak-uçucu kül karışımları denenmiştir. Genleşmiş toprağa %0-8 oranında kireç ve çimento, % 0-25 oranında Soma ve Tunçbilek uçucu külü katılmıştır. Hazırlanan numunelerin kimyasal içerikleri, incelik oranları ve karışım limitleri tespit edilmiş, serbest şişme deneyleri yapılmıştır. Deneylerden önce uçucu küllü numunelere 7 ile 28 gün kür uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre genleşmiş toprak stabilizasyonunda uçucu küller başarılı sonuç vermiştir.

Uchida, S. ve Ichikawa K. [38], tarafından yapılan çalışmada; Al ve Si tozlarının yanmamış MgO-C tuğlalarına katılması ile seçilen sıcaklıklardaki üretimde; değişen mikro yapı, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Örnekler ısı etkisiyle 500°C'de küçülmüş ve görünen porozite pişmemiş örneklerle oranla artmıştır. Eğilme dayanımı ve Elastik modül 500°C'de pişmemiş numunelere oranla çok düşmüş, görünen porozite artmış ve mekanik özellikleri 500°C'deki tekrarlanan her iki pişirmede de azalmıştır. Bünyedeki fenolik reçine varlığı nedeniyle bulunan uçucu madde meydana geldiğinde artık, mikroyapı rötresinin durduğu ve mekanik özelliklerin değişmez hale geldiği tahmin edilmektedir. Eğilme dayanımı ve statik elastisite modülü; üretimdeki bağlayıcı reaksiyon etkisi nedeniyle (Al_4C_3 , SiC, ve $MgAl_2O_4$), 800°C, 1000°C ve 1300°C' de, 500°C'deki örneklerden daha yüksektir. Üretimdeki reaksiyonda oluşan manyezi partiküllerindeki çatlaklar ve artan görünen porozite nedeniyle, oda sıcaklığındaki örnekler 500°C'deki örneklerle benzer özellik gösterir. 1300°C' de, tuğla örnekler kırılmadan önce plastik deformasyon görülür. Tekrarlanan pişirme ve soğutma işlemi sonucunda; oda sıcaklığından, 500°C, 1000°C ve 1300°C' ye kadar tüm örneklerde, sıcaklıkla genleşme oranının azaldığı saptanmıştır.

Kimura, Tai ve Jinnai [20], grubu tarafından yapılan çalışmada da, yüksek dayanımlı porselen üretiminde; cam mikro tanecikleri, kuvars ve alüminyum çimentosu gibi plastik olmayan hammadeler kullanılmış ve kuvars taneciklerinin büyüklük etkileri araştırılmıştır.

Alümin çimentosu ağırlıkça %20 oranında sabit tutularak, kuvars içeriği (ağırlıkça %10-60) ve cam mikro tanecikleri oranı (ağırlıkça %20-70) farklı kompozisyonlarda ele alınmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre; yaş mukavemetin ve yoğunluğun, cam mikro taneciklerinin oranının artmasına bağlı olarak, azaldığı saptanmıştır. Yanmış bünyedeki fazlar; cam, α - kuvars, kristobolit, anorthit ve az miktarda α -alüminadır. Geniş kuvars tanecikleri (10-32 μm .) yanmadan dolayı kapalı gözenekleri arttıramazken, daha küçük kuvars tanecikleri (4-10 μm .) 1300 $^{\circ}\text{C}$ ' de kapalı gözeneklerin artmasına neden olmuştur.

Kukko [22]'nin yaptığı "Kil Stabilizasyonunda İnorganik Maddelerin Kullanımı" başlıklı çalışmada; endüstriyel üretimde, killi toprakların stabilizasyonunda inorganik yeni bağlayıcı alternatifleri denenmiştir. Farklı yollarla etkin hale getirilen granülize ve toz halinde yüksek fırın curufu, bağlayıcı olarak uçucu kül ve düsülfirizasyon atıkları kullanılmış ve çimento, kontrol bağlayıcı olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın amacı, farklı karışım oranlarında yeni inorganik bağlayıcı alternatiflerini değerlendirmek ve kilin jeolojik özelliklerinin nasıl etkilendiğini gözlemlemek, karışımların kimyasal/mineralojik özelliklerini araştırmaktır. Elde edilen laboratuvar sonuçlarına göre, kil karışımının dayanımı, su/bağlayıcı oranına bağlı olduğu ve dayanımın eşik değerlerin altındaki minimum su/bağlayıcı oranında arttığı tespit edilmiştir. Yüksek fırın curufu-çimento karışımının dayanımı, yalnız çimentonun kullanıldığı örneklerden daha yüksektir. Isı davranışı ile hızlı prizlenerek sertleşmenin, sonuç dayanımı etkilediği tahmin edilmiştir. 60 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın hızlı priz için uygun olduğu saptanmıştır.

Porbaha, Pradhan ve Yamane [30]' nin yaptığı deneysel çalışmada, termo-elektrik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin, makaslama dayanımı ve geçirimsizliği zaman kriteriyle incelenmiştir. Makaslama dayanım testleri için Mikasa adı verilen

aparar kullanılmıř ve geirirnililik için konvansiyonel testler uygulanmıřtır. İki farklı santralden alınan, dūřuk kalsiyum içerikli uçucu kūllere pekiřtirme iřlemi yapılmıřtır. Elde edilen sonuçlar her iki uçucu kūlūnde kısa sūrede pekiřtiđini ve zamanla deđiřmediđini gōstermektedir. Uçucu kūllerde pekiřme iřlemi 10 dakika ile 3 gūn arasında deđiřmektedir. Makaslama dayanımının zamanla artıř oranı, iki farklı uçucu kūlde puzolanik reaksiyona bađlı olarak farklı deđerler almaktadır. Geçirgenlik testleri sonuçlarına gōre, 12 gūnlük 49 ve 98 kPa deđerindeki gerilim altında, geçirgenlik katsayısı 10 - 6 ve 10 - 7 m/s arasında deđiřmektedir. Bu geçirgenlik katsayısı, ya dūřuk kalsiyum içerikli uçucu kūllerde deđiřmez kalır ya da yūksək kalsiyum içerikli uçucu kūllerde az miktarda azalma gōrūlür. Yapılan arařtırma sonuçları, dūřuk kalsiyum içerikli uçucu kūllerin yumuřak zeminlerde dūřey drenaj elemanı olarak kullanılabileređini gōstermiřtir.

Naik ve Singh [24]'in yaptıđı bu çalıřmada, maden ocađından temiz kum, elik ūretim dūkūmhanesinden, dūkūmhane kumu , farklı kaynaklardan F sınıfı iki ayrı uçucu kūl ve Portland imentosu temin edilerek, akıcı řerbet karıřımlarda geirirnililik etkisi arařtırılmıřtır. Deneysel alıřmada, ASTM F sınıfındaki iki farklı uçucu kūl, 28 gūnlük mukavemeti 0,34-0,69 MPa (50-100psi) arasında olan akıcı uçucu kūl řerbeti farklı oranlarda kullanılmıřtır. Diđer karıřımlarda uçucu kūl yerine, temiz ve kullanılmıř dūkūmhane kumu %30-85 arasında katılmıřtır. Akıcı karıřımların geirirnililiđi ya imentosu malzeme oranının ya da dūkūmhane kumu içeriđinin artmasından etkilenmiřtir. Geirirnililik deđerleri, %85 dūkūmhane kumu yerine uçucu kūl ile dolgu yapıldıđında azalmaktadır. Bu deđerler test edilen karıřımlarda 3×10^{-6} ile 74×10^{-6} cm/s. arasında deđiřmektedir. Akıcı řerbet karıřımların ūretiminde uçucu kūl yerine %85 den fazla dōkūmhane kumu kullanıldđında; 28 gūnlük basınç dayanımı 0,27-0,61 MPa (40-90 psi) civarında olmaktadır.

Poon, Lam ve Wong [29]'un yaptıđı çalıřmada; uçucu kūl, silis dumanı ve imento karıřımlarının gōzeneklilik ve gōzenek būyūklūđü ūzerindeki etkileri arařtırılmıřtır. Kullanılan malzemeler; portland imentosu, dūřuk kalsiyum içerikli ASTM F sınıfı uçucu kūl, silis dumanı, 10-20 mm. max būyūklūkte kırmatař ve dođal nehir

kumudur. Su / bağlayıcı oranı 0,3-0,5 olarak 2 seri çimento hamuru hazırlanmıştır. Her iki seride de; %0, 15, 25, 45, 55 uçucu kül+ çimento ve %0, 10, 20, 40, 50 uçucu kül+ %5 silis dumanı +çimento oranı esas alınmış ve çimento hamuruna 28 ve 56 günlük kür uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; uçucu kül ilavesi poroziteyi yükseltmiş fakat gözenek büyüklüğünü azaltmıştır. %5 silika dumanı ilavesi, gözeneklilik oranını ve gözenek büyüklüğünü önemli bir ölçüde değiştirmemiştir. 28 ve 56 günlük harçlar da %15-45 uçucu kül karışımı, çimento harçları karşılaştırıldığında içyapıdaki gözeneklilik daha azdır. Uçucu küle beraber %5 oranında silis dumanı ilavesi içyapıdaki gözenekliliği oldukça azaltmıştır.

Hilmi ve Aysen Lav [23]'ün yaptığı bu çalışmada, uçucu kül; içyapısı, kimyasal ve mineralojik özellikleri, termal analiz sonuçları nedeniyle kaldırım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Uçucu kül çimento ve kireç ile stabilize edilmiştir. Çimento ve kireç stabilizasyonunun kimyasal karışıma, kristal yapıya ve hidrasyona etkisi test edilmiştir. ASTM F sınıfı düşük kalsiyum içerikli uçucu kül kullanılmış, yanmamış karbon içeriği % 0,90 - 1,28 arasındadır. Çimento ve kireç stabilizasyonlu uçucu kül aynı şartlarda üretilmiştir. Hiçbir üretimde X-ray difraksiyon analiz sonucu karbonatlaşma olmamıştır. Çimento ve kireç stabilizasyonlu uçucu kül karışımları aynı basınç dayanım değerlerini vermektedir. Fakat kireç stabilizasyonlu örneklerde; miktar, yoğunluk ve hidrasyon gelişim süreci, çimento stabilizasyonlu örneklerden daha düşüktür.

Akman ve Erdinç [2]'in yaptığı çalışmada; klor iyonlarının yüksek olduğu ortamlarda, betonarme donatılarının paslanmasının önlenmesi için puzolanik katkı olarak F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Klor geçirimsizlik testlerinde AASHTO_T277-83 (American Association of State Highway and Transportation Officials, Rapid Chloride Permeability Test "RCPT") yönteminden yararlanılmıştır. Geçirimsizlik deneyleri 7, 28, 56 ve 120 nci günlerde yapılmıştır. Uçucu kül katılımı ile klor geçirimsizliğinin büyük oranda (%50-100) azaldığı görülmüştür. Uçucu kül oranının en az %20 olması gerekliliği saptanmıştır. Porozite ve kılcallık arttığı halde klor geçirimsizliğinin düşmesi uçucu külün adsorpsiyon yeteneğinin varlığını kanıtlamıştır.

Uçucu kül katılımı 28 günlük basınç dayanımını düşürdüğü halde betonun ileri yaşlarında bu sakıncanın göreceli olarak ortadan kalktığı tespit edilmiştir.

Alataş ve Yıldırım [41]'in yaptığı çalışmada Afşin-Elbistan Termik Santralı 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 kürden sonra serbest basınç mukavemeti deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; 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 Santralı 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 [40]; silis dumanı ve uçucu kül içeren taşıyıcı bimsbetonları ile ilgili çalışmasında Çayırhan uçucu külü kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yaklaşık 500kg/m^3 çimento dozajı ve çimentonun %15' i kadar silis dumanı ile toplam bağlayıcı malzemenin %2'si kadar süperakışkanlaştırıcı kullanarak 48 MPa'a kadar ulaşan 28 günlük beton basınç dayanımları elde edilebilmiş, betonlarda kuru birim ağırlık 1950 kg/m^3 , ısı iletkenlik değerleri $0,55\text{ kCal/mh}^0\text{C}$ 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 görülmüştür. Bu tür betonların üretimi uçucu kül ve silis dumanı gibi endstriyel atıkların değerlendirilmesini de sağlamaktadır.

Özkul ve Koral [26]'in yaptığı çalışmada; Afşin-Elbistan Termik Santralından elde edilen uçucu küllerin tuğla blok elemanı üretiminde kullanılma olanakları araştırılmıştır. Uçucu külü stabilize etmek amacıyla değişik oranlarda kireç, alçıtaşı ve çimento tek başlarına veya birarada kullanılmıştır. Toplam katı ağırlığının %25'i kadar su ilave edilerek kalıp içerisinde 20 N/mm^2 'lik basınçla sıkıştırılarak $\phi 5 \times 10$ cm.lik silindir numuneler üretilmiştir. Bu örnekler üzerinde basınç dayanımı, su

emme ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve suya karşı durabiliteleri araştırılmıştır. Tüm örneklerin su içerisinde stabilitelerinin bozulması nedeniyle karışımlara ağırlıkça %20, %40 ve %60 oranında agrega ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; alçıtaşı ve çimento ile stabilize edilen uçucu küllü örneklerin basınç dayanımları 15 N/mm^2 değerine kolaylıkla ulaşabilmiş ve $19,5 \text{ N/mm}^2$ lik dayanımlarda elde edilmiştir. Karışımlara agrega ilavesi, kireç-çimento karışımlarında dayanım artışına, alçıtaşı-çimento karışımlarında dayanım azalmasına neden olmuştur. Üretilen numunelerin ağırlıkça su emme değerleri agrega miktarı arttıkça azalmış ancak standartlarda istenen sınır değerlere ulaşamamıştır. Agrega içermeyen karışımların hacim sabitliği yetersiz kalmış ve ilk 24 saat içinde çatlaklar oluşmuştur. Aynı karışımlara %20 ve daha yüksek oranlarda agrega ilave etmenin ilk yaşlardaki durabilite problemini giderdiği görülmüş fakat ileri yaşlar için kesin bir sonuç elde edilememiştir.

Özkul ve Koral [19]'ın yaptığı diğer bir çalışmada; baca gazı desülfürizasyon sistemi kurulan Çayırhan Termik Santralında açığa çıkan iki atık ürün (uçucu kül ve alçıtaşı) ve kireç ile kalsiyum sülfö-alüminat ve kalsiyum silikat hidrate ürünlerini oluşturarak bağlayıcı malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır. Desülfojips, uçucu kül ve kireç çeşitli oranlarda karıştırılarak $40 \times 40 \times 50 \text{ mm}$. boyutlarda numuneler üretilmiştir. Desülfojips oranı karışımlarda ağırlıkça %10 ve %20 alınmıştır. Uçucu kül %80-70-60 ve kireç %20-30-40 olarak karışım oranları belirlenmiştir. Üretilen numunelere laboratuvar şartlarında kür uygulanmış ve 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları saptanmış ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Kür sıcaklığının artırılmasının sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; uçucu kül kireç karışımına kimyasal alçı(desülfoalçı) ilave etmenin aktiviteyi arttırdığı ve en yüksek dayanımların %10-20 alçıtaşı ilaveli serilerde olduğu görülmüştür. Kür sıcaklığını arttırmak, hidrasyon hızının artmasına neden olmuş ve buna paralel dayanımlar artmış, yaklaşık 50 MPa dayanım elde edilmiştir. Kür sıcaklığındaki artış basınç dayanımlarını arttırırken, birim hacim ağırlıklarda düşüşe ve hacimce su emmelerde ise artışa neden olmuştur.

Özturan [27]'in yaptığı çalışmada, portland çimentosunun bir kısmı yerine aynı ağırlık oranında Soma Termik Santralı ASTM C sınıfı yüksek kireçli uçucu külü kullanılan lateks harçlarının bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Katkısız ve çimento ağırlığının %25 ile %50 oranlarında uçucu kül katkılı harçlarda, polimer-bağlayıcı katkı madde oranı 0, 0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20 olacak şekilde vinil asetat ve akrilik asit ester kopolimer lateksi kullanılmıştır. Yayılma oranı sabit tutulan harçlarda su-bağlayıcı madde oranı 0,60-0,70 arasındadır. Numuneler 28 gün boyunca $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve %75 bağıl nemli ortamda kür edilmiş ve 7. ve 28. günlerde birim ağırlık ve ses hızları ölçüldükten sonra; basınç, çekme ve eğilme dayanımları saptanmıştır. Deney sonuçları lateks kullanımının hem katkısız hem de uçucu kül katkılı harçlarda basınç dayanımlarını azalttığını göstermiştir. Diğer taraftan eğilme ve çekme dayanımları lateks kullanılmasıyla önce azalırken, artan polimer-bağlayıcı oranıyla artmakta ve uçucu kül katkısız harçlarda lateks içermeyen harçların üzerine çıkarken, uçucu kül oranındaki artışla iyileştirme etkisi azalmaktadır. Polimer-bağlayıcı oranının 0,15 değerinde 28 günlük eğilme ve çekme dayanımlarında lateks içermeyen harçlara oranla sırasıyla %40 ile %25 oranında artışlar elde edilmiştir. Lateks harçlarının dinamik elastisite modülleri hem katkısız hem de uçucu kül katkılı olanlarda lateks içermeyenlere oranla daha düşük olduğu, buna karşılık polimer-bağlayıcı oranındaki artıştan dinamik elastisite modülü değerlerinin pek etkilenmediği gözlenmiştir.

BÖLÜM 3. KULLANILAN MALZEMELER

3.1. TUĞLA MALZEME

3.1.1. Tuğla Malzemenin Tarihçesi

Tuğla dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir. Çamur kendine ait bir biçimi olmadığı için, yapım tekniği, biçim ve boyutsal strüktürlerin kullanılması insanoğlunun yapıcılığını geliştirdiği en önemli deney alanı olmuştur. Çağdaş malzemenin kullanıldığı günlere gelene kadar, geleneksel büyük örtü sistemlerinin esas öğelerini oluşturan kemer, kubbe ve tonoz, kerpiç ve tuğlanın ana yapı malzemesi olduğu bölgelerde ortaya çıkmıştır [21].

İlk insanlar başlangıçta kili pişirmesini bilmedikleri için, şekillendirdikten sonra kurutarak ihtiyaçlarını gidermek amacıyla kullanıyorlardı. Pişirmeyi öğrendikten sonra kullanım alanını genişlettiler. Yapılarını tabiatta hazır olarak buldukları taş ile yaparken tuğlayı da kullanmaya başladılar. Böylece, aynı ölçülerdeki tuğla birimleri yanyana getirerek oluşturdukları yapı elemanları ile, ilk defa prefabrike yapı malzemesi kavramını oluşturdular [37].

M.Ö. 4000 yıllarında inşa edilen Babil kulesinde yapılan araştırmalar, kulenin inşaatında seksenbeş milyon adet tuğla kullanıldığını göstermiştir. Bu gün yüksek kapasiteli 5-6 fabrikanın 1 yıllık üretimlerinin birleştirilmesi ile bu üretim adetine ulaşılabilirdi düşünülürse, o tarihlerde bu üretim zinciri için nasıl bir işbölümü ve insan gücü kullanıldığı ve bunun da bir endüstriyel çalışma olduğu ortaya çıkmaktadır.

1877-1917 yılları arasında Alman Arkeolog Robert Koldwey tarafından Babil şehrinde yapılan kazı ve araştırmalarda halen modern binalarda günümüzde de kullanılan düzgün şekilli, keskin kenarlı, çok teknik olarak imal edilmiş tuğlalar bulunmuştur. Bu nedenle dünyanın 7 harikasından biri olan bu tarihi yapı, pişmiş tuğlanın sistemli ve düzenli olarak kullanıldığı ilk yapı olarak kabul edilmektedir.

Mezopotamya kavimlerinden Sümer (M.Ö. 40.yy.), Akad ve Babilliler duvar yapımında, kanalizasyon sisteminde ve yazı tabletlerinde pişmiş toprak malzemeyi geniş anlamıyla kullanmışlardır.

Hindistan ve İnan' da da tuğlanın, ençok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini gösterdiği sivil ve dini mimari örneklerinde görülmüştür.

Roma uygarlığının sembolü olan taş bu uygarlığın son dönemlerinde yerini tuğlaya bırakmış ve tuğla ile birçok yapı inşa edilmiştir. Özellikle İtalya' nın güneyinde, pişmiş tuğla malzemenin avantajları erken farkedilerek taş sütün gövdesiyle aynı çapta olan stnlar tuğladan yapılmıştır. Bunun en gelişmiş ve eski örneklerinden biri M..120 yıllarında yapılan Pompeii Bazilikasının kolonlarında görülmüştür [1]. Tuğla'da ilk standartlar Romalılar tarafından geliştirilmiş ve uygulamaya sokulmuştur. Kalınlık nedeniyle oluşan kuruma ve pişme problemlerini zelmeye çalışmışlar ve böylece ilk araştırma faaliyetleri onlar tarafından başlatılmıştır. Bu alışmalar sonucunda mümkün olduğunca ince fakat eskisine nazaran daha mukavemetli (dayanıklı) malzemeler üretilmiştir.

Anadolu uygarlıklarında da diğerlerine paralel bir gelişme görülmüştür. Tarihsel veriler Anadolu'da da ilk pişmiş tuğlanın, endüstriyel anlamda üretim ve kullanımının M.. 4. yy.'da Lidya'lılar tarafından başlatılmışını göstermektedir. Yunanlıların tuğlayı geniş kullanımı Bizanslılarla devam etmiş ve daha sonra Selçuklular Bizanslılardan bu gelişmeyi devralarak ilerletmiştir. Selçuklu mimarisinde tuğla, taş ile almaşık olarak duvar kompozisyonunda yer almış ve değişik kullanım olanakları yaratılmıştır.

Anadolu' da tuğlaya ilk standart Osmanlılar döneminde getirilmiştir. Fatih Sultan Mehmet Dönemi tuğlaları 4.5x28x28 cm. ebatlarında, hatıllarda kullanılanlar ise daha ince imal edilmiştir. Kullanılan standartlar dışına çıkan tuğlalar inşaatlarda kullanılmaz hatta satışına izin verilmezdi [16].

Bundan sonraki dönemde 18. yy.'a kadar tuğla endüstrisinde önemli bir gelişme görülmemiştir.

Günümüz modern Batı uygarlığının hemen her yönü 18.yy.'da başlayan kapsamlı kültürel değişimlerden etkilenmiştir. Bu değişimlerin en temel olanı, belkide modern bilime paralel olarak gelişen insan ve evrenle ilişkisine dair yeni bir algılama biçiminin ortaya ıkışıydı. İnsanın araştırma etkinliklerini yönlendiren en soylu amacın fiziksel dünyayı değiştirmek ve geliştirmek olduğu fikrinin geç 17.yy.' a egemen olmasıyla birlikte, toplumsal ve ekonomik değişim hızında büyük artış görüldü.

Gıda üretimindeki artış, yüzyılın sonuna doğru tıbbi bakım alanındaki gelişmeler sayesinde ölüm oranında görülen düşüşle birlikte Avrupa nüfusunun katlanarak artmasına neden oldu. Bu yüzden gelecek nesilin karşılaştığı ana mimari sorunlar, sürekli artan kentsel nüfusun barınma, ulaşım, eğlenme biçimlerini öğrenmek ve yönetsel kurumlarına alışmak oldu.

Bu geç 18. yy. endüstrileşme ve ekonomik gelişme sürecinin mimari karşılığı şuydu: Bir süre sonra yapı yapma işleminin en önemli ödevi, en büyük sayıda insanın en yüksek düzeyde kullanabileceği, topluluklara en yüksek kamusal hizmeti sunabilecek yapılar yapmak oldu. 18. yy. sona ererken seri üretim tekniklerinin olanaklı kıldığı ve biçimlediği burjuva orta sınıf kültürü yaratıldı [31].

Rönesans sonrası sanayi devriminin başlaması ile tuğla endüstrisi de gelişmeye başlamış, standardizasyon çalışmaları ve emek yoğun çalışmalarının azaltılması üzerinde durulan konular olmuştur.

