



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UÇUCU KÜL-TEKSTİL FABRİKASI ATIK KÜLÜ VE
BAZALTİK POMZANIN TUĞLA ÜRETİMİNDE KATKI
OLARAK KULLANILMASI**

AHMET ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
Eylül-2008**



**KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UÇUCU KÜL-TEKSTİL FABRİKASI ATIK KÜLÜ VE
BAZALİK POMZANIN TUĞLA ÜRETİMİNDE KATKI
OLARAK KULLANILMASI**

AHMET ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
EYLÜL 2008**

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**UÇUCU KÜL-TEKSTİL FABRİKASI ATIK KÜLÜ VE
BAZALTİK POMZANIN TUĞLA ÜRETİMİNDE
KATKI OLARAK KULLANILMASI**

AHMET ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No:

Bu Tez 19/09/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr.
Hanifi BİNİCİ
DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin TEMİZ
ÜYE

Yrd. Doç. Dr.
Hüseyin ZENGİN
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduklarını onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No:107T264

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Günümüzde Tuğlamanın Önemi.....	1
1.2. Tuğlamanın Üretilmesi.....	2
1.3. Katkı Maddeleri.....	4
1.3.1. Uçucu ve Tekstil Fabrikası Atık Külü.....	4
1.3.2. Pomza.....	5
1.4. Konunun Önemi ve Amacı.....	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	8
2.1. Kil.....	8
2.2. Pomza.....	10
2.3. Uçucu ve Tekstil Fabrikası Atık Külü.....	15
3. MATERYAL VE METOT.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Kil.....	18
3.1.1.1. Killerin Oluşumu.....	19
3.1.1.2. Killerin İçerdiği Yabancı Maddeler.....	21
3.1.1.3. İnşaat Tuğları Killeri.....	22
3.1.2. Uçucu Kül.....	24
3.1.2.1. Uçucu Külün Tanımı ve Sınıflandırılması.....	24
3.1.2.2. Uçucu Külün Minerolojik ve Kimyasal Yapısı.....	25
3.1.3. Pomza.....	26
3.2. Metot.....	29
3.2.1. Üretim Prosesi.....	31
3.2.1.1. Fabrikada Yapılan Üretim.....	32
3.2.1.2. Laboratuarda Yapılan Katkılı Tuğla Üretim Süreci.....	40
3.2.1.2.1. Beton Örneklerin Basınç Dayanımları.....	40
3.2.1.2.2. Hammaddelerin İkinci Öğütme ve Eleme İle Homojenizasyonu.....	41
3.2.1.2.3. Karışım Oran ve Miktarları.....	42
3.2.1.2.4. Malzemelerin Kimyasal İçerik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....	44
3.2.1.2.5. Malzemelerin Tanecik Dağılımı.....	45
3.2.1.2.6. Tuğla Hamurunun Hazırlanması ve Dinlendirilmesi.....	47
3.2.1.2.7. Tuğlaların Kalıplanması.....	48
3.2.1.2.8. Birinci Ön Kurutma İşlemi.....	49
3.2.1.2.9. Etüvde Ön Kurutma İşlemi.....	50
3.2.1.2.10. Pişirme Prosesi.....	51
3.2.2. Deneysel Çalışmalar.....	53
3.2.2.1. Mekanik Testler.....	53
3.2.2.2. Durabilite Deneyleri.....	54
3.2.2.2.1. Sülfat ve Nitrat Etkisi.....	55
3.2.2.2.2. Donma ve Çözülme Etkisi.....	56
3.2.2.2.3. Islanma Kurutma Çevrimleri ve Zararlı Magnezi Kireç Varlığı.....	57
3.2.2.3. Ultrasonik Ses Deneyi.....	57
3.2.2.4. Elektron Mikroskop Çalışmaları (SEM).....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	61
4.1. Fabrikada Üretilen Katkılı Tuğlalar.....	61
4.1.1. Kurutma Sonrası Yapılan Deneyler.....	61
4.1.2. Tuğlaların Mekanik Özellikleri.....	61