Endüstri döneminden günümüze kadar da tuğla üretimi teknolojiye paralel olarak değişmiş, üretim teknikleri geliştirilmiştir. Elektronik kontrol sistemlerinin üretim projesine katılması yeni bir devrim yaratmıştır.

3.1.2. Tuğla Malzemenin Mimari Tasarımdaki Rolü

Tuğla' da taş gibi, sadece basınca çalışan bir malzeme olarak kütleli yapı biçimini zorlayan; kemer, kubbe ve tonoz gibi geleneksel büyük örtü sistemlerinin esas öğelerini oluşturan strüktür kurucu bir yapı malzemesidir.

Standart boyutları itibarıyla yapıya modüler bir etki getirmektedir. Duvar, kemer, payanda ayağı, girinti gibi öğelerin boyutlandırılmasını etkileyerek yapıda bütünlük duygusunu kuvvetlendiren bir etmen yaratmaktadır.

Hammaddesi olan killi toprağın doğal, nefes alıp veren bir malzeme olmasıyla tuğla, yapı fiziği koşullarını karşılayabilen uygun ortamlar oluşturmaktadır.

Tuğla, kil hamurunun içerisinde bulunan metal oksitlere göre pişme sonrası değişik renkler almakta ve tasarıma rengi bir veri olarak kazandırmaktadır.

Kil, su ile karıştırıldığı zaman plastiklik özelliği kazanması nedeniyle istenilen her şekilde ve boyutta tuğla üretilmektedir.

3.1.3. Tuğla Malzeme Üretim ve Özellikleri

Türkiye’de, son on yılı saymazsak tuğla sektöründe çok büyük bir atılım olmamıştır. Özellikle 1986 yılından sonra konut sektöründeki kooperatifleşme ve kredilendirme süreci içinde fabrika sayısı artmış fakat sektöre yapılan yatırımlarda eski ve emek yoğun teknolojiler kullanılmıştır.

Bu istihdam açısından olumlu olmakla birlikte, kalite fabrikaların projelendirme safhasında geri planda tutulmuştur. Kalitesiz üretimlerin yapılması bu dönemde sektörde yer edinmiş, kaliteli ve standartlara uygun malzeme üreten fabrikaların rekabet şartlarını zorlamıştır.

Günümüzde tuğla üretim sektöründe teknolojik yenilemeye ve kalite arttırımına acil ihtiyaç duyulmaktadır.

Vitruvius Tuğla malzeme hakkında edindiği deneyimleri ve yapıda doğru olarak kullanılmasının inceliklerini, klasik çağdan zamanımıza gelebilen tek bilimsel eser olma özelliğindeki *De Architectura*’ın 2. kitabında şöyle belirtmiştir [39] :

“Thales tüm nesnelerin temel maddesinin su olduğunu düşünüyordu. Efes’li Heraclitus, bunun ateş olduğunu düşünürken, Democritus ile onu izleyen Epikür, yazarlarımız tarafından “bölünemeyen cisimler” veya bazılarının “bölünmezler” diye tanımladığı atomlar olduğunu sanıyorlardı. Pythagoras okulu su ve ateşe hava ve toprak öğelerini eklemiştir. Bu nedenle, Democritus’un kesin bir tanımlama yapmayıp yalnızca bölünmez cisimlerden söz etmesine rağmen, bu maddeleri kastettiği düşünülebilir; çünkü yalın hallerde, bu maddelere zarar verilemediği gibi, ne çözülebilir, ne de bölünebilir olduklarından zaman içinde sonsuza değin bütünlüklerini korurlar.

Sonuçta, tüm nesnelerin bu maddelerin biraraya gelmesi ile oluştuğu veya üretildiği ve bunların, doğanın eliyle sonsuz sayıda çeşitli nesnelere arasında bölüştürüldüğü görülüyor. Bu yüzden, bunların çeşitliliğini ve uygulamalı yönleriyle yapılar da sergiledikleri özellikleri anlatmak istedim ki, yapı yapmayı düşünenler bunları anlayarak hata yapmadan yapılarına uygun malzemeleri toparlayabilsinler.

1. Tuğladan başlayarak hangi tür kilden yapılmalı gereketliğini belirteceğim. Kumlu veya (deniz) çakıllı kilden veya ince çakıldan yapılmamalıdır;

çünkü, öncelikle, bu türlerden yapıldıkları zaman ağır olurlar; ikincisi, duvarların içinde iken yağmurla ıslandıklarında, ufalanıp parçalanırlar ve içlerinde bulunan saman, malzemenin kabalığı nedeniyle dağılır. Daha çok beyaz ve kalkerli veya kırmızı kilden, hatta kaba taneli çakıllı kilden yapılmalıdır. Bu malzemeler, düzgün ve bu nedenle dayanıklı olup ağır değildirler ve kolaylıkla döşenirler.

2. *Tuğlalar düzgün kuruyabilmek için baharda veya sonbaharda yapılmalıdır. Yazın yapılanlar, kızgın güneş dış yüzeylerini kurutup içlerini nemli bıraktığından kusurlu olurlar. Kururken meydana gelen çekme, daha önce kurummuş olan kısımlarda çatlaklar oluşturarak tuğlaları zayıflatır. Tuğlalar, kullanılmalarından iki yıl önce yapılırlarsa en yararlı olur; çünkü daha az zamanda kurumazlar. Taze, tam kurumamış tuğlalar bir duvarda kullanıldığında, duvar sıvası sertleşerek kalıcı bir kitleye dönüşür; buna karşın tuğlalar oturduktan sonra sıva ile aynı yüksekliği tutturamazlar; çekerken oluşan hareket sıvaya yapışmalarını önlediğinden sıvadan koparlar. Bu nedenle, artık duvardan kopan sıva, çok ince olduğundan tutunamaz ve düşer; duvarları kendileri de bu oturmadan zarar görebilirler. Bu o denli doğrudur ki, Utica' da duvarlar yapılırken, yalnızca yetkililer tarafından onaylanmış beş yıl önce yapılmış tuğlalar kullanılır.*
3. *Üç tuğla türü vardır. Birincisi, bizim halkımızın kullandığı ve Yunancada Lidya türü olarak bir buçuk ayak uzunluğunda ve bir ayak genişliğinde olanıdır. Diğer iki türü; beş avuç kare(pentadoron) ve dört avuç kare(tetradoron) olarak Yunanlılar yapılarında kullanırlar.*
4. *Bu tuğlaların yanında yarım tuğlalar vardır. Bir duvarda bunlar kullanıldığında, duvarın bir yüzüne tam, diğerine ise yarım tuğla dizisi, her iki yüzeyde düzgün bir çizgide olmak üzere döşenir. Duvarlar iki değişik sıranın karşılıklı döşenmesi ile bağlanırlar; tuğla dizilerindeki derzlerin üstüste gelmemesi, duvarlara dayanıklılığın yanında, her iki yüzeyde estetik bir görünüm kazandırır. Uzak İspanya'daki Maxilua ile Callet eyaletlerinde ve Anadolu' da Pitane'de, tamamen kuruduktan sonra suya atıldıklarında yüzen tuğlalar vardır. Yüzmelerinin nedeni, yapımlarında kullanılan kilin ponza taşına benzemesi olabilir. Hafif olmanın yanında, havayla temas*

ederek sertleştikten sonra da su çekmezler. Bu yüzden, hafif, gözenekli ve dokusu nem geçirmeyen bu tuğlaların, ağırlıkları ne olursa olsun doğanın yasaları uyarınca ponza taşı gibi suda yüzmeleri gerekir. Bu nedenle, büyük yararları vardır; hafif oldukları için kullanımları kolay olduğu gibi, yapıldıktan sonra, kötü hava koşullarından etkilenmezler.”

Vitruvius Yunan ve Roma Mimarisini çok iyi sentezlemiş bir mühendis-mimar olarak, kendi deneyimi ile bildiği pratik bilgileri ve ayrıntıları, yapı kural ve geleneklerini günümüze aktarabilmiştir. Yapı malzemesi olarak tuğla üretiminde hammadesi olan kil seçiminin ve kurutulmasındaki titizliğin önemini vurgulamış, kalıplanmış tuğlanın doğru kurutulabilmesi için yöntemler önermiş, o dönemlerde tuğlanın geliştirilmesi için yapılan çalışmaları anlatmıştır.

Günümüzde tuğla üretiminde kaliteli ve dayanıklı malzeme elde edebilmek için, hammadesi olan kilin özelliklerinin doğru saptanması ve teknolojik üretim yöntemlerinin kullanılabilmesi önem kazanmaktadır.

3.1.3.1. Tuğla Hammadesi Kilin Özellikleri

Tuğla üretiminde kullanılan kil hammadesinin mineralojik yapısı diğer seramik malzemelerinde olduğu gibi monotip değildir. Kimyasal bileşimlerine göre killer; kaolin, montmorillonit, gıbsit, muskovit ve klorit olarak sınıflandırılır. Tablo 3.1.’ de ayrıntılı olarak kimyasal bileşim yüzdelerine göre sınıflandırma verilmiştir.

Tablo 3.1. Killerin Kimyasal Bileşim Yüzdelerine Göre Sınıflandırılması [42].

Kimyasal Bileşim %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ FeO	MgO	CaO	KO	Na
GİBSİT	-	30-35	-	-	-	-	-
KAOLİN	44-47	37	0,5-1,0	0,3	0,3	0-1,5	0-1,5
İLLİT	47-52	22-30	2,0-7,0	1,0-4,0	0-1,0	6,0-8,0	0-1,0
MUSKOVİT	45	38	-	-	-	12	-
MONTMORİLLONİT	50-56	16-20	1,0-4,0	3,0-6,0	1,0-3,0	0-0,5	0-2,0
KLORİT	20-30	15-25	1,0-4,0	3,0-3,5	0,3	-	-

Kimyasal bileşim olarak killerin tuğla yapımında kullanılması geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Toprağın bu sanayide değerlendirilmesinde asıl önemli olan kimyasal bileşimleri değil toprağın tane boyutu ve fiziksel özellikleridir. Tablo 3.2’de tuğla üretimi için uygun olarak saptanmış kimyasal bileşim yüzdeleri verilmiştir(fiziksel özellikleri uygun olmak koşulu ile).

Tablo 3.2. Tuğla Yapımına Uygun Killerin Kimyasal Bileşim Yüzdeleri [42].

Kimyasal Bileşim	%
SiO ₂	30-50
Al ₂ O ₃	12-30
Fe ₂ O ₃	4-7
MgO	0-6
CaO	0-35
Na ₂ O	0-6
K ₂ O	0-2
MnO	0-2
Kızdırma Kaybı	0-14

Tuğla üretiminde kullanılan killi topraklarda plastiklik özelliği büyük önem taşımaktadır. Genel olarak plastikliği az olan topraklar kuru(milli), plastikliği fazla olan topraklar ise yağlı toprak olarak tanımlanmaktadır.

Milli toprakların bağlama özelliği az olduğu için şekillendirilmeleri zordur ve kullanılan oran fazla olursa, üretilen tuğla numuneler zayıf, dayanıksız ve erime, dağılma gibi olumsuzluklar gösterirler. Yağlı toprak oranı fazla olduğunda ise kurutma ve pişirme işlemleri sırasında çatlama meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kullanılan toprağın homojen bir karışıma sahip olması önem kazanmaktadır.

TS 4790/ Nisan 1996 sayılı, Tuğla-Kiremit toprakları üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ve sonuçlarını değerlendiren Türk standartına göre tuğla üretiminde kullanılan toprağın plastiklik özelliği Tablo 3.3’de verilmiştir. Bu standartta, kullanılan kilin plastiklik özelliği, plastiklik suyu deneyleri ile değerlendirilmiştir.

Tablo 3.3. Plastiklik suyu oranlarına ilişkin değerlendirme.

Plastiklik Suyu (%)	Değerlendirme
21' den küçük	Plastikliği çok az, Tuğla üretiminde kullanılamaz
21 – 25	Zayıf plastikliğe sahip, Tuğla üretiminde kullanılamaz
26 – 30	Yumuşak çamur, Kalıplamaya uygun
31 – 35	Plastik, kalıba veya presle şekillendirmeye uygun
36 – 45	Yarı sert plastik, vakum presle şekillendirmeye uygun
46 – 55	Sert plastik, vakum presle şekillendirmeye uygun
56 – 65	Çok plastik, çok sert vakum presle şekillendirmeye uygun
65' den büyük	Tuğla yapımına uygun değil

DeneySEL çalışmada kullanılan kile ait plastiklik değerleri elde edilen deney sonuçlarına göre üretilen uçucu kül katkılı ve katkısız tuğlaların plastiklik suyu %33-42 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar da Kılıçoğlu kilinin üretim için uygun plastikliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Genelde birkaç farklı yapıda kil mineralini bir arada bulduran hammaddenin içinde kuvars, sodyum/potasyum feldispat, dolomit, kireç taşı, götit, hematit ve pirit/markasit gibi mineraller yer almakta ve böylelikle yapı heterojenlik kazanmaktadır. Hammadde tane boyutu ayarlanıp su ile plastifize edilip hamur hazırlandıktan sonra, şekillendirilir ve belirli bir ortamda kurutulup, fırınlarda pişirilir. Tuğla malzemenin özellikleri bu safhalara bağlıdır.

Tuğla Bünyesinde Gözenek Oluşumu

Tüm yapı malzemelerinde gözenekler havanın ve nemin difüzyonunu ayarlar. Tuğla bünyesinin sinterleşmesinde gözenek oluşumu iki aşamada gerçekleşir.

1. Birincil gözeneklerin oluşumu;

- Organik maddelerin 200-400°C'de oksidasyonunda (ekzotermik reaksiyon),
- Kil minerallerinin 600°C'de kristal suyunu kaybetmesi sırasında (endotermik reaksiyon),
- Karbonatlı minerallerin 800-900°C'de bozunmasında (endotermik reaksiyon),

2. İkincil gözeneklerin oluşumu;

- Erime fazının 600-1000°C'de başlamasında,

İkincil gözeneklerin oluşumunu etkileyen faktörler:

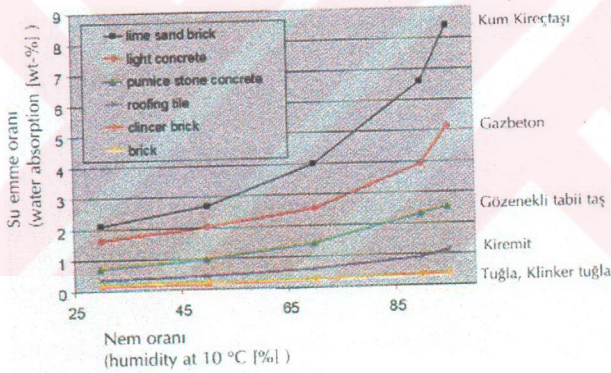
- Cam fazının viskozitesi,
- Fırın atmosferinin kimyasal bileşimi ,
- Isıtma ve soğutma hızı,
- Yeni oluşan kristallerin morfolojisi.

Tuğla'da Oluşan Gözenekler ile Yapı Fiziği Arasındaki İlişki

Oluşan açık ve kapalı gözeneklerin geometrik yapıları ve dağılımları ile kapiler sistemlerin uzunluğu tuğlada ve diğer yapı malzemelerinde aşağıdaki fiziksel büyüklükleri etkiler:

- Buhar geçirgenlik direnci,
- Isı geçirgenlik direnci,
- Isı iletkenlik katsayısı,
- Isı yayılım hızı,
- Isı depolama katsayısı,
- Basınç dayanımı,
- Isısal genleşme katsayısı,
- Su emme özelliği,
- Dona karşı dayanıklılık,

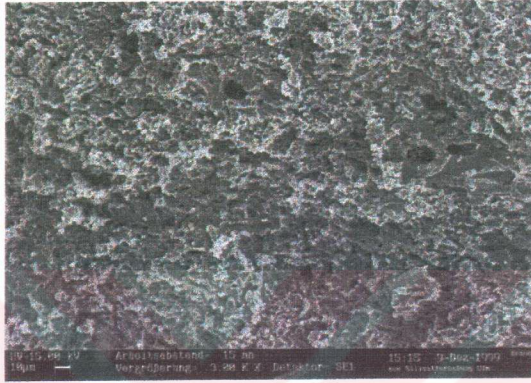
Belirli bir ısısal süreç geçiren, 850-1000°C'de pişirilen kil hamurunun bünyesinin, absorpsiyon kabiliyeti diğer yapı malzemelerinden farklıdır. Pişmiş kil hamurunda bir gözeneklilik söz konusu olsa bile sinterleşme sonucu bünyesinde sıklaşma ve pekişme olmaktadır. Tuğlanın pişirilmesi sırasında ortaya çıkan ve hiç değişmeyen fazlar X-ray analizi ile saptandığında, Kuvars, Feldspat, (kimyasal bileşime göre) Diopsit, Volastonit, Gehlenit ve Amorf silika olarak sıralanabilir. Bu minerallerden hiçbirinin havanın nemini bünyesine çekme kabiliyeti yoktur. Açık havada şartlarına bırakılan bir tuğla kapillarite yoluyla açık gözeneklerine %2 ile %8 arasında suyu emebilir. Tuğlanın farklılığı ise nefes alabilen bir malzeme olarak, bu emdiği suyu geriye verebilmesidir. Kurutulmuş farklı yapı malzemelerinin ortamın nem oranına göre su emme değerleri Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çeşitli Yapı Malzemelerinin Buldukları Nem Ortamına Bağlı Olarak Ağırlıkça Su Emme Oranları [6].

Resim 3.8'de bir tuğla kesit yüzeyinin taramalı elektron mikroskobunda 3000 kere büyütülmüş mikro yapısı görülmektedir. Gözeneklerin geometrisinde farklılıkların görülmesinin değişik nedenleri vardır. Bunlar; pişirim sürecinde yeni silikat

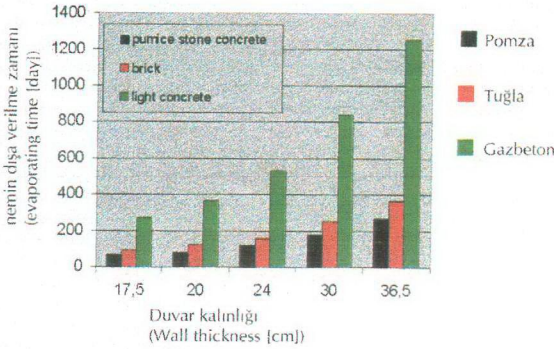
minerallerinin oluşumu, hammaddelerden açığa çıkan gazların kısmi basınçları, sinterleşme sırasında ara fazların ve cam fazının kinetiksel davranışlarıdır.



Resim 3.8. Tuğla Kesit Yüzeyinin Taramalı Elektron Mikroskopunda 3000 Kez Büyütülmüş Görünüm [6].

Çok sayıda yuvarlak mikroporların avantajı nemin kapilarite ile taşınım imkanını gözlemlenebilir oranda yavaşlatmasıdır. Tuğla bünyesindeki lamelimsi gözeneklerin yapı malzemesinin dona karşı dayanıklılığını arttırdığını, C.Mayer ve Stegmüller kanıtlamıştır [6].

Isı iletkenlik katsayısı tek başına, yapı malzemesinin yorumlanmasında bir kriter değildir. Gözenekli yapıya sahip yapı ve yalıtım malzemelerinin, artan gözenek miktarı ile ısı iletkenlik katsayısı, havanınkine yaklaşarak düşmekte ve ısının su buharı difüzyonuyla nemli gözeneklere yayılması sonucunda da ısı iletkenlik katsayısı artmaktadır. Şekil 3.2.'de farklı yapı malzemelerinin duvar kalınlığına göre nemi dışarı vermesi görülmektedir.



Şekil 3.2. Farklı Yapı Malzemelerinin Duvar Kalınlıklarına Göre Nemi Dışarı Vermesi [6].

3.1.3.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan Tuğla Üretim Yöntemi

a. Tuğla Hamurunun Hazırlanması

Kılıçoğlu tuğla-kiremit fabrikasından alınan kil hammaddesi, içinde zararlı etki yapabilecek maddeleri ayırılmış, tane büyüklüğü seramik hamuru hazırlanacak hale getirilmiş olarak temin edilmiştir.

Tuğla hamuru doğal yöntemlerle yaş halde hazırlanmış ve bir 1 hafta süre ile dinlendirilerek şekillendirilmeye uygun hale getirilmiştir.

b. Tuğla Hamurunun Şekillendirilmesi

Yapılan deneysel çalışmada yarı yaş şekillendirme yöntemi, ağızlıklı pres geliştirilerek kullanılmıştır.

Seramik hamurunun şekillendirilmesinde çeşitli yöntemler uygulanır. Şekillendirme yönteminin seçiminde rol oynayan önemli etkenler hamurun bileşim ve yapısı, kullanma alanı ve amacı, üretimin sayısal verimliliği, yeni hamur teknolojilerinden yararlanma olanakları, ürünün biçimsel yapısıdır.

Şekillendirme yöntemleri başlıca 4 grup altında toplanır.

1. Kuru, 2. Yarı yaş, 3. Deri sertliği, 4. Yaş şekillendirme yöntemleri.

- Yarı Yaş Yöntem ile Ağzılıklı Presde Şekillendirme :

Bir adı da plastik şekillendirme olan bu yöntemin çeşitli türleri vardır. Bu türlerin birbirinden farklı olması, şekillendirilecek parçaların sayısına, boyutlarına, kullanma alanlarına ve şekillendirdikten sonra, olması istenen şekillerine bağlıdır.

Yarı yaş şekillendirme yönteminden, tuğla numunelerin laboratuvar şartlarında en hızlı ve hatasız üretimi için, ağzılıklı preste şekillendirme sistemi seçilerek, çalışma prensibine göre kıyma makinesinden pres aleti geliştirilmiştir.

Çalışma prensibi, sonsuz dişli bir burgu aracılığı ile sıkıştırılan plastik hamurun, makinenin daralan ağız kısmına takılan ve istenen kesiti veren ağzılıklardan şekillenerek çıkması esasına dayanır.

Bu tür preslerde, hamur bir bant aracılığı ile üst girişten doldurulur.

Presin ağızına çeşitli profilde (enkesitte) takılan ağzılıklarla, değişik formda tuğlalar elde edilebilir.

Kuru preslerde olduğu gibi, plastik hamur preslerinde, özellikle burgulu preslerde bazı pres hataları ortaya çıkar. Bu hataların en önemlisi, ağızdan çıkan hamurun içinde, itici burgunun neden olduğu S şeklindeki dokudur. Bu olay çoğu zaman gözle fark edilmez. Fakat bu hamurla şekillendirilmiş parçalar daha kururken, oluşan tekstürü belli edecek bir biçimde çatlaklar. Önlem olarak ağıza yakın yerde özel kanatlı burgular, titreşen delikli plakalar kullanılır [4].

En çok görülen diğer hatalar ise, pres ağızından çıkan tuğlaların köşelerinin testere dişleri gibi çapaklı çıkmasıdır. Ağzılığın çok keskin köşelere sahip olması ve hamur rutubeti ile özlülüğünün az olması buna neden olur. Önlem olarak, keskin köşeler yuvarlatılır, hamur rutubeti sürekli kontrol edilir. Bir diğer hata ise, ağızdan çıkan kütlenin bir yöne kıvrılarak çıkmasıdır. Nedeni, itme burgusunun düzgün bir itiş yapmaması veya ağzılık kesitinin dizaynının bazı yerlerinde sürtünmeyi artırıcı şekilde yapılmış olmasıdır.

c. Tuğla Hamurunun Kurutulması

Şekillendirilen tuğla numunelere iki etapta kurutma uygulanmıştır. İlki alçı levha üzerinde doğal kuruma, ikincil kuruma etüvde 105°C'de gerçekleştirilmiştir.

Seramik pişirme işleminden önce yapılacak olan en önemli işlem kurutmadır.

Kurutma fiziksel bir süreçtir ve rutubetli bir numuneden şekillendirme suyunun uzaklaştırılıp kurutulması işlemidir.

Su, seramik hamurunun içindeki porlar (gözenekler) aracılığı ile, yüzeye ulaşır. Burada porlar, kapiler (kılcal yol) görevi yapar.

Bir seramik hamurunun içinde yoğrulma suyu üç durumda bulunur.

1. Yüzey Suyu: Kil taneciklerinin yüzeylerini film şeklinde saran sudur.
2. Por Suyu: Bu tanımlamadan, taneciklerin arasında bulunan su anlaşılır. Hamurdaki suyun büyük bir kısmını oluşturur.
3. Emme Suyu: Kil taneciklerinin yüzeyinden içine emilme yolu ile giren sudur. Böylelikle bu su, seramik hamurunun plastikliğinde söz sahibi olur. Kurutma sırasında hamurdan en güç ayrılan sudur.

Seramikte kurutma işlemi, bütün bu sayılan suların hamurdan uzaklaştırılması için yapılır.

Şekillendirme sırasında hamura verilen su, kuruma sırasında tersine bir yol izleyerek hamurdan uzaklaşır. İlk kuruma yüzeyde başlar, porlardan gelen su yüzeyden buharlaşarak uzaklaşır. Bu sırada kurutma sıcaklığının artması sakınca çıkartabilir. Bu sakınca yüzeyin çok önce kuruyup, içerden gelen suyun geçmesine engel olacak kadar küçülmesidir. Bu durumda oluşan gerilimler, kuruma çatlaklarına ve deformasyonlarına yol açarlar [4].

Hamurdaki gözeneklerden su uzaklaştıkça küçülme sürer. Küçülmenin nedeni, kil taneciklerinin birbirlerine yaklaşmalarındandır.

Gözeneklerden suyun uzaklaşmasını, tanecik yüzey ve emme suyunun uzaklaşması izler.

Seramik Hamurunda Kurutma ile Ortaya Çıkan Yeni Özellikler Şunlardır:

- **Kuru Direnç ve Sertlik**

Seramik bünyeler kurutuldukları zaman, dirençleri artar. Kuru mekanik direnç mekanizması ile ilgili birçok teori önerilmesine karşın, kuru direnç olayı henüz tam olarak açıklanamamıştır. Fakat kuruyan bir hamurda taneciklerin yüzeysel alanı, kuru direnç ile ilişkilidir. Kil tarafından absorbe edilen (emilen) suyun son kalıntıları sonuçta bünyede kalır ve yalnızca yüksek sıcaklıkta güçlükle kaybedilir. Kalan su tüm taneciklerin yüzeyini kaplayan ince bir film tabakası oluşturur ve tanecikler birbirlerine değdiğinde bu film tabakaları kaynaşarak bütün hamuru kapsayan bir sürekli kabuk meydana gelir. Tanecikleri değme noktaları ne kadar fazlaysa, hamurun direnci o kadar fazladır.

Seramik hamurlarının kuruyunca dirençlerinin artmasına karşın, esneklikleri azalır. Tamamen kurumuş bir bünyede, bağlayıcı kuvvetler katı fazdadır ve kırılma olmadan hiçbir deformasyon olmaz. Bu nedenle mamuller yaş aşamada daha iyi işlenir ve şekillenir.

- **Higroskop (su çekme)**

Kuru malzeme rutubetli ortamda yapısına su çeker ki, bu olaya higroskop adı verilir. Tamamen kurutulmuş killerde de bu özellik vardır. Fakat absorbe edilen su oranı genellikle çok küçüktür ve hamuru yeniden plastik yapacak kadar yeterli değildir. Montmorillonitik yapıya sahip killer % 15'e kadar su çekebilirler ve bu sırada oldukça genişirler.

Doğal Kurutma Yöntemi:

Bu kurutma şekli genellikle tuğla, kiremit ve çömlekçi ürünlerinin kurutulmasında uygulanır. Numunenin kuruması tamamen ortamın koşullarına bağlıdır, bu nedenle doğal kurutma olarak tanımlanır.

Doğal kurutmanın avantajları:

- a) Herhangi bir kurutma ısısına gerek göstermez.
- b) Parçalar çok yavaş kurutulduğunda hemen hiç kuruma hatası göstermezler.

Doğal kurutmanın dezavantajları:

- a) Ortalama 14-20 gün süren kurutma süresine bağlı olarak, büyük kurutma alanları ve yollarına gerek vardır.

b) Açık hava kurutmaları sadece yaz sezonunda uygulanır. İlkbahar ve sonbaharda ortaya çıkan sürekli yağışlar, gece donları, numunelere zarar verir.

c) Rüzgar ve güneş numunelerin büyük bir kısmının hemen bozulmasına yol açar.

Kurutma Hataları:

Hamur hazırlamadan başlayarak, şekillendirmede bilinerek veya bilinmeden yapılan hatalara yanlış kurutma teknikleri eklenince, kurutma hatalarının ortaya çıkması kaçınılmaz olur.

Şekillendirilen bir parçada eğer farklı et kalınlıkları varsa, kuruma sırasında, ince kısımlar daha çabuk kuruyacaklarından, geç kuruyan kısımlarla arasında bazı gerilimler ortaya çıkar. Bu ise, ince ve kalın kısımların birleştikleri yerlerde "kuruma çatlağı" denen çatlak türünü oluşturur.

Bir kurutma hatası da "deformasyon ve eğilmedir". Hareketsiz zemin ve raflarda kurutulan büyük parçalarda da görülür. Nedeni, parçanın yetersiz kuruması veya yalnızca yüzeyinin kurumasıdır. Bu hata, yetersiz kurutma düzenlerinde ortaya çıkar. Hareketsiz kurutmalarda, hep bir taraftan kurutulan parçalar, deformasyonun yanısıra fazla miktarda kurutma çatlakları da gösterirler [4].

Kurutma sırasında yüzeye doğru hareket eden su, beraberinde ince tanecikleri de taşıyabilir. Bu durumda yüzeyde ince tanelerden oluşan bir tabakalaşma hatası ortaya çıkar.

Eğer hamurun yapısında çözünebilir tuzlar varsa, kuruma sırasında bunlar kolayca yüzeye taşınabilir ve yüzeyde "renk lekeleri" oluştururlar.

d. Tuğla Hamurunun Pişirilmesi

Kurutma işlemi tamamlanan numuneler, M.S.Ü.'si Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik Bölümündeki Elektrikli Kamara Fırınında oksidasyonlu pişirme yöntemi ile pişirilmiştir.

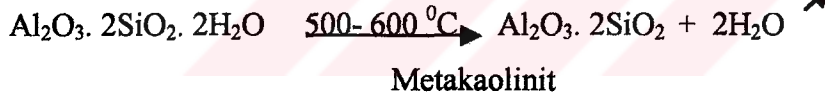
Pişirme, şekillendirilmiş ve kurutulmuş yarı mamulün, bir program içinde ısıtılması ve oluşan seramiğin gene bir program içinde soğutulması işlemidir. Pişirme işlemi seramik fırınlarında yapılır. Çok çeşitli fırın türleri olmasına karşın, pişirmedeki ortak yönler her fırın için geçerlidir.

Pişirmedeki ortak yönleri şu evreler oluşturur:

- Fırının doldurulması,
- Ön ısınma,
- Sürekli ısınma,
- Piştirme ısınması,
- Soğuma,
- Boşaltma.

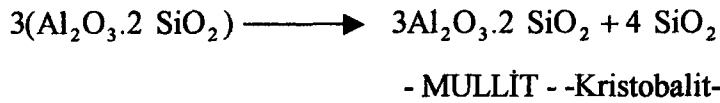
Pişme sırasında seramik, bazı geçici ve kalıcı değişiklikler gösterir. Geçici değişikliklerin başında hacimsel büyüme gelir.

Kalıcı değişiklikler pişmiş seramik hamurunun özelliklerini oluşturan ana etkenlerdir. Seramik hamurunu oluşturan çıkış mineralinin türüne, mineralin konsantrasyonuna ve bunlara etki eden sıcaklığa göre, farklı kristal değişimleri ortaya çıkar. Kaolinit denen kil cevheri 500-600°C'de metakaolinite dönüşür. Bu sırada kaolinitin iki molden oluşan kristal suyu uçar ve % 13.95'lik bir kızdırma kaybı (ateş zayıyatı) ortaya çıkar.

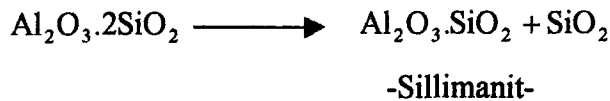


Plastikliğin kaybolması ile ilgili olarak, bu reaksiyon endoterm (sıcaklık alıcı) bir reaksiyondur.

Oluşan metakaolinit, reaksiyonlara karşı ilgili bir bileşik olduğundan, 830°C'nin üzerinde kuvvetli bir ekzoterm (sıcaklık açığa çıkarıcı) reaksiyon sonucu mullit ve kristobalite dönüşür.



Metakaolinit ile mullit arasında geçişi oluşturan bir reaksiyon daha vardır ve bu geçişte sillimanit oluşur.



Reaksiyonlar sonucu oluşan serbest SiO₂, diğer reaksiyonlarda rol oynar.

Sillimanit ve özellikle mullitin aracılığı ile, seramik hamurunda pekişme ortaya çıkar. Mullit kristalleri sert olup, iğne şeklindedir.

Pişirmede Oluşan Değişiklikler:

- **Cam Fazının Oluşumu**

Silikattan oluşan erimelerin soğuması sırasında viskozite (akışkanlık) o kadar çabuk azalır ki, iskelet oluşumunu sağlayan tanecik hareketleri gerçekleşemez. İskelet oluşturma düzenine girmişken aniden donan tanecikler, camsı oluşumlara dönüşürler. "Cam fazı" adı verilen bu oluşumlar, seramik hamurunun içindeki erimemiş mineralleri birbirine bağlayarak pekişmeyi sağlar. Cam fazı oluşumunun artması ile orantılı olarak, porlar azalır ve pekişme hızlanır.

- **Yer Değiştirme Reaksiyonu**

Minerallerin bir kısmı doğada veya hazırlamada, parçalanma gösterirler. Böylelikle, doğal olarak düzenlenmiş kristal yapı bozulmuş, bazı değerler doymamış olarak kalırlar.

Pişme sırasında bozulan bu yapılar tekrar oluşurlar ve tek parçada birleşirler, değerler de doyarlar. 5 mikronun altında öğütmekle yapılan hazırlamada, kristallerin bozulması sağlanır. Bu bozulma, pişme sırasında yer değiştirme reaksiyonu sonucu, sinterleşmeyi oluşturur. Diğer belirgin bir olay da, pişme küçülmesinin % 20-40 gibi yüksek olmasıdır.

Kaba seramikte parçanın ancak kısmen sinterleşebilmesini sağlayan bir yer değiştirme reaksiyonu etkili olur.

Elektrikli Kamara Fırında Oksidasyonlu Pişirme İşlemi:

Elektrikli Kamara Fırın günümüzde hemen her türlü işletmelerde atölyelerde, okullarda, laboratuvarlarda kullanılan bir fırın türüdür.

Fırındaki pişirme sıcaklığını üzerlerinden elektrik akımı geçirilen özel rezistans telleri sağlar. Atmosfer olarak temiz bir yanma atmosferi vardır. Yakıtın çıkardığı herhangi bir duman söz konusu olmadığında, baca yerine yalnızca havalandırma delikleri vardır.

Pişirme tekniğinin redüksiyonu gerektirmediği fırınlarda, pişirim oksitleyici bir atmosferde gerçekleşir. Pişirme sonrası fırında yanabilir yakıt artığı gazların bulunmadığı pişirimler oksitleyici pişirim adını alırlar, yanma havası olarak çevreden emilen ve içinde oksijen bulunan hava, seramik hamuru ve sırrının içindeki çeşitli renk veren oksitleri oksitleyerek, onların renk değişikliklerine uğramasını sağlarlar. Cr_2O_3 ile kırmızı renk yalnızca oksitleyici veya nötr atmosferli fırınlarda elde edilebilir.

Pişirmede Meydana Gelen Hatalar:

Pişirme sırasında ortaya çıkan hataların bir kısmını üretimin diğer basamaklarında aramak yerinde olur. Örneğin hamur hazırlama, şekillendirme ve kurutmada yapılan ve henüz ortaya çıkmayan hatalar, pişirme sırasında ortaya çıkarlar. Bunun dışında, büyük ölçüde hatalı pişirme nedeni ile de çeşitli pişirme hataları oluşur.

Tuğla numunelerin istendiğinden daha fazla pişmesi ve erimesi, fırın sıcaklığının gerekenden yüksek olması sonucunda ortaya çıkar. Yakıtın verdiği sıcaklığın, fırın içinde iyi bir dağılım göstermeyerek, bazı yerlerde fazla yakıtın kullanılması, o bölgedeki numunelerin erimesine neden olur.

Tuğla numunelerin fırın içinde yerleştirme şekilleri de pişmenin az veya çok olmasına etkili olur.

Tuğla numunelerin üst yüzeylerinde yoğunlaşmış su buharından oluşan su tabakası, numunelerin yüzeyinde bir yumuşamaya yol açar. Bu sırada numunelerin ısıtılması sonucu, suyun aniden uçmasından çatlaklar ortaya çıkar. Bu tür çatlaklar numunelerin yalnızca yüzeylerinde ortaya çıkar. Derinlere inen çatlakların nedenini ise, numunelerin iyice kurumadan fırına girmesinde aramak gerekir.

Diğer bir pişirme hatası da, fırın sıcaklığının çok çabuk yükselmesi sonucu ortaya çıkan pişme çatlaklarıdır. Bu olay daha çok, kimyasal suyun uçtuğu 400-600°C arasında olur.

Pişen numunelerin çok çabuk soğuması da çatlaklara yol açar. Bunlara soğuma çatlağı adı verilir. Sinterleşmemiş numunelerde soğuma hızı, 10-25°C/saatin ve sinterleşmiş numunelerde 7-15°C/saatin üzerinde ise, soğuma çatlakları oluşur. Özellikle bol kuvarzlı hamurlarda 870 ve 575°C'lerde ve özellikle 230°C'de çabuk soğutma sonucu, soğuma çatlakları oluşur. Soğuma çatlağı diğer çatlaklardan, sert ve keskin kenarlı oluşu ile ayrılır [16].

Diğer bir pişirme hatası ise, numunelerde pişme sonucu görülen şişmelerdir. Bunun nedeni, sıcaklığın ani yükselmesi sonucu numunenin yüzeyinin sinterleşmesi ve arada kalan gaz tabakasının genişleyerek, şişip dışarı baskı yapmasıdır. Killerin içindeki, doğadan gelen maddelerin yanması sonucu oluşan gaz basıncı, su buharının da yardımcı aracılığı ile, sinterleşen numunelerde şişmeye neden olur.

Şişmenin kaynaklandığı diğer bir neden ise, demir bileşikli (Fe_2O_3 , FeS_2) hammaddelerin CO'li yanma gazlarının etkisi ile reaksiyon göstermesidir. Bu hatayı önlemek için, demirli maddeleri bol hava ile yakmak gereklidir.

3.2. PUZOLANİK UÇUCU KÜLLER

3.2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Sınıflandırılması

Uçucu küller, düşük kalorili ve endüstride yakıt olarak kullanılmayan kömürlerin, toz haline getirilerek, yakılması sonucu, bacadan çıkan gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Çok hafif olan bu uçucu küller, bacanın üst kısmında elektrofiltre veya siklon adı verilen toz tutucularda elektrostatik tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınırlar. Baca gazları ile sürüklenene ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 1-100 μm arasında olup, aglomere ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir.

Bir termik santralde yakıt olarak genellikle taş kömürü veya linyit kömürü kullanılır. Bu yüzden uçucu küller kökenlerine göre iki ana gruba ayrılırlar.

1. Taş Kömürü Uçucu Külleri
2. Linyit Uçucu Külleri

Kimyasal özellikleri bakımından linyit uçucu külü, taş kömürü uçucu külüne göre özellikle toprak alkali metallerin fazla oluşu bakımından farklıdır. Bu özellik, linyit uçucu külünün kullanılmasında büyük önem taşır. Taş kömürü uçucu külü tamamen kuru olarak elde edilmekte olup, taneciklerin büyük bir kısmı camsı minerallerden meydana gelmektedir.

Kimyasal yapıları bakımından ise uçucu külleri 4 ana sınıfa ayırmak mümkündür.

1. Siliko-Alüminöz Uçucu Küller

Kimyasal yapılarının büyük bir kısmını (% 80-90) SiO_2 ve bir miktar Al_2O_3 meydana getirmektedir. Kireç ile birlikte sulu ortamda mükemmel bir bağlayıcı oluşturmaktadır. Bu uçucu küller, içerdikleri alkali ve toprak alkali element oksitleri nedeniyle çok ince taneli ve camsı yapıya sahiptir. Genellikle taş kömürü uçucu külleridir.

2. Siliko-Kalsik Uçucu Küller

Adından da anlaşılacağı gibi yapılarındaki ana oksitler SiO_2 (silis) ve CaO (kireç)tir. Ancak CaO miktarı oldukça yüksektir. Bazı durumlarda ilave kirece gerek kalmaksızın, kendiliklerinden bir bağlayıcı oluştururlar. Diğer bir deyişle zayıf bağlayıcı özellikleri vardır.

3. Sülfü-Klasik Uçucu Küller

Yapısının büyük bir bölümü SO_3 (kükürt dioksit) ve CaO (kireç)ten meydana gelmektedir. Bunlarda siliko-kalsik uçucu külleri gibi sulu ortamda kendiliklerinden sertleşebilirler. Bazı tür linyitlerin uçucu külleri bu sınıfa girmektedir. Ancak hemen belirtmeliyiz ki, her taş kömürü uçucu külü siliko-alüminöz veya her linyit uçucu külü sülfü-klasik bir kül değildir. Örneğin, bir taş kömürü uçucu külünde, silis ve alümina oranı düşük ve kireç oranı yüksek olabilir.

4. Sınıflandırılmayan Uçucu Küller

Santraldeki yanma sisteminin homojen olmamasından kaynaklanan ve belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küllerdir. Kimyasal yapıları sürekli olarak değişebilir.

3.2.2. Mineralojik ve Kimyasal Yapısı

Uçucu küllerin kimyasal yapıları SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 gibi oksitlerden meydana gelmektedir. Genelde bir taş kömürü uçucu külü, linyit uçucu küllünden daha fazla toprak alkali metalleri içermektedir. Uçucu küllerin içerdikleri kimyasal bileşiklerin maksimum ve minimum miktarları Tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Uçucu Küllerin İçerdikleri Bileşiklerin Maksimum ve Minimum Miktarları [10].

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça max.)	% (Ağırlıkça min.)
SiO_2	51	45
Al_2O_3	32	24
Fe_2O_3	11	7
CaO	5.4	1.1
MgO	4.4	1.5
K_2O	4.5	2.8
Na_2O	1.7	0.9
TiO_2	1.1	0.8
SO_3	1.3	0.3
Cl	0.15	0.05

Tablo 3.5. Türk Standartları Enstitüsü'ne Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Kompozisyonları [49].

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70 (min.)
MgO	5 (max.)
SO ₃	5 (max.)
Nem	3 (max.)
Kızdırma kaybı	10 (max.)

Tablo 3.5.' de TS 639/1975 ' de belirtilen uçucu kül kimyasal bileşimi verilmiştir. Uçucu küller, içerdikleri SiO₂+A₂O₃+Fe₂O₃ miktarına bağlı olarak C618 sayılı ASTM standardına göre "F" ve "C" olarak iki genel sınıfa ayrılmaktadır. "F" sınıfı küller bitümlü kömürlerden, "C" sınıfı küller ise linyitli kömürlerden elde edilmektedir. Ayrıca içlerinde % 10'dan fazla miktarda CaO bulunduran küller "yüksek kireçli uçucu kül" olarak tanımlanmaktadır [48].

3.2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Görünüş

Uçucu küllerin renkleri açık ve koyu gri ile siyah arasında değişmektedir. Küldeki karbon, demir ve nem miktarı küllerin renklerini etkilemektedir. Mikroskop altında incelendiklerinde süngerimsi, gözenekli veya gözeneksiz küresel ve aglomere tanelerden meydana geldikleri görülmektedir. Linyit kömürü uçucu külleri, taş kömürü uçucu küllerinden daha koyudur. İyi yanmış uçucu küller, iyi yanmamış küllerden daha açık renktedir. İyi yanmamış küllerin koyu rengi, yapılarında mevcut yanmamış karbondan ileri gelmektedir.

Tane Boyutu

Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütülme dercesine bağlı olarak değişmektedir. Taş kömürü uçucu küllerin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki eden ikinci faktör ise,

tane boyutu küçük olan uçucu küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına engel olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan küller ne kadar iyi yakalanırsa, o oranda ince taneli küller elde edilmektedir. Elektrofiltrelerde daha ince uçucu küller tutulduğu için, elektrofiltrelerde tutulan uçucu küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulana göre daha küçüktür. Genel olarak uçucu küllerin tane boyutları 1-100 μm , özgül yüzeyleri ise 0.1-0.5 m^2/gr arasındadır.

Özgül Ağırlık

Uçucu küllerin ortalama özgül ağırlıkları 2150 kg/m^3 'dir. Ancak küldeki kuvars, alumina, demir ve karbon miktarları özgül ağırlığı değiştirmektedir. Örneği, uçucu külün demir miktarı arttıkça özgül ağırlığı artmaktadır. Ayrıca, uçucu küllerin içerisinde değişik özgül ağırlıklara sahip farklı tanelerde bulunabilmektedir.

Karbon Miktarı

İyi yanma olan termik santrallerde karbon miktarı çok düşük olmaktadır. Eski tip santrallerde bu oran % 10'a yükselmekte, yenilerde % 3'ün altında kalmaktadır. Antrasit yakan santrallerde yanma problemi nedeniyle karbon miktarı yüksektir. Uçucu külün karbon miktarı kızdırma kaybı değerinden az olmalıdır. Kızdırma kaybı değeri 0.9 ile çarpıldığında yaklaşık olarak karbon miktarı bulunabilmektedir.

Uçucu küllerdeki karbon, yanıcı olmayan tanelerin yüzeyi üzerinde ince karbon tabakası veya ayrı taneler olarak bulunmaktadır. Uçucu küllerdeki karbon tanelerinin tane boyutu çoğu zaman diğer tanelerden daha büyüktür.

Uçucu küllerin içerisine bir mıknatıs sokulduğunda, bir miktar uçucu kül mıknatısa yapışır. Mıknatıs bir hava akımına tutularak manyetik olmadığı halde yapışan taneler uzaklaştırılır. Bu deney birkaç defa yapıldıktan sonra uçucu küllerin % 25'inin mıknatısta kaldığı görülür. % 7.7 Fe_2O_3 içeren bir uçucu külde, mıknatısa yapışan kısım yaklaşık % 6.8 olmaktadır. Kimyasal analizde; mıknatısta tutulan kısmın % 63'ünün Fe_2O_3 olduğu, mıknatısa yapışmayan kısımdaki Fe_2O_3 miktarının ise % 4 olduğu tespit edilmiştir [10].

Uçucu küller, kireç ve su ile karıştırıldığında belirli bir süre sonunda dayanım kazanır. Uçucu küllerde puzolanik özelliğın esası olan bu dayanım kazanma özelliğı

oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte, uçucu küllerin puzolanik özellikleri artmaktadır. Ayrıca, CaO miktarı yüksek uçucu küller daha iyi puzolanik özellik gösterir.

3.2.4. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

3.2.4.1. Tuğla Üretiminde Kullanımı

Tuğla üretiminde kullanılan killer SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O ve TiO_2 'den meydana gelmektedir. Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilir. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile, tuğlaların kuruma ve pişme küçülmeleri azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Uçucu küllü tuğlaların üretiminde dikkat edilecek ilk nokta konunun genelleştirilemeyeceğidir. Hangi külün, hangi kil ile kullanılacağı deneylerle saptanmalıdır. Aynı kül, bir çeşit kil ile avantajlar sağlarken, değişik özellikteki başka bir kil ile iyi sonuçlar vermeyebilir.