4.1.3. Tuğla Üretiminde Değişik Aşamalarında Meydana Gelen Zayıf Oranları.....	62
4.2. Laboratuarda Yapılan Çalışmaların Sonuçları.....	63
4.2.1. Mekanik Test Sonuçları.....	63
4.2.1.1. Kuruma - Pişme Küçülmesi Değerleri ve Zararlı Magnez ile Kireç Varlığı.....	63
4.2.1.2. Su Emme ve Birim Hacim Ağırlığı Değerleri.....	65
4.2.1.3. Basınç ve Eğilme Dayanımları ile Elastisite Modülü.....	73
4.2.1.3.1. Basınç Dayanımlarının Yorumu.....	85
4.2.1.3.2. Eğilme Dayanımlarının Yorumu.....	86
4.2.2. Durabilite Deney Sonuçları.....	87
4.2.2.1. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Etkisi.....	87
4.2.2.1.1. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Çözeltilerinde Beklenen Numunelerin Basınç Dayanımları.....	87
4.2.2.1.2. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Çözeltilerinde Beklenen Numunelerin Kütle Kayıpları.....	87
4.2.3. Donma-Çözülme Deney Sonuçları.....	104
4.2.4. Islanma-Kuruma Çevrimlerinin Sonuçları.....	113
4.2.5. Kuruma ve Pişme Prosesindeki Kütle Kayıpları.....	114
4.2.6. Ultrasonik Ses Geçişi.....	122
4.2.7. Mikroyapı (SEM) İncelemesi.....	132
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	137
6. KAYNAKLAR.....	139
ÖZGEÇMİŞ.....	149

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

**UÇUCU KÜL-TEKSTİL FABRİKASI ATIK KÜLÜ VE
BAZALTİK POMZANIN TUĞLA ÜRETİMİNDE KATKI
OLARAK KULLANILMASI**

AHMET ULUSOY

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ

Yıl: 2008, Sayfa: 149

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN

Bu çalışmanın amacı; atık uçucu-tekstil külü ve bazaltik pomzanın, yüksek kalitede pişmiş kil tuğlaların üretiminde katkı olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Katkılı/katkısız kil tuğlalar eşit miktarlarda, ayrı ve beraber olmak üzere, % 5, 10 ve 20 oranlarında kül ve bazaltik pomza katılarak üretilmişlerdir. Her numune 8 saatlik süreçlerde 700, 900 ve 1050 °C sıcaklıklarda pişirilmiştir. Kütle yoğunluğu, zararlı kireç-manyezi, rötre, su emme, basınç ve eğilme mukavemeti, donma ve çözülme testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları standart değerler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar tatmin edici bulunmuştur. Sonuç olarak tekstil külü ve bazaltik pomzanın ikisi ve belirlenen oranda uçucu külün uygun katkıları olduğu ve pişmiş tuğla üretiminde faydalı bir şekilde kullanılabileceği neticesine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu Kül; Bazaltik Pomza; Katkılar; Tuğla

T.C.
UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

MSc THESIS

ABSTRACT

**THE USE OF FLY ASHE-TEXTILE WASTE ASHES AND
BASALTIC PUMICE AS ADDITIVES IN THE PRODUCTION OF
CLAY FIRED BRICK**

AHMET ULUSOY

SUPERVISOR: Assist. Prof. HANİFİ BİNİCİ

Year : 2008, Page : 149

Committee : Assist. Prof. Dr. Hanifi BİNİCİ
Assist. Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
Assist. Prof. Dr. Hüseyin ZENGİN

The main objective of this study was to investigate the suitability of fly- textile waste ashes and basaltic pumice as additives in the production of high quality clay fired bricks. Clay bricks with/without additives were produced adding equal amounts of ashes and basaltic pumice, separately and together, with the rates of 5, 10 and 20 %. Each sample was fired at 700, 900 and 1050 °C for 8 hours periods. The bulk density, harmful magnesia and lime, shrinkage, water absorption, compressive and flexural strength, freezing and thawing tests were carried out. The test results were compared with the standard values and they were found to be satisfactory. As a result, it was concluded that both textile ashes and basaltic pumice and determined portion of fly ash were suitable additives and could be used efficiently in fired brick production.