Uçucu küllü tuğla üretiminde, külün miktarına göre iki durum ortaya çıkmaktadır. Birincide, kil ana malzemedir. Kül, kilin özelliklerini geliştirmek ve bünyesindeki karbonun yanma değerlerinden faydalanmak için kullanılır. İkincide ise uçucu kül esas malzemedir. Kil, uçucu küllerin plastiklik özelliği olmadığı için bağlayıcı olarak kullanılır.

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

1. Öğütme değirmeninin kolay beslenmesi (Bu sadece çok yaş veya yapışkan killerle çalışıldığı zaman mümkündür.),
2. Kalıplama için daha az kuvvet gerekmesi,
3. Daha kolay kuruma,
4. Yakıt tasarrufu ve daha kolay pişirme (kül bünyesindeki karbon pişme enerjisini azaltır).

Tuğla üretiminde kullanılan uçucu küllerin tane boyutu, tuğlaların özelliklerini etkilemektedir. Küçük tane boyutlu küllerin kullanıldığı tuğlalar, tane boyutu büyük olan uçucu küllü tuğlalara göre daha fazla basınç mukavemetine ve bulk yoğunluğa

sahiptirler. Ayrıca, daha düşük oranlarda pişme küçülmesi ve su emme özelliği de gösterirler. Küçük tane boyutlu uçucu küllerin tuğlalarda daha iyi özellikler göstermesi, maksimum noktada teması sağlayarak yoğunlaşmayı arttırmışından ileri gelmektedir.

3.2.4.2. Çimento ve Beton Üretiminde Kullanımı

Çimento yapımında kullanılan hammaddeler CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 olmak üzere başlıca dört bileşiği içerirler. Uçucu küllerde de değişik oranlarda aynı bileşikler bulunduğundan çimento üretiminde kullanılmaktadırlar. Puzolanik özellik gösteren uçucu küller, çimento ile birlikte kullanıldıklarında, çimentonun hidrasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanırlar. Uçucu küller, beton yapımında kullanıldıkları zaman, betonun yüzey temizliği ve işlenebilirlik özelliği iyileşmektedir. Aynı zamanda betonun su geçirgenliği ve büzülme oranı azalırken dayanımı artmaktadır.

3.2.4.3. Seramik ve Cam Üretiminde Kullanımı

Uçucu küller, kil ve feldispat ilavesi yapılarak, geleneksel (tabak, fincan v.s) ve sanatsal (vazo, küllük, süs eşyaları) seramiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Uçucu küller seramik sanayiinde kullanıldığında bir takım avantajları beraberinde getirmektedir. Bunlar, tane boyutunun küçüklüğü, öğütme masraflarının olmayışı, maliyetinin çok düşük olması ve içerdiği karbonun pişirme işlemleri sırasında sağladığı enerji şeklinde sıralanabilir. Uçucu küller ayrıca, son zamanlarda üzerinde çok çalışılan ve geniş kullanım alanı bulan cam seramiklerin üretiminde de kullanılmaktadır [15].

3.2.4.4. Hafif Agregalar Üretiminde Kullanımı

Hafif agregalar, hem doğal olarak hem de bazı malzemelere uygulanan çeşitli prosesler sonucunda elde edilebilir. Uçucu küller $1100-1200^\circ\text{C}$ 'de bir miktar ergime göstererek ve uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak yuvarlak veya silindirik taneli agregalar oluşturmaktadır. Doğal agregaya oranla daha hafif olan bu agregaların kullanılması ile hafif beton elde edilmektedir. Bu şekilde yapılan betonlar, normal ağırlıklı betonlar kadar yüksek dayanıma sahip olmaktadır. Bunun

yanısıra, ısı ve ses iletkenliği düşük malzeme elde edilebilmekte ve hafifliği nedeniyle işçilik kolaylaşmaktadır.

3.2.4.5. Yol Yapımında ve Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı

Uçucu kül, yol yapımı ve geoteknik uygulamalarda genellikle iki şekilde kullanılmaktadır; dolgu malzemesi olarak ve toprak stabilizasyonunu sağlamak amacıyla temel malzeme olarak. Uçucu küller sıkıştırıldıkları zaman diğer dolgu malzemelerine nazaran daha düşük bir yoğunluğa sahip olurlar. Bu durum, özellikle sıkıştırılabilme özelliği yüksek uçucu küllerin yüksek zeminler üzerinde daha uygun bir dolgu malzemesi olarak kullanılabilceğini gösterir. böylece, yerleşme nedeniyle oluşan deformasyonlar daha küçük olacak, özellikle yerleşme hareketinin büyük sorunlar yarattığı köprü ayaklarında kullanılması çeşitli yararlar sağlayacaktır. Son zamanlarda uçucu külün çevre geoteknolojisi uygulamalarında kullanım olanakları araştırılmaktadır. Örneğin, zararlı atık veya çöp depolanan sahalarda sızdırmazlık sağlamak amacıyla, sıkıştırılmış kil yerine, sıkıştırılmış uçucu kül veya uçucu kül+kum karışımının kullanılması düşünülmektedir.

3.2.4.6. Diğer Kullanım Alanları

Yukarıda belirtilenlerin dışında uçucu küllerin diğer kullanım alanları aşağıda verilmiştir [10]:

- Gaz beton üretiminde,
- Harç yapımında,
- Çözeltilerden fosfatın uzaklaştırılmasında,
- Döküm kumu olarak,
- Maden ocaklarında filtre olarak,
- Yalıtım malzemesi olarak,
- Metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde,
- Petrol kuyusu sondajlarında.

BÖLÜM 4. PUZOLANİK UÇUCU KÜL KATKILI TUĞLA DENEYLERİ

4.1. KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

4.1.1. Kil Hammadesinin Özellikleri

Puzolanik uçucu kül katkılı tuğla üretiminde, Kılıçoğlu Kiremit-Tuğla Fabrikası kili kullanılmıştır. Kullanılan kil, tuğla üretimine uygun şekilde öğütülmüş ve hazırlanmış olarak temin edilmiştir.

Tablo 4.1.' de verilen Kılıçoğlu kil toprağı kimyasal analizine göre kimyasal bileşim yüzdelerine bakıldığında, bu toprağın Bölüm 3.1.3'de de belirtildiği gibi Montmorillonit kil grubuna yakın olduğu ve tuğla üretimine uygun bir kimyasal bileşime sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. Kılıçoğlu Tuğla-Kiremit Fabrikası Toprağı Kimyasal Analizi

(Fab.tarafından verilen föye göre).

Kimyasal Bileşim	%
SiO ₂	59,28
Al ₂ O ₃	25,59
Fe ₂ O ₃	5,42
Kızdırma Kaybı	9,7

Elde edilen deney sonuçlarına göre üretilen uçucu kül katkılı ve katkısız tuğlaların plastiklik suyu %33-42 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar da Kılıçoğlu kilinin üretim için uygun plastikliğe sahip olduğunu göstermektedir.

4.1.2. Uçucu Küllerin Özellikleri

Bu çalışmada Tunçbilek Termik Santralına ait "C" sınıfı uçucu külü kullanılmıştır. Kullanılan uçucu küle ait kimyasal özellikler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tunçbilek Uçucu Külü Kimyasal Analizi.

(29.6.1998 Termik Santraller İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı Teknik Kontrol Lab. Müdürlüğü füyünden alınmıştır.)

<i>Bileşik</i>	<i>% Ağırlık</i>
SiO ₂	56,47
Al ₂ O ₃	22,88
Fe ₂ O ₃	8,03
CaO	4,06
Na ₂ O	2,14
MgO	1,92
K ₂ O	1,69
SO ₃	0,9
TiO ₂	0,57
P ₂ O ₅	0,22
Kızdırma Kaybı	0,91

4.2. ÖN DENEY Ve NUMUNE ÜRETİMİ

Yapılacak araştırmayı etkileyen etkenlerin önceden saptanması ve deney koşullarının belirlenmesi için, ön deney yapılması gerekli görülmüştür. Belirlenen değişkenlerle yapılan deneylerde, esas deney için uygun değişkenlerin saptanması amaçlanmıştır.

İlk önce ana bileşen olarak Kılıçoğlu tuğla-kiremit fabrikası kili ve Tunçbilek Linyit Kömürü Termik Santral Puzolanik atık uçucu külü temin edilmiştir.

Diğer bir sabit bileşen Su dur. Hazırlanacak numunelerin çatlaksız olabilmeleri ve şeklini koruyabilmesi için kile ağırlığın hangi oranda su katılmasının uygun olduğu araştırılmıştır.

Laboratuvar ortamında şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Gerek deney aletlerinin olanakları, gerekse deney sonuçlarının güvenilirliği açısından numune boyutlarının 40 x 40 x 160 mm. olması öngörülmüştür. Böylelikle eğilme deneyi sonucunda iki prizma parçası üzerinde de basınç deneyi yapılabilecektir.

Numuneler ağırlıkça uçucu kül oranı; %0, %5, %10, %15, %20 olmak üzere 5 seride ve ortalama 7 adet olmak üzere hazırlanmış ve pişirmede iki farklı sıcaklık uygulanmıştır.

4.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

4.2.1.1. Yoğurma Suyu

Kile ağırlığının %20 ve %30 oranında su katılmış ve plastikliği tespit edilmiştir. Hazırlanan ekstrüzyon makinası ile karışımlar denenmiş ve %30 su oranının ideal plastiklik özelliği gösterdiği tespit edilmiştir.

4.2.1.2. Hamur Hazırlama

Kil hamuru hazırlanmadan önce, belirli ağırlıkta alınan kil (her karışım için 10 kilo) etüvde 105°C de ağırlığı sabit kalacak şekilde kurutulur.

Katkısız numuneler için kil, ağırlığının %30'u kadar su ile karıştırılıp şekillendirilmeden önce 24 saat dinlendirilir.

Katkılı numunelerde, kile ağırlığının %5, %10, %15 ve %20 oranında atık uçucu kül katılır. Kil ve uçucu kül öncelikle kuru olarak karıştırıldıktan sonra karışıma, karışımın toplam ağırlığı oranında su ilave edilerek yeniden karıştırılır. Karışımların hazırlanması sırasında hamurun fazla suyunu kaybetmesi ve ideal plastikliğe ulaşması için, alçı plaka üzerinde Resim 4.1.' de görülen yoğurma işlemi yapılmıştır. Hazırlanan karışım rutubetini kaybetmemesi için ağzı kapalı naylon poşet içine yerleştirilip 24 saat dinlendirilir.



Resim 4.1. Hazırlanan Kil Hamurunun Yoğurma İşlemi.

4.2.1.3. Şekillendirme

İlk şekillendirme işlemi ahşap kalıplar içine elle sıkıştırılarak denenmiştir. Fakat çıkan sonuçlar numunenin içinde gözle görünür boşluklar kaldığını ve kil hamurunun iyi yerleştirilemediğini göstermiştir.

Ahşap kalıplarla yapılan şekillendirmenin istenen sonucu vermemesi üzerine, kıyma makinasının döndürme ve itirme etkisinden yararlanmak amacı ile hazırlanan hamurun polarize olması gerekliliği düşünülerek, basit bir sistemle çalışan ekstürksiyon aleti geliştirilmiştir. Bu amaçla kıyma makinasının ağız kısmına, Resim 4.2'de görülen prizmatik numune çıkışına olanak sağlayacak metal bir uç yapılmıştır.



Resim 4.2. Prizmatik Numune Çıkışına Olanak Sağlayan Metal Uç.

Hazırlanan kil hamuru elle basınç uygulanarak makinanın haznesi doldurulmuş ve kolla yapılan çevirme hareketi ile dönme, polarizasyonu sağlamıştır. Polarize olarak çıkan karışım, ağız kısmında tekrar birleşerek ilave bir homojenizasyon işlemi

gerçekleşmiştir. 40x40 mm'lik kare prizma şeklinde çıkan numune 160mm.'ye ayarlanarak misina ile kesilmiştir.

Kolla yapılan çevirme işlemi, ağır ve hızı sabit olmadığı için, daha sonra motor bağlantısı yapılarak, düşük devirde sabit hızda numune üretimi hedeflenmiştir.

Aşağıdaki Resim 4.3.'de görüldüğü gibi geliştirilen sistemde, üretilen numuneler daha seri ve sabit hızda standart olarak elde edilmiştir.



Resim 4.3. Motor Bağlanarak Sabit Hızda ve Seri Numune Hazırlama.

4.2.1.4. Doğal Kurutma İşlemi

Ekstrüsiyon makinasından çıkan ve 160mm. olarak kesilen numuneler daha sonra 0,01gr.hassasiyetteki Precisa marka elektronik terazi ile tartılarak yaş ağırlıkları tespit edilmiştir.

Tartılan numunelerin kumpasla yaş boyut tespitinden sonra, alçı levha kurutma ünitesi üzerinde normal ortam koşullarında, bir hafta doğal kurumaya bırakılmıştır. Üretilen karışımın fazla suyunu almak üzere hazırlanan alçı kurutma ünitesi Resim 4.4.'de görülmektedir.



Resim 4.4. Alçı Kurutma Ünitesi İle Doğal Kurutma İşlemi.

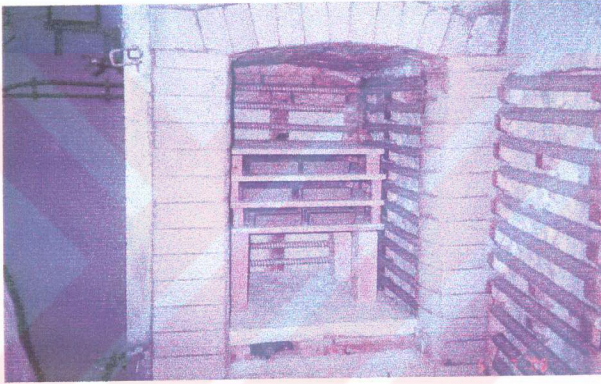
Kuru Ağırlık ve Boyut Tespiti

Doğal kuruması sağlanan numuneler, etüvde $\pm 105^{\circ}\text{C}$ de 24 saat kurutulur ve oda sıcaklığına gelene kadar desikatörde bekletilir. Daha sonra 0,01gr. hassasiyetteki Precisa marka elektronik terazi ile kuru ağırlıkları tespit edilip, boyutları kumpasla ölçülmüş ve pişirmeye hazır duruma getirilmiştir.

4.2.1.5. Pişirme

Hazırlanan numuneler M.S.Ü Güzel Sanatlar Fakültesinin Seramik bölümündeki fırınlarında pişirilmiştir. Resim 4.5.'de görülen fırın, maksimum ulaşabileceği sıcaklığı 1200°C olan, pişme süresi ve sıcaklığı manuel kontrol edilen elektrikli bir

fırındır. Pişme esnasında açığa çıkan gazların ortamı terketmesi için baca ünitesi mevcuttur .



Resim 4.5. MSÜ Güzel Sanatlar Fakültesinin Seramik Bölümündeki Fırın.

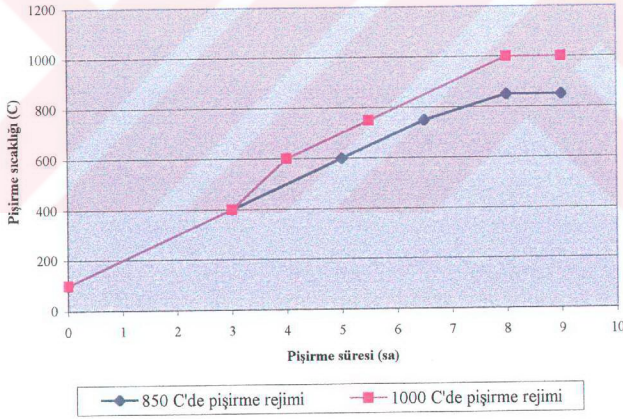
Pişme sıcaklığı tespit edilirken, uçucu küledeki organik bileşiklerin yeterli ısı ve oksijen ortamında tamamen yanmasına olanak sağlayacak bir sıcaklık belirlenmiştir. Pişme sıcaklığı olarak, 850°C ve 1000°C iki ayrı sıcaklık seçilmiştir. Toplam pişirme süresi 8 saat olarak sıcaklık derecesine göre ayarlanmıştır. İki farklı sıcaklık için fırın kapasitesine göre manuel olarak ayarlanan pişirme programı Tablo 4.3.'de verilmiştir. Fırın içi tuğla numuneler koyulmadan önce ön ısıtma ile 100°C ye kadar ısıtılarak zaman kaybı önlenmiştir. Fırın istenilen sıcaklığa eriştikten sonra bir süre bu sıcaklıkta tutulup daha sonra ısıtma işlemi sona erdirilmiş ve kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır.

Tablo 4.3. Fırın Kapasitesine Göre, İki Farklı Sıcaklık İçin Hazırlanan Pişirme Programı.

850°C için Pişirme Programı		1000°C için Pişirme Programı	
Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)
100-400	3	100-400	3
400-600	2	400-600	1
600-750	1,5	600-750	1,5
750-850	1,5	750-1000	2,5

Şekil 4.1.'de fırın kapasitesine göre ayarlanan iki farklı sıcaklıktaki pişirme rejimi zaman-sıcaklık artışı olarak verilmiştir.

Pişirme grafiği zaman-sıcaklık artışı



Şekil 4.1. Fırın Kapasitesine Göre Pişirme Rejimi.

Pişme süresince bünyede oluşan değişiklikler aşağıda verilmiştir[11]:

0-200⁰C : Ürünün kuruması,

200-500⁰C : Kimyasal suyun uzaklaşmaya başlaması ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$),

500-700⁰C: Kuvarın alfa-beta değişimi ve kimyasal suyun tamamen uzaklaşması için yavaş pişirme,

800-900⁰C : Bileşimin mineralleri öz yapılarını değiştirir,

900-1000⁰C: İskeleti oluşturan kristal yapı oluşumu,

meydana gelir. Fırın homojen ısı dağılımı için, maksimum sıcaklıkta bir süre tutulur ve daha sonra kendiliğinden yavaş soğumaya bırakılır.

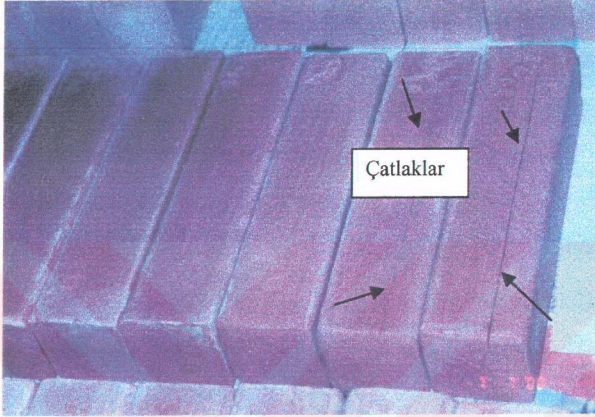
4.2.2. Ön Deneç Sonuçları

Uygun deneç koşullarının tespit edilmesi ve araştırılacak konuyu etkileyen etmenlerin saptanması için yapılan bu ön çalışmada ; %0 (katkısız), %5, %10, %15, %20 katkılı olmak üzere 5 seride, ortalama 8er adet numune üretilmiştir. Tablo 4.4'de üretilen seriler - karışım oranları ve pişirme sonrası oluşan hasar durumu verilmiştir.

Tablo 4.4. Üretilen Seriler - Karışım Oranları Ve Hasar Durumu.

Örnek Kodu	Pişme Rejimi	Örnek Adeti	Pişme Sonrası Hasar Durumu
C 00 850	850	8	Tamamen Hasarlı Seri
C 00 1000	1000	9	Tamamen Hasarlı Seri
C 05 850	850	8	Tamamen Hasarlı Seri
C 05 1000	1000	9	5 Adet Hasarsız
C 10 850	850	8	Hasarsız Seri
C 10 1000	1000	9	Hasarsız Seri
C 15 850	850	8	3 Adet Hasarsız
C 15 1000	1000	9	2 Adet Hasarsız
C 20 850	850	8	Hasarsız Seri
C 20 1000	1000	9	Hasarsız Seri

Pişirme aşamasında 850°C ve 1000°C de bazı hasarlar ortaya çıkmış ve bunun nedenleri araştırılmıştır. Oluşan çizgisel çatlaklar Resim 4.6' da görölmektedir.



Resim 4.6. Pişirme Sonrası Oluşan Çizgisel Çatlaklar.

İlk olarak üretim aşaması gözden geçirilince, kıyma makinasının kolla çevirilerek yapılan üretimlerde sabit bir hız oluşturulamadığı için hamurun içine hava boşlukları dolduğu ve bu nedenle pişirme sırasında çatlamalara yol açtığı varsayılmıştır.

Bu nedenle hasarlı numuneler tasniflenerek ayrılmış, aynı özellikleri taşıyan yeni karışımlarda kil hamuru hazırlanmış ve geliştirilen ekstürksiyon makinası ile sabit hızda, kontrollü olarak yeni numuneler üretilmiştir. Tablo 4.5'de yeniden üretilen tuğla serileri verilmiştir.

Katkı miktarının yaş ve pişmiş mukavemete etkisinin saptanabilmesi amacı ile hazırlanan numunelerden bir kısmı pişirilmeden ayrılmıştır.

Tablo 4.5. Yeniden Üretilen Tuğla Serileri.

Örnek Kodu	Pişme Rejimi (°C)	Örnek Adeti	Pişme Sonrası Hasar Durumu
C 00 0	0	3	-
C 00 850	850	7	Hasarsız Seri
C 00 1000	1000	7	Hasarlı Seri
C 05 0	0	3	-
C 05 850	850	7	Hasarsız Seri
C 05 1000	1000	7	Hasarlı Seri
C 15 0	0	3	-
C 15 850	850	7	Hasarsız Seri
C 15 1000	1000	7	Hasarlı Seri

Yeniden üretilen karışımların, hazırlanan pişirme programı ile pişirilmeleri sonucunda 850°C’ de hasar görülmemiştir. Fakat 1000°C’ de yapılan pişirme programı sonucu tüm numunelerin hasarlı olduğu ve çatlakların oluştuğu saptanmıştır.

4.2.2.1. Ön Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi

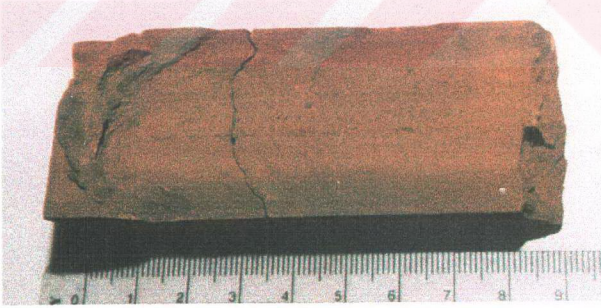
Ön çalışmada yapılan tespitler ve deneysel çalışmanın programlanması :

- 850°C pişme sıcaklığının, %0, %5, %10 ve %20 kil-uçucu kül karışımı için uygun olduğu belirlenmiştir.

- 1000°C de oluşan çatlakların yapısını incelemek amacıyla, hasarlı numunelerde oluşan, boyuna çatlağın enine kesiti alınmıştır. Resim 4.7 ve Resim 4.8' de de görüldüğü üzere boyuna çatlakların aşırı plastiklikten dolayı ekstürüksiyon esnasında iç yapıda oluşan burulma izleri olduğu anlaşılmıştır.



Resim 4.7. İç Yapıda Görülen Burulma Çatlakları.



Resim 4.8. Boyuna Çatlağın Enine Kesiti.

- Deneysel çalışmanın devamında, 1000°C’ de pişirilecek yeni karışımlarda, uçucu kül oranının % 30, % 40 ve % 50 olarak artırılması ve karışımın plastikliğinin azaltılması nedeniyle, bu hasarın giderilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 4.6’da 1000°C de pişirilmesi amacıyla hazırlanan seri karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4.6. 1000°C de Üretilen Seriler.

Örnek Kodu	Pişirme Rejimi (°C)	Örnek Adeti
C 30 1000	1000	14
C 40 1000	1000	14
C 50 1000	1000	14

- Uçucu kül oranı % 30, % 40 ve % 50 olarak artırılan ve plastikliği azaltılan kil hamuruyla hazırlanan numuneler, 1000°C de pişirme programına uygun şartlarda pişirildiğinde, hiçbir karışım ve numunede çatlama hasarı görülmemiştir.

Deneysel çalışma için uygun bulunan şekilde üretimi tamamlanan ve pişirilen numuneler programlanan pişirme sonrası deneyleri yapmak üzere hazırlanmıştır.

4.3. DENEYSEL AŞAMA

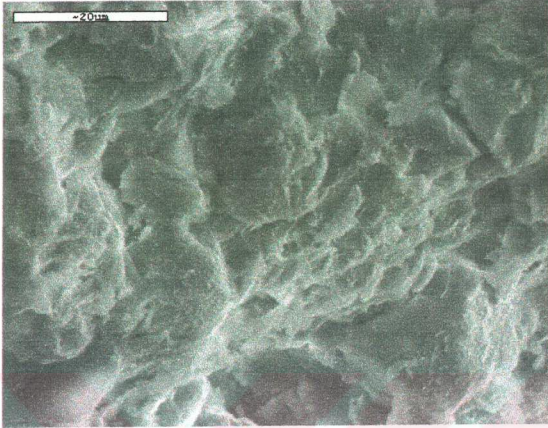
4.3.1. İç Yapı Analizleri

Deneysel çalışmada farklı uçucu kül katkı oranları kullanılarak üretilen tuğla numunelerin iç yapı analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile Anadolu Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümünün Araştırma Laboratuvarında (SAM) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar katkı oranlarına göre sınıflandırılarak aşağıda verilmiştir.

Mikro yapı analizi sonucu elde edilen görüntülerde; uçucu kül miktarının artmasıyla kil tabakaları üzerinde aglomere uçucu kül taneleri miktarı artmaktadır. Aglomere tanelerde bulunan amorf bölgeler; içerdiği alkali oksitlerinde etkisiyle tamamen erimiş, camsı yapıyı göstermektedir. Aglomere tane; termik santral kazanlarında yüksek sıcaklıklarda (1500-1700 °C) kömürün yakılması ile oluşan uçucu küllerin soğuması sırasında tamamen erimiş tanelerle erime sıcaklığı yüksek kristal yapıdaki tanelerin birleşmesi sonucunda meydana gelen iri bir tanedir [3].

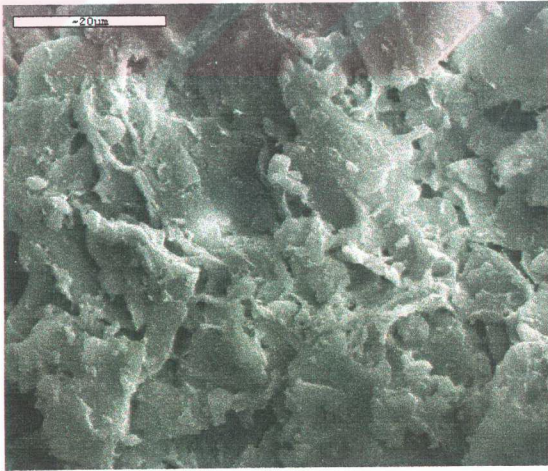
İç yapı analizlerine bakıldığı zaman:

- Katkısız ve %20' ye kadar olan uçucu kül katkılı numunelerde dane şeklinden bahsetmek mümkün gözükmemektedir. Resim 4.9' da görüldüğü gibi katkısız tuğla numunelerde gözle görünür porozite bulunmamaktadır.



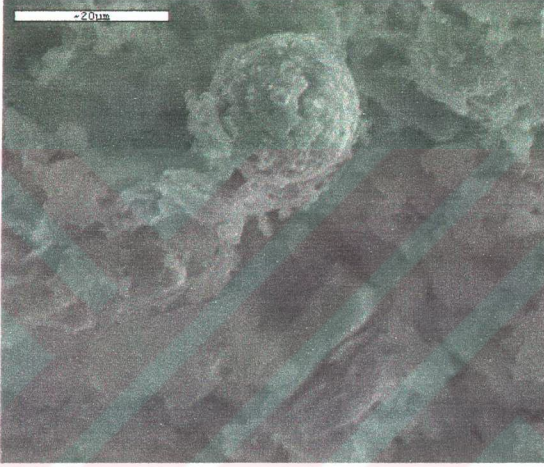
Resim 4.9. Katkısız Tuğla.

- Kül katkısı arttıkça iç yapı analizlerinde görüldüğü gibi boşluklar (porlar) fazlalaşmaktadır. Oluşan bu boşluklar çok farklı çaplara sahiptir.
- %20 ile %30 uçucu kül katkılı numuneler arasında büyük bir porozite değişimi görülmektedir.



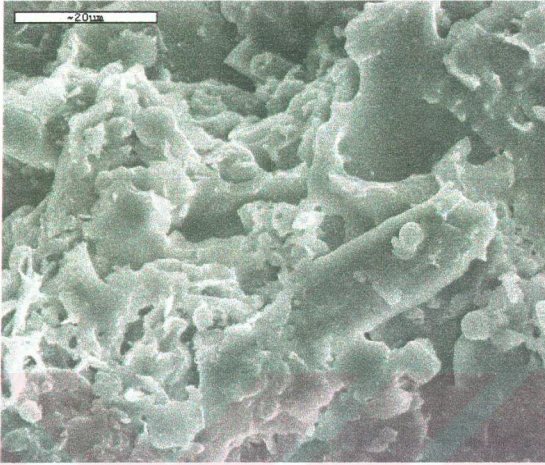
Resim 4.10. %20 Uçucu Kül Katkılı Tuğla.

- Resim 4.10.'da, %20 kül katkısından itibaren, farklı dane boyutları ve dane şeklinin homojen olmadığı görülmektedir.

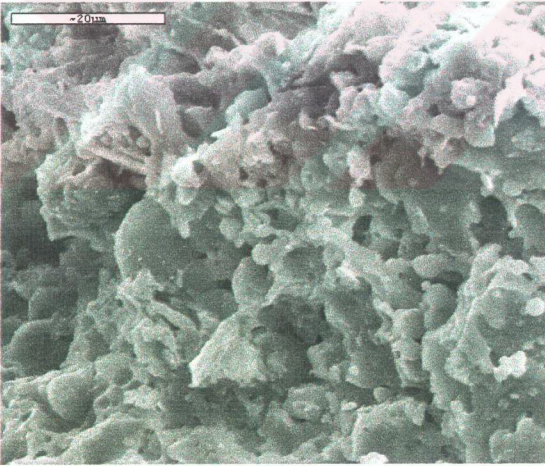


Resim 4.11. %30 Uçucu Kül Katkılı Tuğla.

- Resim 4.11'de görülen, %30 kül katkı oranı ile hazırlanan tuğla numunelerde yuvarlak daneler artmakta ve daneler küreselleşmektedir.
- Resim 4.12.'de %40 kül katkısından sonra porozitenin bir miktar azaldığı ve lifli yapının arttığı görülmektedir.



Resim 4.12. %40 Uçucu Kül Katkılı Tuğla.



Resim 4.13. %50 Uçucu Kül Katkılı Tuğla.

- Resim 4.13’de görülen %50 kül katkılı tuğla karışımlarda süngerimsi bir lifli yapının oluştuğu daha açık bir şekilde görülmektedir.

Gözeneklerin geometresinde farklılıkların görülmesinin değişik nedenleri vardır. Bunlar; pişirim sürecinde yeni silikat minerallerinin oluşumu, hammaddelerden açığa çıkan gazların kısmi basınçları, sinterleşme sırasında ara fazların ve cam fazının kinetiksel davranışlarıdır.

Çok sayıda yuvarlak mikroporların avantajı nemin kapilarite ile taşınım imkanını gözlemlenebilir oranda yavaşlatmasıdır. Tuğla bünyesindeki lamelimsi gözeneklerin yapı malzemesinin dona karşı dayanıklılığını artırdığını, C.Mayer ve Stegmüller kanıtlamıştır [6].

4.3.2. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.

Bu bölümde, ödeney çalışmasıyla üretim koşulları belirlenen ve üretilen numuneler Tablo 4.7’de sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmaya göre yapılacak deneyler saptanmıştır. Bu saptamada gözönüne alınan kriterler şunlardır:

- Pişme sıcaklığının, katkılı ve katkısız numulere etkisi, fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek saptanacak,
- Tunçbilek linyit kömürü termik santral puzolanik atığının, kile ağırlıkça belirlenen oranlarda; %5, %10, %15, %20, %30, %40, %50 olarak katılmasının tuğla üretiminde performansa etkisi, fiziksel ve mekanik özellikler üzerinden belirlenecektir.

Tablo 4.7. Hazırlanan Tüm Seriler ve Karışım Oranları.

Örnek Kodu	Pişme Rejimi (°C)	Örnek Adeti
C 00 0	0	3
C 00 850	850	7
C 05 0	0	3
C 05 850	850	7
C 05 1000	1000	5
C 10 850	850	8
C 10 1000	1000	9
C 15 0	0	3
C 15 850	850	7
C 15 1000	1000	2
C 20 850	850	8
C 20 1000	1000	9
C 30 1000	1000	14
C 40 1000	1000	14
C 50 1000	1000	14
TOPLAM NUMUNE		116

Pişme sıcaklığı, katkısız ve katkı oranlarına göre sınıflanan numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, istatistiksel verilere göre değerlendirilerek güvenilir sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle sonuç dağılımının hangi orta değer etrafında olduğu *aritmetik ortalama* (\bar{x}) Bağlantı-1, dağılımın derecesi *standart sapma* (s) Bağlantı-2, dağılımın ortalamaya oranı *varyasyon katsayısı* (v) Bağlantı-3, tespit edilerek belirlenmiştir. *Limit parametreleri* (t) Bağlantı-4' le saptanarak ihtimal yüzdeleri verilmiştir.

$$\text{Aritmetik ortalama : } \bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

$$\text{Standart sapma} : s = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n-1} \quad (2)$$

(30 numuneden az olan hesaplamalarda kullanılan standart sapma)

$$\text{Varyasyon katsayısı} , v = \frac{s}{x} \cdot 100 (\%) \quad (3)$$

$$\text{Limit Parametresi} , t = \frac{\bar{x} - x}{s} \quad (4)$$

Tablo 4.8'de varyasyon katsayısına göre kalite kontrolün değerlendirilmesi verilmiştir [14]. Ve tüm deney sonuçları aritmetik ortalama ve standart sapma ile elde edilen varyasyon katsayısına göre gözden geçirilmiş, %0-10 arası değerlendirme kriteri baz alınmıştır. Bu değerlendirme kriterini aşan numuneler sonuca katılmamıştır.

Tablo 4.8. Varyasyon katsayısı-kalite kontrol değerlendirmesi.

Varyasyon katsayısı	Değerlendirme
0 - 10	Çok iyi
10 - 20	İyi
20 -	Kötü

Hasarsız olarak ayrılan ve yeni üretilen numuneler üzerinde sırasıyla ;

- Kuruma, pişme, toplam küçülmeler ve plastisite suyu,
- Birim hacim ağırlık ,
- Ağırlıkça su emme,
- Hacimce su emme,
- Statik elastisite modülü,
- Eğilme dayanımı,
- Basınç dayanımı,

deneylemleri yapılmış ve sonuçları örnek sayısının aritmetik ortalaması olarak verilmiştir.

4.3.2.1. Rötire Deneylemleri ve Sonuçları

Üretilen tüm katkı ve katkısız numunelerin şekillendirme sonrası yaş, etüv kurusu ve pişme sonrası boyut ve ağırlıkları saptanmıştır. Rötire için,

$$\% \text{ Kuruma Rötiresi} = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \times 100 \quad (5)$$

$$\% \text{ Pişme Rötiresi} = \frac{h_k - h_p}{h_k} \times 100 \quad (6)$$

$$\% \text{ Toplam Rötire} = \frac{h_0 - h_p}{h_0} \times 100 \quad (7)$$

h_0 : Presleme sonrası uzunluk (mm),

h_k : Kurutma sonrası uzunluk (mm),

h_p : Sinterleme sonrası uzunluk (mm),

$$\% \text{ Plastiklik Suyu} = \frac{w_0 - w_k}{w_k} \times 100 \quad (8)$$

w_0 : Yaş ağırlık (gr)

w_k : Kuru ağırlık (gr).

değerleri Bağıntı-5,6,7,8 ile saptanmış ve sonuçlar Tablo 4.9.'da toplu olarak verilmiştir.

4.3.2.2. Birim Hacim Ağırlık Tespiti

T.S. 705 esas alınarak yapılan deneyde tuğla numuneler, sıcaklığı $\pm 105^{\circ}\text{C}$ ' ye ayarlanmış etüve yerleştirilerek 24 saat, değişmez kütleye kadar kurutuldu. Bu şekilde kurutulan tuğla numuneler oda sıcaklığına kadar desikatörde soğutulduktan sonra, boyutları 0,01 mm. duyarlılıkta kumpasla ölçüldü ve ağırlığı 0,01 gr. hassasiyetteki Precisa marka terazi ile tespit edildi.

Tuğla numunelerinin birim hacim ağırlığı Bağntı-9 ile ve tam sayıya yuvarlatılarak bulundu. Hesaplanan birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4.9'da toplu olarak verilmiştir.

$$\Delta = \frac{W_o}{V} \text{ [gr / cm}^3 \text{]} \quad (9)$$

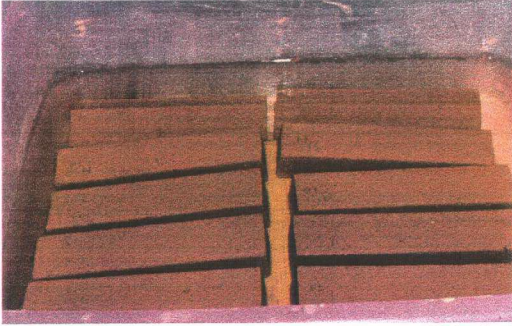
Δ : Tuğlanın birim hacim ağırlığı (gr/ cm³),

W_o : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş tuğla numunesinin ağırlığı (gr),

V : Tuğla numunesinin hacmi (cm³).

4.3.2.3. Su Emme Deneyi ve Sonuçları

Gözenekli malzemelerin su emme miktarları gözenek büyüklüğü ve gözenekler arası bağlarla ilgilidir. Deney numunelerini içine alabilecek büyüklükteki kaba, $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de, tuğla numunesinin yüksekliğinin yaklaşık $\frac{1}{4}$ ü kadar derinlikte su konuldu ve tuğla, uzunluğu yatay olacak konumda su içine yerleştirildi. Bir saat sonra tuğlanın yarısı, ikinci saat sonunda tuğlanın $\frac{3}{4}$ ü ve 24 saatin sonunda ise tamamı su altında kalacak şekilde kaba su konuldu. Resim 4.14'de görüldüğü gibi üzeri 1,5-2 cm. su ile örtülerek 48 saat su içinde bekletildi. Suya doygun hale gelen tuğla numuneler daha sonra Resim 4.15'de geliştirilmiş olarak görülen Arşimet terazisi ile su içinde tartıldı ve yüzeyi kurularak 0,01 gr. hassasiyetle tekrar tartıldı.



Resim 4.14. Tuğla Numunelerin Suya Doymuş Hale Getirilmesi.



Resim 4.15. Geliştirilen Arşimet Terazisi ile Su İçindeki Ağırlık Tespiti.

Aşağıdaki Bağıntı-10 ve 11'den tuğla numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme oranı hesaplandı.

Ağırlıkca Su Emme Oranı:

$$S_a = \frac{W_d - W_o}{W_o} \cdot 100 (\%) \quad (10)$$

Hacimce Su Emme Oranı:

$$S_h = \frac{W_d - W_o}{W_d - W_s} \cdot 100 (\%) \quad (11)$$

W_d : 48 saat suda doygun hale gelen kuru ağırlık (gr)

W_o : Kuru ağırlık (gr)

W_s : Su içinde ağırlık (gr)

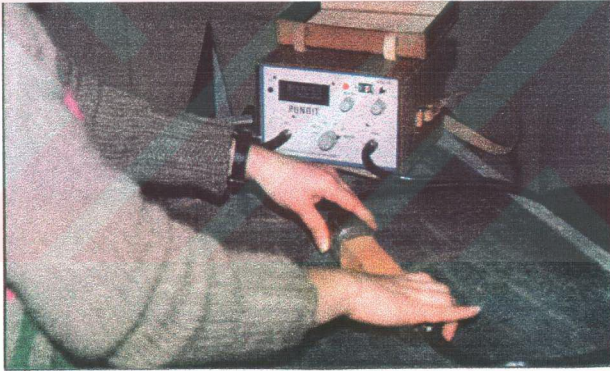
Su emme deney sonuçları ve birim hacim ağırlık tespitleri toplu olarak Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. Plastiklik Suyu, RÖtre ve Su Emme Deneş Sonuçları

Örnek Kodu	Pişme Rejimi	Plastiklik Suyu (%)		Kuruma RÖtresi (%)		Pişme RÖtresi (%)		Toplam RÖtre (%)		Ağırlıkça Su Emme (%)		Hacimce Su Emme (%)		B. Hacim Ağırlık (gr/cm ³)			
		Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.	Arit.Ort.	Std.Sp.
C 00 0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 00 850	850	0,34	0	9,78	0,36	0,69	0,01	10,04	0,36	13,21	0,19	25,03	0,25	1,93	0,01	-	-
C 05 0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 05 850	850	0,33	0	8,73	0,57	1,37	0,01	9,99	0,56	13,43	0,2	24,86	0,48	1,89	0,01	-	-
C 05 1000	1000	0,35	0	9,97	1,22	1,33	0,15	11,17	1,2	14,4	0,67	25,75	1,1	1,89	0,01	-	-
C 10 850	850	0,37	0,01	8,47	0,78	1,06	0,13	9,71	0,81	18,82	0,45	33,12	0,35	1,72	0,03	-	-
C 10 1000	1000	0,37	0,01	9,14	0,73	1,08	0,11	10,17	0,76	17,88	0,91	28,05	0,98	1,72	0,02	-	-
C 15 0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C 15 850	850	0,35	0	6,34	0,53	2,54	0,25	8,72	0,55	18,38	0,45	31,69	0,2	1,59	0,65	-	-
C 15 1000	1000	0,37	0	8,3	0,79	1,37	0,03	9,55	0,81	19,35	0,31	31,05	0	1,68	0,04	-	-
C 20 850	850	0,39	0,01	2,57	0,28	1,47	0,17	4	0,3	22,53	0,15	35,98	0,43	1,64	0,02	-	-
C 20 1000	1000	0,39	0,01	2,18	0,22	1,56	0,17	3,7	0,28	21,67	0,64	31,65	1,03	1,63	0,01	-	-
C 30 1000	1000	0,38	0,01	5	0,68	2,64	0,37	7,52	0,72	20,73	0,86	31,91	1,89	1,71	0,02	-	-
C 40 1000	1000	0,42	0,02	3,26	0,33	3,23	0,35	6,39	0,49	23,02	0,67	34,08	0,85	1,65	0,02	-	-
C 50 1000	1000	0,42	0,05	1,41	0,16	3,81	0,16	5,16	0,42	22,77	0,69	32,56	0,79	1,66	0,02	-	-

4.3.2.4. Statik Elastisite Modülü Tespiti

Bu deney, ultrases hızının belirlenmesine dayanan sonik bir yöntemdir. Titreşimin yayılma hızı ile malzemenin elastiklik modülü arasındaki fiziksel bağıntılardan yararlanır. Bunun için, M.S.Ü' si Yapı Fiziği ve Malzeme laboratuvarında, CNS Elektronik Ltd. İmalatı "Pundit" marka ultrases cihazı kullanılmış ve tuğla numunenin boyuna iki yüzeyine, Resim 4.16' de görüldüğü gibi proplar yerleştirilmiştir. Bir yüzey probundan gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları numunenin boyunu katettikten sonra diğer yüzdeki proba ulaşmış ve sesin iki yüzey arasında katettiği süre ölçülmüştür. Bundan da, ses dalgasının katettiği mesafeye bağlı olarak sesin hızı hesaplanmaktadır.



Resim 4.16. Ultrasonik Deney Aleti ile Ses Geçiş Hızının Saptanması.

Ses dalgaları tuğla numune boyunca ilerlerken boşluklara rastladığında bu boşluğu geçemeyip çevresini dolanmakta ve sonuç olarak sesin geçiş süresi uzamaktadır. Malzemede boşluk oranının artmasına bağlı olarak geçiş süresi uzamakta ve hesaplanan ses hızı değeri azalmaktadır.

Bu hızın değerinden hareketle, geliştirilmiş bağıntılar yardımı ile malzemenin dinamik elastisite modülü hesaplanabilmektedir. Genel hali ile bu ilişki Bağıntı-12 ve

13' te verilmiştir. Bağıntıyı göre hesaplanan Elastisite değerleri Tablo 4.10.' da verilmiştir.

$$v = \frac{l}{t} \quad (12)$$

$$E = \frac{v^2 \cdot \Delta}{g} \quad (13)$$

v : Sesin hızı [km/sn],

l : Sesin katettiği düşünülen mesafe (160 mm.),

t : Sesin geçiş süresi , 10^{-6} . sn [μ sn]

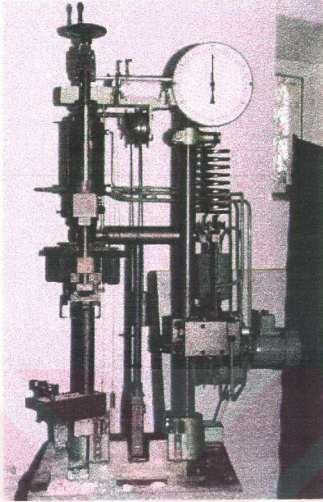
E : Statik elastiklik modülü değeri, [10^5 . N / mm²]

Δ : Malzemenin Birim Hacim ağırlığı, [gr /cm³]

g : Yerçekimi ivmesi, dir.

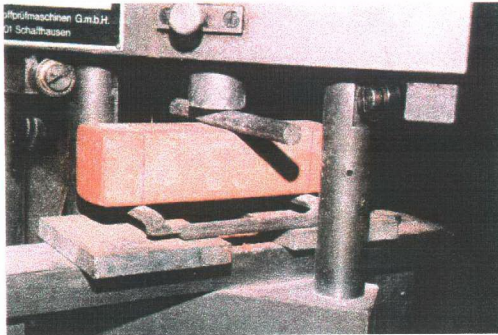
4.3.2.5. Eğilme Dayanım Deneyi ve Sonuçları

Mukavemetle ilgili deneyler yine MSÜ' nin Yapı Fiziği ve Malzeme laboratuvarında, Resim 4.17.' de görülen 600-6000 kp/cm² (60-600 MPa) kapasiteli "Amsler" marka Tip-6 DBZF 120 deney aleti kullanılarak yapılmıştır.

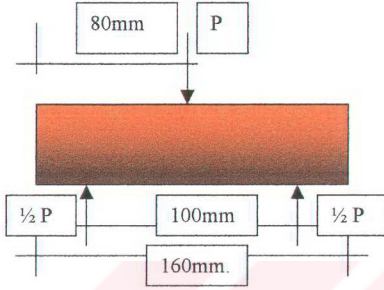


Resim 4.17. Amsler Marka Deney Aleti.

Yapılan eğilme deneylerinde kuvvet, mesnet açıklığı 100 mm. olacak şekilde numunenin ortasına tekil olarak uygulanmıştır. Resim 4.18' de oluşturulan sistem görülmektedir.



Resim 4.18. Eğilme Dayanımı Tespiti için 100 mm. Mesnet Açıklığına Yerleştirilmiş Numune.



Şekil 4.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Şematik Gösterimi.

Kare kesitli tuğla numunelerin kırılma değerleri bulunarak Bağntı 15’ de verilen formül yardımıyla eğilme dayanım değerleri bulunmuştur.

$$\sigma_{eğ} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} \quad \text{N/mm}^2 \quad (14)$$

P : Kırılma yükü (N),

l : Mesnet açıklığı (mm),

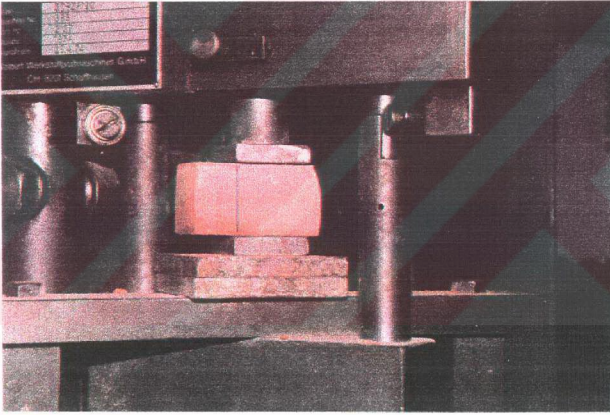
b : Tuğla numunenin genişliği (mm),

h : Tuğla numunenin yüksekliği (mm),

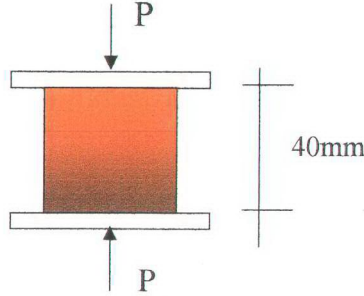
Bağntıya göre hesaplanan eğilme dayanımları Tablo 4.10’da verilmiştir.

4.3.2.6. Basınç Dayanım Deneyi ve Sonuçları

Eğilme dayanımının tespitinde ikiye ayrılan tuğla numuneler, basınç dayanımı deneyinde kullanılmış ve basınç deneyleri de Üniversal Amsler deney aletinde yapılmıştır. Bunun için Resim 4.19'da görüldüğü gibi, 40x40 mm. genişliğinde ve 10 mm. yüksekliğinde iki adet demir plaka, tuğla numunenin alt ve üst tarafına dik açıyla yerleştirilerek üzerine kuvvet uygulanmıştır.



Resim 4.19. Alt ve Üst Yüzeyle Yerleştirilen Plakalarla Basınç Dayanımı Tespiti.



Şekil 4.3. Basınç Dayanımı Deneyi Şematik Gösterimi.

Şekil 4.3’de görülen tuğla numune üzerine etki eden basınç kuvveti, demir plaka yüzeyi ile sınırlıdır. Bu nedenle etki alanı hesaplanırken demir plakanın alanı (40x40 mm.) esas alınmıştır. Bağntı 16’ya göre de basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ N/ mm}^2 \quad (15)$$

σ : Basınç dayanımı (N/ mm²),

P : Kırılma anındaki yük (N),

F : Numunelere basınç uygulanan yüzeyin alanı (mm²),

Bağntıya göre hesaplanan basınç dayanımları ve diğer mekanik özellikler ile elastiklik modülü tespiti sonuçları Tablo 4.10’da verilmiştir.

Bu bölümde; uçucu kül katkılı olarak üretilen tuğla numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan deneylerle saptanmış ve tüm sonuçlar toplu olarak tablolarda verilmiştir. Beşinci bölümde bu sonuçlar değerlendirilecektir.

Tablo 4.10. Mekanik Dayanım Deneyleri ve Elastiklik Modülü Sonuçları

Örnek Kodu	Pisime Rejimi	(°C)	Eğilme Dayanımı		Basınç Dayanımı		Statik Modülü		Elastiklik $10^5 \cdot N / mm^2$
			N /mm ² Arit.Ort.	Std.Sp.	N /mm ² Arit.Ort.	Std.Sp.	Modülü Arit.Ort.	Std.Sp.	
C 00 0	0		1,96	0	7,40	0	-	-	-
C 00 850	850		8,41	0,29	35,60	0,28	0,45	0,26	0,26
C 05 0	0		1,85	0,50	6,50	0,12	-	-	-
C 05 850	850		10,57	0,79	33,20	0,15	0,40	0,25	0,25
C 05 1000	1000		5,88	0,94	31,90	0,51	0,34	0,22	0,22
C 10 850	850		3,52	0,50	18,20	0,30	0,18	0,13	0,13
C 10 1000	1000		3,97	0,52	19,4	0,13	0,23	0,15	0,15
C 15 0	0		1,89	0,10	5,20	0,04	-	-	-
C 15 850	850		7,20	0,41	24,40	0,34	0,27	0,12	0,12
C 15 1000	1000		4,50	0,09	19	0,02	0,21	0,05	0,05
C 20 850	850		3,62	1,07	12	0,17	0,15	0,11	0,11
C 20 1000	1000		3,19	0,47	15,80	0,15	0,18	0,10	0,10
C 30 1000	1000		4,72	0,48	16,80	0,33	0,22	0,13	0,13
C 40 1000	1000		8,25	0,58	15,40	0,22	0,20	0,11	0,11
C 50 1000	1000		7,24	0,67	9,90	0,16	0,19	0,09	0,09

5. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölüm 4’de, bu çalışmanın amaçlarına yönelik olarak, laboratuvar ortamında üretilen iki ayrı sıcaklıkta sinterlenen, uçucu kül katkılı tuğlaların, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen değerler toplu olarak Tablo 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.

Bu bölümde, elde edilen sonuçlar, oluşturulan grafik sunumlarına göre yorumlanacak ve TS 705/1985 ve ASTM C216’da verilen değerlerle karşılaştırılarak irdelenecektir. Yapılacak yorumlar ve irdemeler, deneylerin yapılış sırası gözönüne alınarak aşağıdaki sıralamaya göre ve farklı iki sinterleşme sıcaklığına göre olacaktır. Pişmemiş numunelerde, kuru mukavemetleri üzerinden değerlendirilecektir.

- Kuruma, Pişme ve Toplam Rötne,
- Su Emme Değerleri,
- Birim Hacim Ağırlık,
- Eğilme Dayanımı,
- Basınç Dayanımı,
- Statik Elastiklik Modülü,
- Isı İletkenlik ve Birim Hacim Ağırlık İlişkisi.

5.1. Uçucu Kül Katkı Oranlarının Tuğlanın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

5.1.1. Kuruma, Pişme ve Toplam Rötne Değerleri

Tuğla malzemede pişirme işlemi ile gerçekleşen sinterleşme; birbirleriyle temas halinde bulunan tanelerin, yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanarak yapışması sonucu bünyenin boyut ve yoğunluklarında meydana gelen değişimdir. Sinterleşme sıcaklığı arttıkça malzemenin taşınımı (difüzyon) artmakta ve yoğunlaşma sağlanmaktadır.

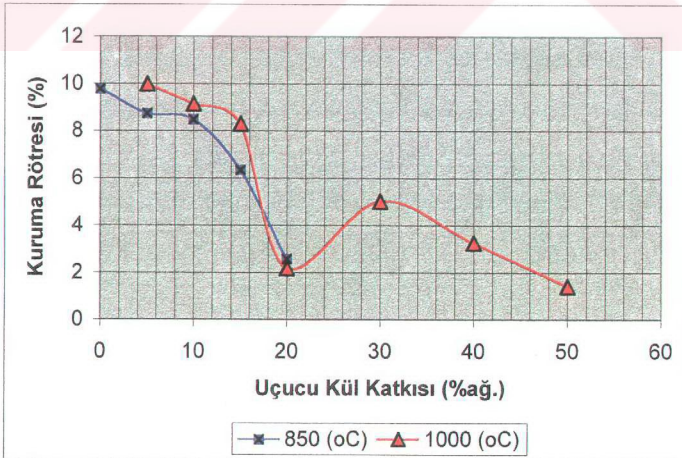
Kurutma sırasında numunelerdeki suyun buharlaşması sonucu, taneler birbirine yaklaşmakta ve hacimsel bir küçülme olmaktadır. Kuruma rötresi olarak isimlendirilen bu küçülme, karışımdaki kül oranının artışıyla azalmaktadır.

Kül içersindeki SiO_2 ve Al_2O_3 gibi plastikliği olmayan fazlar, plastikliği azaltmakta ve dolayısıyla kuruma rötresini de azalttığı düşünülmektedir.

Uçucu kül katkı oranı ile kuruma rötresi değerleri Şekil 5.1'de verilmiştir.

Kuruma rötresi pişme öncesi bir fiziksel değişim olduğu için pişme sıcaklığı ile ilişkisi bulunmamaktadır. Fakat tüm karışım oranlarının kuruma rötresi değerlerinin birarada verilmesi amacıyla 850°C ve 1000°C 'deki pişirilecek numuneler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Uçucu kül katkı oranının artışıyla lineer olarak azalan kuruma rötresi, %20 kül katkısında lineerliği bozarak önemli bir düşüş göstermekte ve minimum seviyelere inmektedir.



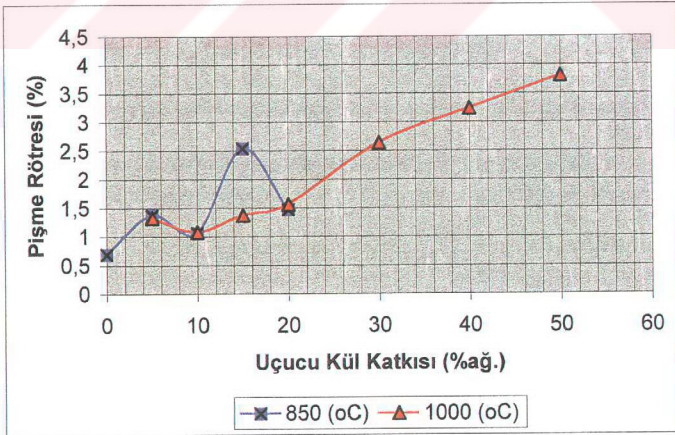
Şekil 5.1. Uçucu Kül Katkı Oranı - Kuruma Rötresi İlişkisi.

Şekil 5.2'de görülen pişme rötresi, kül miktarı arttıkça artmaktadır. Bu artış, külün içerisinde bulunan yanmamış karbonun yanması sonucu açığa çıkan enerji ve yine kül içerisinde bulunan Na_2O ve K_2O gibi alkali oksitlerin sinterlemeye yardım etmesi ve külün puzolan özelliğe olmasının etkisi ile açıklanabilir.

Aynı kül katkı oranına sahip örneklerde; 850°C ve 1000°C 'deki pişme sıcaklığında, pişme küçülmesi değerlerinin aynı olduğu, sadece %15 kül katkı oranında bir miktar farklılık gösterdiği, %20 kül katkı oranında yeniden 850°C ve 1000°C 'de aynı değerleri taşıdığı gözlenmiştir.

Kilde bulunan alkali elementler ve kül içindeki puzolan mineraller, camsı sıvı faz oluşturmaktadır. Sıcaklığın artması ile artan sinterleşme sonucunda sıvı faz miktarında artmakta ve dolayısı ile pişme küçülmesinde de artış meydana gelmektedir.

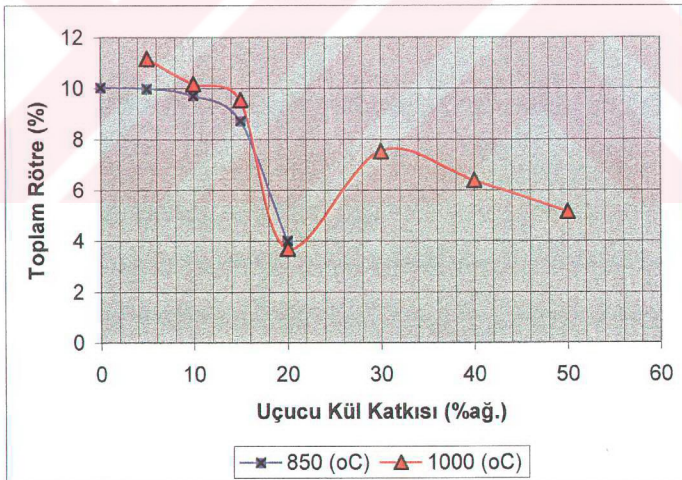
Sıvı faz sinterleşmesi oluşmadan önce, kompleks bir karışım olan kilin $400\text{-}600^\circ\text{C}$ arasında kristal suyunu kaybetmesi, uçucu küllerin sıvı faz oluşturması (killere göre daha az), uçucu küllerdeki karbonun yanarak uzaklaşması numunelerde pişme küçülmesine neden olmuştur.



Şekil 5.2. Uçucu Kül Katkı Oranı- Pişme Rötresi İlişkisi.

Bileşimde bulunan uçucu külün bünyesindeki karbonun, sıcaklığın etkisiyle CO ve CO₂ olarak uzaklaşması, CaSO₄'ün parçalanması ve diğer alkalilerin varlığı rötreye neden olurken, uçucu küllerin çok miktarda amorf faz içermelerine rağmen az miktarda bulunan kristal faz içerisindeki CaSO₄'ün; uçucu kül karışımına su ilavesi ile gipsuma dönüşmesi, pişirme sırasında gipsumun suyunu kaybederek tekrar CaSO₄'ün oluşması ve parçalanması, pişme rötresini dolaylı olarak ta toplam rötreyi çok az etkilemektedir.

Şekil 5.3'de kuruma ve pişme rötelerinin toplamı olarak ifade edilen toplam rötre eğrisi incelendiğinde, kuruma rötresine benzer bir eğim görülmekte, uçucu kül katkı oranının artışıyla lineer olarak azalan toplam rötre, %20 kül katkısında lineerliği bozarak önemli bir düşüş göstermekte ve minimum değeri almaktadır.

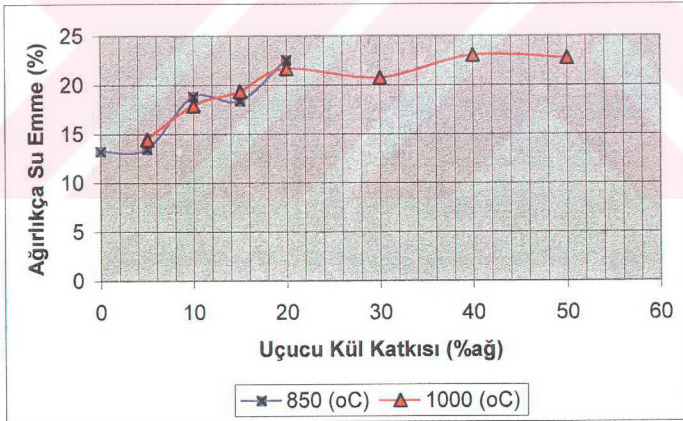


Şekil 5.3. Uçucu Kül Katkı Oranı- Toplam Rötre İlişkisi.

5.1.2. Su Emme Değerleri

Uçucu kül katkı oranı ve su emme değerleri Şekil 5.4., Şekil 5.5. ve Şekil 5.6'da grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafiklere göre; su emme değerleri kül miktarı arttıkça artmaktadır.

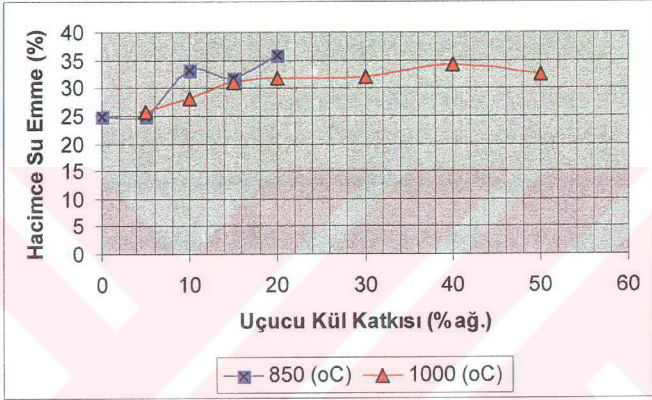
Kül içindeki uçucu maddelerin ve yanmamış karbon içeren organik fazların sinterleme esnasında yanması ve CO ve CO₂ şeklinde bünyeden uzaklaşması, yapıda boşluklar oluşturmaktadır. Ancak göze çarpan bir bulgu da; kül miktarının artmasıyla, pişme rötresinde artış olurken aynı zamanda su emme değerlerinde de artış gözlenmesidir. Sinterlenmenin artması su emme özelliğini düşürdüğü, standart seramik malzemelere nazaran su emme değerinin de artması, yapıdaki oldukça fazla uçucu ve yanmamış karbon fazların sinterleşme sırasında uzaklaşması ve yerlerinde boşluklar oluşması sonucu ile açıklanabilir.



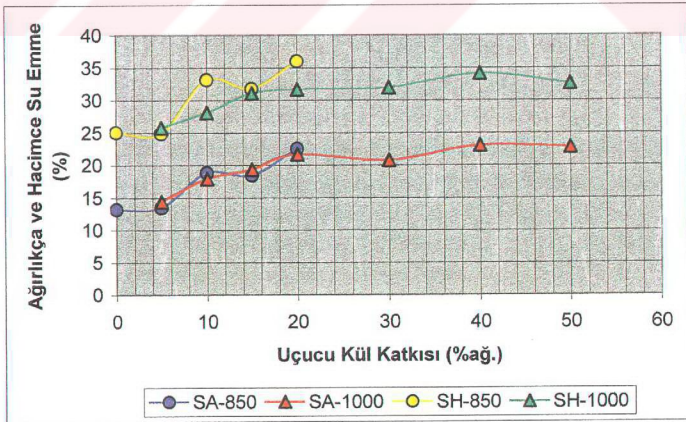
Şekil 5.4. Uçucu Kül Katkı Oranı – Ağırlıkça Su Emme Değerleri.

Özellikle 850^oC'deki sinterlemelerde %15 uçucu kül katkı oranındaki tuğla numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme değerlerinde bir azalma görülmektedir.

Aynı kül katkısına sahip numunelerde; düşük sıcaklıklarda (850⁰ C) pişirilen tuğlalar hacimce daha fazla su emme göstermiştir. Yüksek sıcaklıklardaki (1000⁰C) pişirimlerde sinterlenmenin daha fazla olması ve gözenekliliğin azalması ile su emme değerleri de bir miktar azalma göstermektedir.

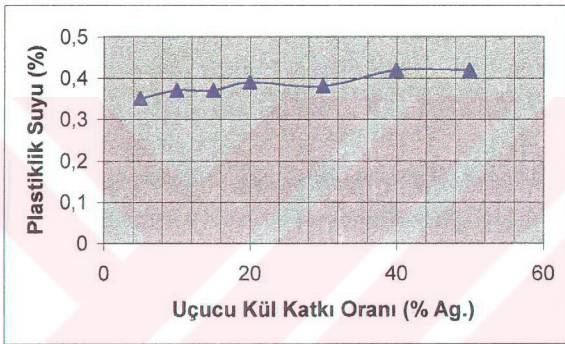


Şekil 5.5. Uçucu Kül Katkı Oranı – Hacimce Su Emme Değerleri.



Şekil 5.6. Uçucu Kül Katkı Oranı – Su Emme Değerleri.

Şekil 5.6'da uçucu kül katkı oranı ve su emme değerleri toplu olarak verilmiştir. Sıcaklığın etkisiyle oluşan camsı faz kül miktarının düşüşüyle azalacağından gözenekler tam olarak doldurulamamış ayrıca kül miktarına bağlı olarak sinterleşme ile bünyeden gaz çıkışının artması bunu desteklemiş ve su emme miktarının artmasına neden olmuştur.

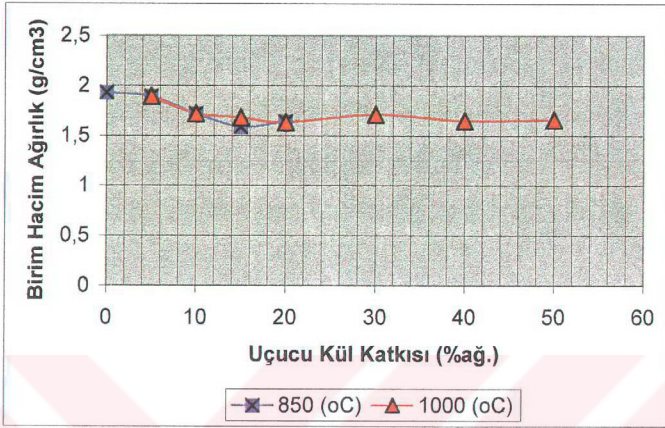


Şekil 5.7. Uçucu Kül Katkı Oranı – Plastiklik Suyu Değerleri.

Şekil 5.7'deki grafikde uçucu kül katkısı ve plastiklik suyu değerleri verilmiştir. Artan uçucu kül oranı ile plastiklik suyu oranının da arttığı görülmektedir.

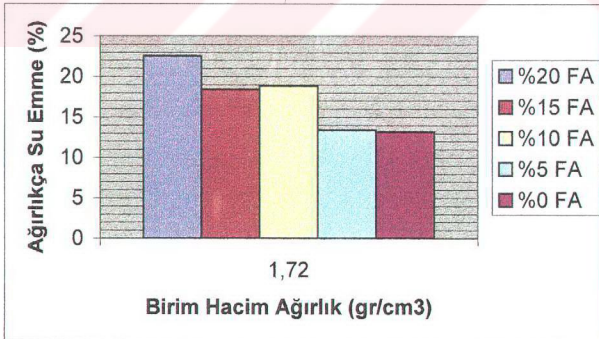
5.1.3. Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Şekil 5.8.'de görüldüğü gibi; birim hacim ağırlıkları, uçucu kül miktarı arttıkça düşmektedir. Numunelerin pişirilmesi sırasında; bünyelerindeki karbonun oksitlenmesi, sülfatların gaz haline dönüşmesi, kül taneleri yüzeyine absorbe olmuş suların ve kristal suların uzaklaşması, sonucu ağırlıklarında bir azalma görülmüştür.



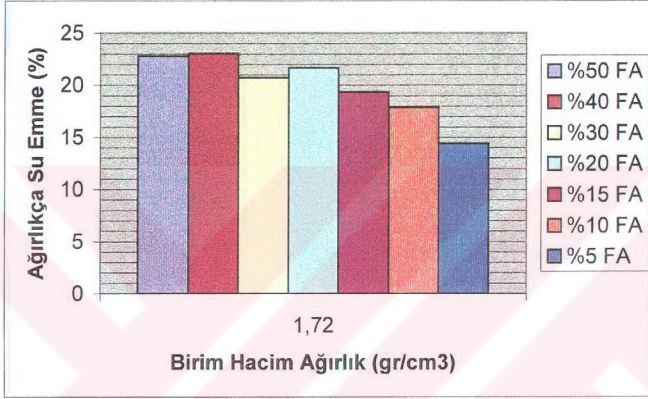
Şekil 5.8. Uçucu Kül Katkı Oranı – Birim Hacim Ağırlık Değerleri.

Birim hacim ağırlığı, porozite (gözeneklilik) ve su emme değerleriyle ters orantılı olarak düşmektedir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'daki grafiklerde ağırlıkça su emme ve birim hacim ağırlık değerlerinin ters orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. 850°C'deki Sinterlemelerde Birim Hacim Ağırlık- A.Su Emme İlişkisi.

Aynı kül katkısına sahip farklı pişme sıcaklıklarında (850°C ve 1000°C 'de) birim hacim ağırlığının değişmediği ve her iki pişme sıcaklığında da ağırlıkça su emme değerlerinin birim hacim ağırlığın artmasıyla azaldığı, uçucu kül katkı oranının artmasına paralel arttığı gözlenmiştir.

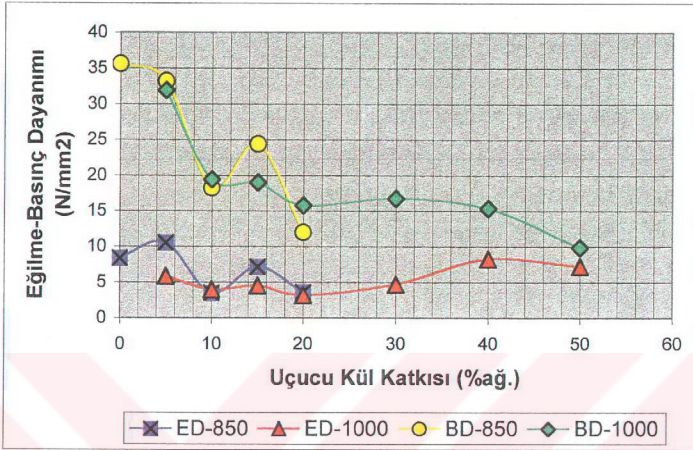


Şekil 5.10. 1000°C 'deki Sinterlemelerde Birim Hacim Ağırlık – A. Su Emme İlişkisi.

5.1.4. Mekanik Dayanım Değerleri

Uçucu kül katkı oranı ile tüm mekanik dayanım değerleri Şekil 5.11'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafiklere göre; 850°C 'deki pişirilmelerde artan kül oranı ile birlikte eğilme ve basınç dayanımları düşmüştür. Kül miktarının artmasına paralel olarak artan gözenek miktarı, dayanım değerlerini düşürmektedir.

850°C 'deki sinterleşmede % 15 uçucu kül katkısında eğilme ve basınç dayanımlarında önemli bir artış görülmekte, %20 uçucu kül katkısında dayanım değerleri azalmaya devam etmektedir.



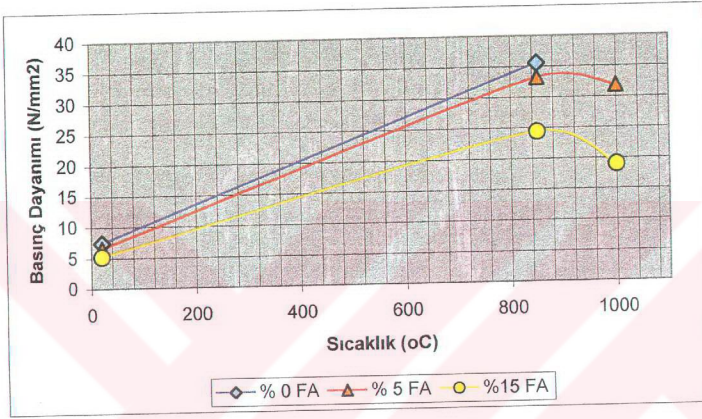
Şekil 5.11. Uçucu Kül Katkı Oranı-Mekanik Dayanım İlişkisi.

1000⁰C' deki pişirimlerde basınç mukavemeti kül oranı arttıkça, hızlı bir şekilde azalmaktadır. %15 kül katkı oranında eğilme ve basınç dayanımında bir miktar artış gözlenmiş ve %40 kül katkısında eğilme dayanımı maksimum bir değer göstermiştir. Bu maksimum değer; kül içindeki sertliği yüksek fazların oranının artması sonucu, bir kompozit malzeme davranışı olarak görülmektedir.

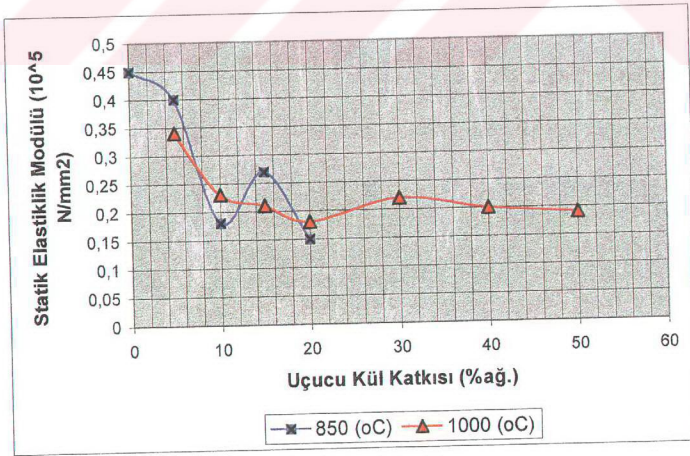
1000⁰C' deki sinterleşmede % 20' nin üzerindeki kül katkılarında basınç dayanımı azalırken eğilme dayanımında artış gözlenmiştir. Bu aralıkta basınç ve eğilme dayanımının ters orantılı olduğu görülmektedir. %50 kül katkısı miktarına gelindiğinde, artan porozite nedeniyle basınç dayanım değeri eğilme değerine yaklaşacak kadar düşmektedir.

Şekil 5.12.'de basınç dayanım değerleri ve sinterleşme sıcaklığı grafiğine bakıldığında 850⁰C'de maksimum basınç dayanımı görülmekte, 1000⁰C' de basınç dayanımı düşmektedir. Bunun nedeni 1000⁰C'de kül yüzdesinin azalmasına bağlı olarak oluşacak mullit fazının azalması ile basınç dayanımında düşüşe neden olduğu

ve uçucu kül içindeki minerallerin etkisiyle oluşan faz dönüşümlerinin söz konusu olduğu düşünülmektedir. Tezin devamında yapılacak çalışmalarda X- ışınları difraksiyon incelemesi ile oluşan fazlar irdelenmelidir.



Şekil 5.12. Basınç Dayanımı-Sinterleşme Sıcaklığı İlişkisi.



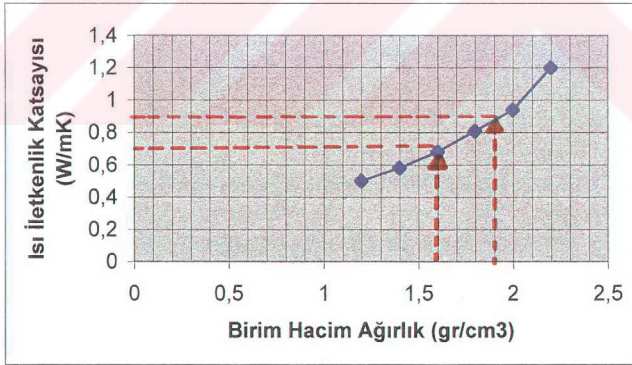
Şekil 5.13. Uçucu Kül Katkı Oranı Statik Elastisite Modülü İlişkisi.

Şekil 5.13'deki grafikte uçucu kül katkı oranı ile statik elastiklik modülü değerlerinin değişimi verilmiştir. Genel olarak, uçucu kül katkı oranının artışı ile statik elastiklik modülü azalmakta, eğilme ve basınç deneylerinden elde edilen değerlere benzer bir değişim görülmektedir.

5.1.5. Isı İletkenlik Katsayısı -Birim Hacim Ağırlık İlişkisi.

Isı iletimi içyapı ile ilişkili olduğundan, birim ağırlığı az olan malzemelerde ısı iletkenlik katsayısının da düşük olduğu görülmektedir. Hafif ve içinde boşluklar bulunan malzemeler ısıyı en az geçirirler.

TS 704 ve 705' e uygun dolu ve düşey delikli tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerine göre ısı iletkenlik katsayıları Şekil 5.14' de verilmiştir [50]. Tablo 4.9'dan üretilen uçucu kül katkılu tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri; 1,93 , 1,89 , 1,72 , 1,68 ve 1,59 gr/cm^3 alınıp Şekil 5.14' de ki grafiğe yerleştirilirse yaklaşık ısı iletkenlik değerlerinin 0,9 ile 0,7 W/mK arasında değişeceği görülmektedir.



Şekil 5.14. Birim Hacim Ağırlık- Isı İletkenlik Katsayısı İlişkisi.

5.2. Deney Sonuçlarının TS 705 / 1985' e Göre Değerlendirilmesi.

Türk Standartları Enstitüsü fabrika tuğlaları standardında (TS 705/1985); DOT 2,0/240, DOT 2,0/120, DOT 1,8/220, DOT 1,8/100 şeklinde sınıflandırılan dolu tuğlaların basınç mukavemetleri sırasıyla aritmetik ort. olarak; 23,5 N/mm² , 11,8 N/mm² , 21,6 N/mm² , 9,8 N/mm² olarak verilmiştir. Bu çalışmada üretilen, değişen uçucu kül katkı oranına göre numunelerin, basınç dayanımına Tablo 4.10'dan bakılacak olunursa % 50 uçucu kül katkı oranına sahip numunelerin bile TS 705' deki değerleri yakaladığı görülmektedir. Uçucu kül katkı oranı %50 olan tuğlalarda birim hacim ağırlık değeri DOT 1,8/100' den daha düşük olmasına rağmen 9,9 N/mm²' lik basınç dayanımı ile aynı standartı yakalamaktadır. Diğer uçucu kül katkı oranlarındaki tuğlalarda ise birim hacim oranları daha düşük olsa bile basınç dayanım değerleri TS 705' de verilen değerlerden daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Bu sonuçlara göre, laboratuvar şartlarında, uçucu kül katkısının kile hamuruna karıştırılması ile üretilen tuğlaların mukavemetleri, TS standartına göre uygun performansa sahip gözükmemektedir.

5.3. Deney Sonuçlarının ASTM C216' ya Göre Değerlendirilmesi.

Amerikan ASTM C216 yük taşıyıcı duvar tuğlaları standardında; sırasıyla ağırlık değerlerine göre, 20,7 N/mm² , 17,2 N/mm² , 15,2 N/mm² , basınç dayanımları verilmiştir. Verilen basınç dayanımları ile bu çalışmada üretilen tuğla numunelerin basınç dayanımları kıyaslandığında , %40 uçucu kül katkı oranına kadar basınç değerleri paralellik göstermekte (max. 35,6 N/mm² ve min. 15,4 N/mm²) ve ASTM C216 standardına göre yeterli olmaktadır.

Ayrıca ASTM C216' da verilen % 25 ile % 17 arasındaki su emme değerlerinin, uçucu küle üretilen numunelere %23 ve % 13 arasında değişen su emme miktarları ile yakın olduğu saptanmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, birinci bölümde, inşaat sektöründe oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan, pişmiş toprak tuğla malzemesinin, termik santrallerde kömürün yakılması ile ortaya çıkan uçucu kül ile kompozisyonunda, iki ayrı sıcaklıkta sinterlenmesi ile oluşan boşluklar sayesinde ısı yalıtım değerinin artırılması, su emme değerlerinin ve mekanik dayanımlarının TS ve ASTM standartlarına uygun olmasının hedeflendiği belirtilmişti.

Uçucu kütle yapılan çalışmalar sonucunda; Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemi ile yapıda kimyasal ve fiziksel değişimler sonucu meydana gelen ısı alışverişine bakıldığında, uçucu külün içindeki organik maddelerin yanması, yüksek sıcaklıkta fazların oluşumu, amorf maddelerin kristalleşmesi nedeniyle egzotermik reaksiyon sonucu sıcaklığın açığa çıktığı saptanmıştır[10]. Uçucu külün pişme sırasında açığa çıkaracağı enerji ile normal pişme sıcaklığından tasarruf sağlanması ve düşük sıcaklıkta sinterleşme, ekonomik üretimlere olanak sağlayacaktır.

Deneyisel çalışmada elde edilen sonuçlara göre, amaca uygun nitelikte tuğla elde edilebileceği, iç yapıda oluşan boşluklar sayesinde ısı yalıtım değeri artırılırken, mekanik dayanımların, TS 705/ 1985 ve ASTM C216' da verilen değerlerin üstünde olduğu görülmüştür.

Yapılan değerlendirme sonuçları, hedeflenen amaca ulaşıldığını göstermektedir. Bunun yanında üretimde dikkat edilecek hususlar ve genel sonuçlar şu şekilde belirlenmiştir:

- Ön deneylerde yapılan sonuçlara göre; laboratuvar şartlarında yarı yaş yöntemle, geliştirilen ağızlıklı presle üretim uygun numuneler üretmeyi sağlamıştır. 850 °C pişme sıcaklığı; katkısız, %5, %10, %15,%20 kil-uçucu kül karışımı için uygun olduğu halde, %30 serilerinde burulma çatlaklarına yol açmıştır. Aşırı plastiklikten dolayı oluşan bu çatlakları gidermek amacıyla %30 ve üzerindeki karışımlarda 1000°C sinterleşme sıcaklığı uygulanmış, azalan plastiklikle bu sıcaklığın uygun olduğu görülmüştür.

- Uçucu kül katkı miktarının artmasıyla kuruma küçülmesi azalmakta, pişme küçülmesi artmaktadır. Toplam küçülmeye bakıldığında o da, uçucu kül katkısıyla azalmaktadır. Bu da rötrenin azaldığını göstermektedir. Tuğla üretiminde rötrenin istenmeyen bir olay olduğu için bu sonuç olumlu olmaktadır.
- Su emme değerleri, uçucu kül katkı oranına paralel olarak artmakta, yüksek sıcaklıktaki (1000°C) pişirimlerde sinterleşmenin daha fazla olması ve gözenekliliğin azalması ile düşük değerler almaktadır.

Birinci bölümde verilen tuğlada oluşan gözenekler ile yapı fiziği arasındaki ilişkide bahsedildiği gibi tuğla malzeme kapilarite yoluyla açık gözeneklerine emdiği suyu, nefes alabilme özelliği ile geri verebilmektedir. Bu bakımdan diğer yapı malzemelerinden farklılık göstermektedir.

Birim hacim ağırlığının, porozite ve su emme değerleriyle ters orantılı olarak azalmasıyla üretilen numunelerin hafiflediği gözlenmiştir.

- Kil-uçucu kül karışımlarında kül miktarının artmasına paralel olarak artan gözenek miktarı, dayanım değerlerini düşürmüştür. 1000°C'deki pişirimlerde %15 kül katkı oranında eğilme ve basınç dayanımında bir miktar artış gözlenmiştir. %40 kül katkısında eğilme dayanımı maksimum bir değer göstermiştir. Bu maksimum değer; kül içindeki sertliği yüksek fazların oranının artması sonucu, bir kompozit malzeme davranışı olarak görülmektedir.

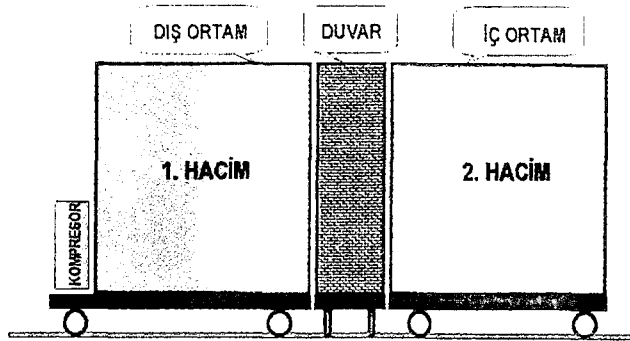
Genel olarak mekanik dayanımlar, TS 705/ 1985 ve ASTM C216' da ki standartların, üstünde değerlere ulaşmıştır.

- **Elde edilen tüm değerlere göre;** 24,4 N/mm² basınç dayanımı, 1,59gr/cm³ birim hacim ağırlık, yaklaşık hesaplanan ısı iletkenlik katsayısı 0,7W/mK, toplam rötrenin değeri %8,72 ve %18,38 ağırlıkça su emme ile, optimum bileşimin 850°C' de sinterlenen, kil ve %15 uçucu kül katkı oranı olduğu sonucuna varılmıştır.

ÖNERİLER:

- Bu çalışmanın devamında uçucu kül katkılı tuğlaların; Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve X-Işınları Difraksiyon Analizi yöntemi ile, iç yapıları ve mineralojik analizleri hakkında daha detaylı bilgi Bu çalışmanın devamında uçucu kül katkılı tuğlaların; Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve X-Işınları Difraksiyon Analizi yöntemi ile, iç yapıları ve mineralojik analizleri hakkında daha detaylı bilgiler elde edilebilir.
- Mevcut laboratuvar imkanları nedeniyle üretilen tuğlaların ısı iletkenlik katsayısı hesaplanamamıştır. Isı iletkenlik katsayısı Buhar Difüzyon Direnç Faktörü Deneyleri'nde olduğu gibi ısı iletkenlik cihazı ile hesaplanabilir. Bunun için kil-uçucu kül katkılı karışımların deney cihaz standardına uygun boyutlarda silindir şeklinde üretilmesi gerekmektedir. Bu cihazdan elde edilecek sonuçların, tuğla duvar uygulamalarında oluşacak iç ve dış ortamdaki koşullarda yeterince uygun olmadığı düşünülmektedir. Isı iletkenlik katsayısının hesaplanmasındaki en önemli eksik, yurtdışında uygulanan HOTBOX metodu ile özel bir standart yardımıyla yapılan tuğla ve benzeri malzemelerin deneylerini yapacak deney setlerinin, T.S.E. veya üniversitelerde bulunmamasıdır.

Aşağıdaki Resim' de HOTBOX metodunun çalışma prensibi verilmiştir [12].



Resim. EN-1934 Normunda Uygulanan HOTBOX Metodu.

Özellikle T.S.E. ve Üniversite laboratuvarlarının akredite edilmeye çalışıldığı bu dönemde, konunun incelenmesi önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] ADAM, J.-P., "Roman Building (Materials and Tecniques)" Batsford Ltd., London 1994, pp 58-65.
- [2] AKMAN, S.M.,
ERDİNÇ, M., "Uçucu Küllü Betonlarda Klor Geçirimsizliği", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir 1997, sy. 1-17.
- [3] ANDERSON,M.,
JACKSON, G., "The Benefication of Power Station Coal and Its Use Heavy Clay Ceramic", *Trans. J. Br. Ceram. Soc.*, Vol. 82, No. 2, 1983, pp. 50-53.
- [4] ARCASOY,A., "Seramik Teknolojisi",Marmara Üniversitesi Yayınları,1986,sy.46-108.
- [5] BARADAN,B.,
TÜRKEL,S., "Uçucu Kül ile Yapılan Kontrollü Düşük Dayanımlı Malzemeler", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara1995, sy. 91-104.
- [6] BAYKARA,M., "Seramik YapıMalzemelerinde Mikro Yapının Bio-lojik Boyutu ", *2000'li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Komutlar için Tuğla-Kiremit Paneli*,TUKDER, Ocak 2000, Ankara.
- [7] ÇOKCA, E.; "Frost Susceptibility Properties of Soma-B Fly Ash", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 123, No. 1, April 1997, pp. 1-10.
- [8] ÇOKCA, E.; "Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soil", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No. 7, July 2001, pp. 568-573.
- [9] ÇOLAK,M., "Etibank Kırka Boraks İşletmesi Atıklarının Turgutlu Killeri ile Tuğla-Kiremit Denemesi", *Tuğla Kiremit Endüstrisi Dergisi*, Yıl:2, Sayı:7,1999,sy.10-16.
- [10] DUMAN,N., "Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Karo Üretiminde Değerlendirilmesi."Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bil.Ens.,1996.

- [11] DOĞAN,Ş., “Seramik Teknolojisi”, Gama yayınları,İstanbul 1985, sy.44-46.
- [12] ELTEZ,M., “Isıl Konfor, Güvenlik ve Sağlıkın Dinamik Sentezi: Tuğla-Kiremit” *2000’li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar için Tuğla-Kiremit Paneli*, TUKDER, Ocak 2000, Ankara.
- [13] ERDOĞAN,T.Y.,“Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufü”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası,Ankara1993, sy. 29-35.
- [14] ERİÇ,M., “Yapı Fiziği ve Malzemesi” ,Literatür Yayınları, İstanbul 1994.
- [15] ERGÜT,Ş.,- YILMAZ, Ş., GÜNAY,V.,-ÖZKAN,T.,“Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Karakterizasyonları-Seramik ve Cam Hammaddesi Olarak kullanım Potansiyelleri ”, *8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, Metalurji Mühendisleri Odası, İstanbul 1995, sy. 869-874.
- [16] GÖRÇİZ,G., “Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi”, *2000’li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar için Tuğla-Kiremit Paneli*,TUKDER, Ocak 2000, Ankara.
- [17] GÜZEL,A., “Ponza Katkılı Tuğla Üretimi ve bu Tuğlaların Mekanik ve Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi”Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens.1993.
- [18] HEUTER,J.,and TREVTLEIN,G., “ Potential Applications of Lignite Products in the Brick and Tile Ind.”*Ziegelind İnt.* 1986,Vol.39, No.3, pp.115-122.
- [19] HULUSİ,Ö., KORAL, S., “Endüstriyel Atıklardan Desülfojips ve Uçucu Külün Bağlayıcı Malzeme Olarak Kullanabilirliğinin Araştırılması ”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir 1997, sy. 197-207.

- [20] KIMURA, K.- TAI, W.P.-
JINNAI, K.,
“Processing of Lightweight, High-Strength Porcelains Using an Alumina Cement to Replace Feldspars and Clays”, *Journal of The American Ceramic Society*, vol: 83, No: 7, Haziran 2000, pp.1658-1662.
- [21] KUBAN, D.,
“Mimarlık Kavramları”, YEM yayımları, 4. baskı, İstanbul 1992, sy 36-37.
- [22] KUKKO, H.;
“Stabilization of Clay with Inorganic By-Products”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 12, No. 4, November 2000, pp. 307-309 .
- [23] LAV, H.,
LAV, A.,
“Microstructural Development of Stabilized Fly Ash as Pavement-Base Material”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 12, No. 2, May 2000, pp. 157-163 .
- [24] NAIK, T.R.,
SINGH, S.S.,
“Permeability of Flowable Slurry Materials Containing Foundry Sand and Fly Ash”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 123, No. 5, May 1997, pp. 446-452 .
- [25] ÖZİŞİK, G.,
“Tuğla”, yayın no: 1 ve 2, Anadolu Üniversitesi Yayınları, 1994.
- [26] ÖZKUL, H.,
KORAL, S.,
“Afşin_Elbistan Uçucu Küllerinin Tuğla Blok Elemanı Üretiminde Kullanılma Olanaklarının Araştırılması ”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara 1995, sy. 151-160.
- [27] ÖZTURAN, T.,
“Uçucu Küllü Lateks Harçlarının Mekanik Özellikleri ”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara 1995, sy. 15-25.
- [28] ÖZTÜRK, S.,
“Perlitli Borakslı Tuğlalarda Boraksın Tuğla İçindeki Davranışının Belirlenmesi Üzerine Yapılan Hazırlık Deneyleri”, *Tuğla Kiremit Endüstrisi Dergisi*, Yıl:2, Sayı:6, 1998, sy.45-48.

- [29] POON, C. S. – LAM, L.,
WONG, Y. L., “Effects of Fly Ash and Silica Fume on Interfacial Porosity of Concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 11, No. 3, August 1999, pp. 197-205.
- [30] PORBAHA, A.- PRADHAN,T.B.S.,
YAMANE, N., “Time Effect on Shear Strength and Permeability of Fly Ash”, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 126, No. 1, April 2000, pp. 15-31.
- [31] ROTH,L.M., “Mimarlığın Öyküsü”, Kabalcı yaymevi, İstanbul 2000, sy 552-556.
- [32] SATAPATHY,L.N.,“ A Study On The Mechanical Abrasion and Microstructural Properties of Zirconia-Flyash Materials”, *Elsevier, Ceramics Int.*, vol.26, 2000, pp. 39-45.
- [33] STEFANOV,S., “The Use of Industrial Wastes in the Brick and Tile Industry”, *Ziegelind Int.*1986, Vol.39, No.3, pp.137-141.
- [34] TANAÇAN,L., “Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması”Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens.1993.
- [35] TANAÇAN,L., “Genleşmiş Perlit, Cam Tozu ve Bor Bileşikli Katkıların Hafif Duvar Tuğlası Üretimindeki Etkilerinin Araştırılması”, *Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi*, Yıl:1, Sayı:2,1996, sy.48 – 56.
- [36] TOPÇU,D., “Yeni TS 825 ve Tuğla” 2000’li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar için Tuğla-Kiremit Paneli,TUKDER, Ocak 2000, Ankara.
- [37] TOYDEMİR,N., “Seramik”, İ.T.Ü. Yayınları,2. baskı, İstanbul 1991.
- [38] UCHIDA, S.,and
ICHIKAWA,K., “High Temperature Properties of Unburned MgO-C Bricks Containing Al and Si Powders”, *Journal of The American Ceramic Society*, vol: 81, No: 11, November 1998, pp. 2910-2916.
- [39] VITRUVIUS, “Mimarlık Üzerine On Kitap” Çeviri Dr.Suna Güven, Şevki Valı Yayınları, İstanbul 1990, sy 29.

- [40] YEĞİNOBALI,A.,
ÖZTOK,İ., “Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Taşıyıcı Bimsbetonları ”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir 1997, sy. 73-95.
- [41] YILDIRIM, B.,
ALATAŞ,T., “Afşin-Elbistan Termik Santralı Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Kireç ile Birlikte Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir 1997, sy. 21-35.
- [42] YILDIRIM, M., “Toprak Sanayinde Hammadde Sorunları, Üretimde ve Üretim Sonrası Kalite Kontrolleri ”, *Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi*, Yıl:1, Sayı:2, 1996, sy. 20-24.
- [43] YILMAZ,Ş., “Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Külünün Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi” Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen. Bil. Ens.,1992.
- [44] WILSON,F., “Building Materials Evaluation Handbook”, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York 1984.
- [45] WASTI,Y., “Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları”,*İMO Teknik Dergi*, Cilt 1,Sayı 4, Ankara1990, sy.177-188.
- [46] WATKIN,D., “A History of Western Architecture”, King publishing, 2nd ed., Britain 1996, pp 491-580.
- [47] _____, “Tuğla: Derleme”, *Arredemento- Mimarlık Dergisi*, Boyut yayınları, sayı 112, Mart 1999.
- [48] _____, “Standart Specification for Facing Brick”, ASTM C 216, Annual Book of ASTM Standards 97, vol. 16, pp.113-117.
- [49] _____, “Uçucu Kül Standartı”, TS 639, 1975.
- [50] _____, “T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Mecburi Standart Tebliği”, Ankara 1999.


EKLER

EK 1. TS 705/ 1985

EK 2. ASTM C 216

EK 3. MECBURİ STANDART TEBLİĞ

(Bayındırlık ve İskan Bakanlığı)

 Türk Standardları Enstitüsü	FABRİKA TUĞLALARI — DUVARLAR İÇİN DOLU VE DÜŞEY DELİKLİ	TS 705/Mart 1985
KASIM 1985 BİRİNCİ BASKI	SOLID BRICKS AND VERTICALLY PERFORATED BRICKS	UDK 691.421

0 - KONU, TANIM, KAPSAM

0.1- KONU

Bu standard, duvar yapımında kullanılan dolu ve düşey delikli fabrika tuğlalarının tanımına, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma muayene ve deneyleri ile piyasaya arz şekline dairdir.

0.2 - TANIMLAR

0.2.1 - Fabrika Tuğlası

Fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinalarla şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir.

NOT - Bu standardda bundan sonra "fabrika tuğlası" yerine "tuğla" denilecektir.

0.2.2 - Tuğla Yüzlerinin Adları

Tuğla yüzlerinin adları Şekil - 1 de gösterildiği gibi üst yüz, alt yüz, yanak ve alındır.

0.2.3 - Düşey Delikli Tuğla

Düşey delikli tuğla, delikleri alt ve üst yüzlerine dik bulunan tuğladır (Şekil - 3, 4 ve 5).

0.2.4 - Dolu Tuğla

Dolu tuğla, deliksiz olan veya toplamı üst yüz alanının %15 ini geçmeyecek kadar delikleri bulunan tuğladır (Şekil - 2).

0.2.5 - Cephe Tuğlası

Cephe tuğlası, dona dayanıklı olacak şekilde üretilmiş tuğladır.

0.2.6 - Normal Tuğla (NT)

Normal tuğla, anma boyutları 190mmx90mmx50mm olan tuğladır.

0.2.7 - Modüler Tuğla (MT)

Modüler tuğla, anma boyutları 190mmx90mmx85mm olan tuğladır.

0.2.8 - Blok Tuğla

Blok tuğla anma boyutları modüler tuğladan daha büyük olan tuğladır.

0.2.9 - Kavrama Deliği

Kavrama deliği, blok tuğlaların alt ve üst yüzlerinde bırakılan ve tuğlanın elle kolayca kavranabilmesini sağlayacak şekil ve büyüklükteki deliklerdir (Şekil - 5) ve (Föy-1).

0.2.10 - Harç Cebi

Harç cebi, örülmüş duvarda düşey derzlerin ortadan kaldırılması amacı ile duvar harcının konulması için tuğlanın alt yüzünde bırakılmış girintidir. (Şekil - 6).

0.2.11 - Hacim Ağırlığı (d_g)

Hacim ağırlığı, değişmez kütleye kadar kurutulmuş tuğlanın delikleri ile birlikte birim hacminin kütlesidir.

0.3 - KAPSAM

Bu standard, dolu ve düşey delikli fabrika tuğlalarını kapsar.

1 - SINIFLANDIRMA VE ÖZELİKLER

1.1 - SINIFLANDIRMA

1.1.1 - Sınıflar

Tuğlalar delik oranlarına göre;

— Dolu tuğla

— Seyrek Delikli Tuğla

— Az Delikli Tuğla
olmak üzere üç,
dona dayanıklılıklarına göre;
— Dona dayanıklı (Cephe Tuğlası) (C)
— Dona dayanıksız (S)
olmak üzere iki
sınıfa ayrılır.

1.1.2 - Tipler

Hacim ağırlıklarına göre;

Dolu Tuğla sınıfı

— 2000 kg/m³ (2,0)

— 1800 kg/m³ (1,8)

olmak üzere iki,

Seyrek delikli tuğla sınıfı

— 1600 kg/m³ (1,6)

— 1400 kg/m³ (1,4)

olmak üzere iki

tipe ayrılır.

Az delikli tuğla sınıfı

— 1200 kg/m³ (1,2)

olmak üzere tek tiptir.

1.1.3 - Türler

Tuğla tipleri kendi aralarında, basınç dayanımlarına göre Çizelge - 1 deki gibi üçer türe ayrılır.

1.2 - ÖZELİKLER

1.2.1 - Biçim ve Görünüş

Tuğlalar, dikdörtgen prizma şekli ile olmalıdır. Tuğlanın yüzleri düzgün olmalı ve Madde 2.2.1 de açıklandığı şekilde muayene edildiğinde, yüzeyin hiç bir yerinde cetvel veya gönye kenarlarından ayrılma 5 mm den fazla olmamalıdır.

1.2.2 - Tuğladaki Delikler

Delikli tuğlalardaki delikler, buldukları tuğla yüzlerine mümkün olduğu kadar eşit aralıklarla ve simetrik olarak dağılmış bulunmalı, eksenleri bu yüzlere dik olmalı ve bütün tuğla yüksekliğince devam etmelidir. Deliklerin kesit şekli istenildiği gibi yapılabilir. Delikler şaşırtmaca düzeneklerle ısınım akım yolu uzatılmak suretiyle delikli tuğlalarda ısı yalıtımını azaltılabilir.

ÇİZELGE - 1 Fabrika Tuğlalarının Hacim Ağırlığı ve Basınç Dayanımı Değerleri

Tuğla Sınıfı	Tipi	Tuğla Sembolleri	Basınç Dayanımı		Hacim Ağırlığı kg/m ³		Delik Oranı %
			Aritmetik Ortalama kgf/cm ² (N/mm ²)	En Küçük Değer kgf/cm ² (N/mm ²)	Max	Min	
Dolu Tuğla	2000kg/m ³	2,0/240	240(23,5)	190(18,6)	2000	1801	15
		2,0/180	180(17,6)	145(14,2)			
		2,0/120	120(11,8)	95(9,3)			
	1800kg/m ³	1,8/220	220(21,6)	175(17,2)	1800	1601	
		1,8/150	150(14,7)	120(11,8)			
		1,8/100	100(9,8)	80(7,8)			
Seyrek Delikli Tuğla	1600kg/m ³	1,6/220	220(21,6)	175(17,2)	1600	1401	20
		1,6/150	150(14,7)	120(11,8)			
		1,6/100	100(9,8)	80(7,8)			
	1400kg/m ³	1,4/200	200(19,6)	160(15,7)	1400	1201	
		1,4/120	120(11,8)	95(9,3)			
		1,4/80	80(7,8)	65(6,4)			
Az Delikli Tuğla	1200kg/m ³	1,2/150	150(14,7)	120(11,8)	1200	1001	35
		1,2/100	100(9,8)	80(7,8)			
		1,2/60	60(5,9)	45(4,4)			

Standard Specification for Facing Brick (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale)¹

This standard is issued under the fixed designation C 216; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

Scope

1.1 This specification covers brick intended for use in masonry and supplying structural or facing components, or both, to the structure.

1.2 The property requirements of this standard apply at the time of purchase. The use of results from testing of brick extracted from masonry structures for determining conformance or nonconformance to the property requirements (Section 5) of this standard is beyond the scope of this standard.

1.3 The brick are prismatic units available in a variety of sizes, textures, colors, and shapes. This specification is not intended to provide specifications for paving brick (see Specification C 902).

1.4 Brick are manufactured from clay, shale, or similar naturally occurring earthy substances and subjected to a heat treatment at elevated temperatures (firing). The heat treatment must develop a fired bond between the particulate constituents to provide the strength and durability requirements of this specification (see firing, fired bond, andipient fusion in Terminology C 43).

1.5 Brick are shaped during manufacture by molding, pressing, or extrusion, and the shaping method is a way to describe the brick.

1.6 Three types of brick in each of two grades are covered.

1.7 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.8 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:
- C 43 Terminology of Structural Clay Products²
 - C 67 Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile²
 - C 902 Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick²
 - E 835/E 835M Guide for Modular Coordination of Clay and Concrete Masonry Units³

3. Grades

3.1 Grades classify brick according to their resistance to damage by freezing when wet, as defined in Note 1. Two grades of facing brick are covered and the requirements are shown in Table 1.

3.1.1 *Grade SW*—Brick intended for use where high and uniform resistance to damage caused by cyclic freezing is desired and where the brick may be frozen when saturated with water.

3.1.2 *Grade MW*—Brick intended for use where moderate resistance to cyclic freezing damage is permissible or where the brick may be damp but not saturated with water when freezing occurs.

NOTE 1—The word “saturated,” with respect to this standard, refers to the condition of a brick that has absorbed water to an amount equal to that resulting from submersion in room temperature water for 24 h.

4. Types

4.1 Three types of facing brick are covered:

4.1.1 *Type FBS*—Brick for general use in masonry.

4.1.2 *Type FBX*—Brick for general use in masonry where a higher degree of precision and lower permissible variation in size than permitted for Type FBS is required.

4.1.3 *Type FBA*—Brick for general use in masonry selected to produce characteristic architectural effects resulting from nonuniformity in size and texture of the individual units.

4.2 When the type is not specified, the requirements for Type FBS shall govern.

5. Physical Properties

5.1 *Durability*—When Grade is not specified, the requirements for Grade SW shall govern. Unless otherwise specified by the purchaser, brick of Grade SW shall be accepted instead of Grade MW.

5.1.1 *Physical Property Requirements*—The brick shall conform to the physical requirements for the Grade specified as prescribed in Table 1. For the compressive strength requirements in Table 1, test the unit with the compressive force perpendicular to the bed surface of the unit, with the unit in the stretcher position.

5.1.2 *Absorption Alternate*—The saturation coefficient requirement does not apply, provided the cold water absorption of any single unit of a random sample of five brick does not exceed 8 %.

5.1.3 *Freezing and Thawing Alternative*—The requirements for 5 h boiling water absorption and saturation coefficient do not apply, provided a sample of five brick, meeting the strength requirements of Table 1, passes the freezing and thawing test as described in the Rating Section

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-15 on Manufactured Masonry Units and is the direct responsibility of Subcommittee C15.02 on Clay Brick and Structural Clay Tile.

Current edition approved Jan. 10, 1997. Published March 1997. Originally published as C 216 - 47T. Last previous edition C 216 - 95a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.05.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.07.

TABLE 1 Physical Requirements

Designation	Minimum Compressive Strength psi, (MPa) gross area		Maximum Water Absorption by 5-h Boiling, %		Maximum Saturation Coefficient ^A	
	Average of 5 brick	Individual	Average of 5 brick	Individual	Average of 5 brick	Individual
Grade SW	3000 (20.7)	2500 (17.2)	17.0	20.0	0.78	0.80
Grade MW	2500 (17.2)	2200 (15.2)	22.0	25.0	0.88	0.90

^A The saturation coefficient is the ratio of absorption by 24-h submersion in cold water to that after 5-h submersion in boiling water.

TABLE 2 Grade Recommendations for Face Exposures

Exposure	Weathering Index (Note 3 and Fig. 1)	
	Less than 50	50 and greater
In vertical surfaces:		
In contact with earth	MW	SW
Not in contact with earth	MW	SW
In other than vertical surfaces:		
In contact with earth	SW	SW
Not in contact with earth	MW	SW

of the Freezing and Thawing test procedures of Test Methods C 67:

5.1.3.1 *Grade SW—Weight Loss Requirement*—Not greater than 0.5 % loss in dry weight of any individual unit.

NOTE 2—The 50 cycle freezing and thawing test is specified as an alternative only when brick do not conform to either Table 1 requirements for maximum water absorption and saturation coefficient, or to the requirements of the Absorption Alternate in Section 5.1.2.

5.1.4 *Waiver of Absorption and Saturation Coefficient Requirements*—If the brick are intended for use exposed to weather where the weathering index is less than 50 (see Fig. 1), and unless otherwise specified, the requirements given in Table 1 for 5-h boiling water absorption and for saturation coefficient shall not apply, but the minimum average com-

pressive strength requirement of 2500 psi (17.2 MPa) shall apply.

NOTE 3—The effect of weathering on brick is related to the weathering index, which for any locality is the product of the average annual number of *freezing cycle days* and the average annual *winter rainfall* in inches (millimetres), defined as follows.⁴

A *Freezing Cycle Day* is any day during which the air temperature passes either above or below 32°F (0°C). The average number of freezing cycle days in a year may be taken to equal the difference between the mean number of days during which the minimum temperature was 32°F or below, and the mean number of days during which the maximum temperature was 32°F or below.

Winter Rainfall is the sum, in inches (millimetres), of the mean monthly corrected precipitation (rainfall) occurring during the period between and including the normal date of the first killing frost in the fall and the normal date of the last killing frost in the spring. The winter rainfall for any period is equal to the total precipitation less one tenth of the total fall of snow, sleet, and hail. Rainfall for a portion of a month is prorated.

Fig. 1 indicates general areas of the United States in which brick masonry is subject to severe, moderate, and negligible weathering. The severe weathering region has a weathering index greater than 500. The moderate weathering region has a weathering index of 50 to 500. The

⁴Data needed to determine the weathering for any locality may be found or estimated from tables of Local Climatological Data—Annual Summary with Comparative Data available from the National Oceanic and Atmospheric Administration.

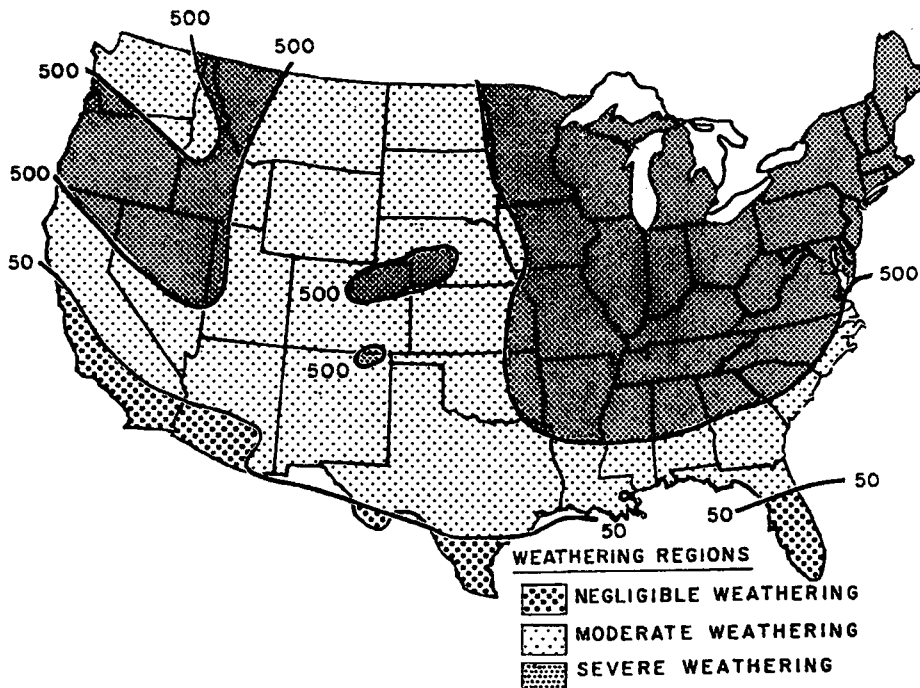


FIG. 1 Weathering Indexes in the United States (See Table 2)

EK 5'in devamı

Sıra No	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi ¹⁾ kg/m ³	Isıl iletkenlik hesap değeri λ_n ⁴⁾ W/mK	Su buharı difüzyon direnci faktörü μ ⁶⁾
6.4	Genleştirilmiş perlit agregası katılmış alçı duvar levhaları (TS 3682 ye uygun)	600	0,29	5 - 10
		750	0,35	.
		900	0,41	.
6.5	Alçı karton plâkalar (TS 452'ye uygun)	900	0,21	8
7.	Kâgir duvarlar (Harç fugaları- derzleri dahil)			
7.1	Tuğla duvarlar			
7.1.1	TS 704, TS 705 'e uygun tuğlalarla yapılan kâgir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinger, (TS 4562) seramik klinger (TS 2902).	1800	0,81	50 - 100
		2000	0,94	.
		2200	1,20	.
7.1.2	TS 704, TS 705 'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200	0,50	5 - 10
		1400	0,58	.
		1600	0,68	.
		1800	0,81	.
		2000	0,96	.
7.1.3	Düşey delikli tuğlalarla duvarlar (TS 4377'ye uygun AB sınıfı tuğlalarla, normal derz veya harç cepli)			
7.1.3.1	Normal harç kullanarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar	700	0,35	5 - 10
		800	0,38	.
		900	0,42	.
		1000	0,45	.
7.1.3.2	TS4916 'ya uygun harç kullanılarak AB sınıfı tuğlalarla yapılan duvarlar ¹⁾	700	0,30	5 - 10
		800	0,33	.
		900	0,36	.
		1000	0,39	.

ÖZGEÇMİŞ

Y.Mim. Aysen ÇELEN ÖZTÜRK
Göztepe mah. Oluşum sitesi. 4 B blok No:13 ESKİŞEHİR
0532 456 26 49

KİŞİSEL BİLGİLER:

Medeni Hal: Evli
Doğum Tarihi : 17.02.1970 ESKİŞEHİR
Uyruğu : T.C.
Sürücü Belgesi: B sınıfı

İŞ DENEYİMİ :

2000-2001 İstanbul Kültür Üniversitesi İstanbul ,
Araştırma Görevlisi
Müh. Mim. Fak., Mimarlık Bölümü;
- Yapı Bilgisi I, II, Uygulamalarının Yürütülmesi,
- Mimari Proje I, Atölye Çalışmalarının Yürütülmesi,
- Yapı Fiziği Dersinin organizasyonu,
- Bilgisayar Destekli Tasarım Dersinin Yürütülmesi,

1996-2000- Osmangazi Üniversitesi Eskişehir,

Uzman

Müh. Mim. Fak., Mimarlık Bölümü;
- Yapı fiziği ve malzeme derslerinin yürütülmesi,
- Mimari Proje III, IV danışmanlığı,
- Röleve Projelerinin danışmanlığı,
- Anadolu Üniversitesi İç Mimarlık Bölümü Lisans ve Yüksek Lisans Programında Malzeme ve Konstrüksiyon derslerinin yürütülmesi

1994-1996 Osmangazi Üniversitesi Eskişehir,

Mimar

Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı ;
- Meşelik Kampüsü binalarının inşaat işlerinin yürütülmesi, iç ve dış tasarım ve röleve projelerinin yürütülmesi , uygulama işleri.

1993-1994 Artmosfer Mimarlık ve Dekorasyon Bürosu
İstanbul ,

Mimar

- Çelebi Havayollarının apron binalarının tasarımı ve inşaat uygulaması,
- Suchi'de otel restorasyon ve dekorasyon proje tasarımı.

EĞİTİM:

1995-2001 Mimar Sinan Üniversitesi, Mimarlık
Anabilim Dalı /Yapı Fiziki ve Malzeme Doktorası
Tez konusu: “Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı
Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir
Araştırma” .

1992 – 1994 Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık
Anabilim Dalı / Yapı Programı Yüksek Lisansı
Tez konusu: “Hazır Betonun Performans Değerlendirmesi”

1987 –1992 Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık
Fakültesi / Mimarlık Bölümü.

YABANCI DİL:

İyi derecede İngilizce.

BİLGİSAYAR BİLGİSİ :

Windows 98 ve Ms Office 97 (Word, Excel), Autocad 2000

KURS VE SEMİNERLER:

-Autocad, 12 İstanbul 1993

Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi Sertifika
Programı

- 3. Ulusal Beton Kongresi; “Eskişehir Bölgesi Agregalarının Hazır Beton Kalitesine Etkisi” konulu bildirinin sunumu, İstanbul – 1994.
- Eskişehir Mimarlar Odası Bülteni Sayı 11,
“Yapı Biyolojisi Açısından Malzeme Seçiminde Hijyenite” konulu makale, Kasım – Aralık – 1996.
- Mimar Sinan Üniversitesi Restorasyon Meslek Yüksek Okulu Bahar Dönemi Seminerleri, “Eski Eserlerde Kullanılan Kerpiç Malzemenin Koruma ve Onarımı” İstanbul – 1996 .
- T. Makine Mühendisleri Odası Yalıtım Sempozyumu,
“Kompozit Yapı Malzemesi ve Bileşenlerinin Yalıtım Açısından Değerlendirilmesi” konulu bildirinin sunulması, Fırat Üniversitesi, Elazığ – 1997.

- Bursa Mim. Odası, “XX.yy. Mimari Mirası” başlıklı Yapı Yaşam Semineri, “Yer-el ve Evrensel’in Diyalektiği” bildirisi, Bursa – 2001.
- “Tunçbilek Termik Santral Atık Puzolanik Uçucu Küllerinin Tuğla Üretiminde Değerlendirilmesi”, Uluslararası Katılımlı 5. Seramik Kongresi, İstanbul-2001.

KİŞİSEL ÇALIŞMALAR:

- Midas Cafe& Bar’ın sahne ve bar tasarımı ve uygulaması Eskişehir – 1992.
- ◆ Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nde:
 - “Paris’in Değişen Mimarisi” Prof. Dr. Murat Eriç,
 - “Sanatta Espas” Özdemir Altan, konulu seminerlerin yönetim ve organizasyonu Eskişehir – 1994- 1995,
 - Lefkoşe Kaleiçi Bölgesinde Mısırlızade Hanı’nın rölevesinin hazırlanması Kıbrıs – 1999.
- ◆ İstanbul Kültür Üniversitesi Mimarlık Bölümünde:
 - Yapı Fiziği Ders Notlarının Düzenlenmesi,
 - “New Housing in Transition Competition” Uluslararası yarışma projesinin öğrenci katılım organizasyonu,
 - Kültür(Sümbül) sokak düzenleme projesinin yürütülmesi,
 - Bahçelievler Belediye Başkan Yrd.cısı Reşat Akçay’ın “Kentleşme-Belediyeler ve Çözümler” konulu seminerin düzenlenmesi,
 - Eğitim Fuarında İKÜ tanıtım çalışmaları ve stand düzenlemesi,
 - MOBBIG, Anadolu Üniversitesi Eskişehir toplantısına katılım.

AKTİVİTE VE HOBİLER:

Klasik müzik dinlemek, piano çalmak, resim, tiyatro ve sinema izlemek, seyahat etmek ve tenis oynamak.