Keywords: Fly Ash; Basaltic Pumice; Additives; Fired Brick

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazım aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Tezimin değerlendirilmesi esnasında yapmış oldukları katkılardan dolayı değerli jüri üyelerim Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN' e teşekkür ederim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen Abdulselim AKDAĞ'a ve çalışmada aynı zamanda asistan olarak görevli olan Ali Haydar AKÇAKALE' ye teşekkür ederim.

Bu çalışma 107T264 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Projeyi maddi olarak destekleyen İşçimenler Tuğla Fabrikası sahibi Mehmet İŞÇİMEN' e ve tüm fabrika çalışanlarına teşekkür ederim

Eylül 2008; KAHRAMANMARAŞ**Ahmet ULUSOY**

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Türk Standartlarına Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri.....	26
Çizelge 3.2. Pomzaların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (Erkoyun, 2005).....	27
Çizelge 3.3 Pomzanın Kullanım Alanları (Binici, 2002).....	29
Çizelge 3.4. Karışım Miktarları (g)	42
Çizelge 3.5. Bileşen Oranları	43
Çizelge 3.6. Kil, Pomza ve Uçucu Külün Kimyasal İçerikleri	44
Çizelge 3.7. Kil, Pomza ve Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri.....	45
Çizelge 3.8. Kırmızı Kilin Tane Dağılımı Değerleri.....	45
Çizelge 3.9. Uçucu Külün Tane Dağılımı Değerleri.....	46
Çizelge 4.1. Kuru Numuneler Üzerindeki Deney Sonuçları	61
Çizelge 4.2. Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	62
Çizelge 4.3. Tuğla Üretiminde Değişik Aşamalarında Meydana Gelen Zayıf Oranları	62
Çizelge 4.4. Kuruma ve Pişme Küçülmesi Değerleri	64
Çizelge 4.5. 700 °C'de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları.....	66
Çizelge 4.6. 900 °C'de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları	68
Çizelge 4.7. 1050 °C'de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları.....	70
Çizelge 4.8. 700 °C'de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	74
Çizelge 4.9. 900 °C'de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	76
Çizelge 4.10. 1050 °C'de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	78
Çizelge 4.11. 700 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	88
Çizelge 4.12. 900 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	90
Çizelge 4.13. 1050 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	90
Çizelge 4.14. 700 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	94
Çizelge 4.15. 900 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	94
Çizelge 4.16. 1050 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	95
Çizelge 4.17. 700 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	96
Çizelge 4.18. 900 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	98
Çizelge 4.19. 1050 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları	100
Çizelge 4.20. 700 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	102
Çizelge 4.21. 900 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	102
Çizelge 4.22. 1050 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Ph Değişimleri.....	103
Çizelge 4.23. 700 °C'de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi.....	106
Çizelge 4.24. 900 °C'de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi.....	108
Çizelge 4.25. 1050 °C'de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi	110
Çizelge 4.26. 700 °C'de Üretilen Tuğlaların 110 °C Etüv Sonrası ve 700 °C'de Pişirdikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları.....	115

Çizelge 4.27. 900 °C'de Üretilen Tuğaların 110 °C Etüv Sonrası ve 700 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları.....	117
Çizelge 4.28. 1050 °C'de Üretilen Tuğaların 110 °C Etüv Sonrası ve 700 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları.....	119
Çizelge 4.29. Ultrasonik Ses Geçiş Hızları.....	123

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Menzelet' Ten Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Kırmızı Kil.....	23
Şekil 3.2. Türkoğlu' ndan Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Gri Kil.....	24
Şekil 3.3. Uçucu Kül Oluşumu, Termik Santral.....	25
Şekil 3.4. Afşin-Elbistan Termik Santralinden Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Uçucu Kül.....	26
Şekil 3.5. Özgül Ağırlığı 0,5 – 1,0 gr/cm ³ Arasında Değişen Asidik Pomza.....	27
Şekil 3.6. Özgül Ağırlığı 1,0 – 2,0 gr/cm ³ Arasında Değişen Bazaltik Pomza.....	28
Şekil 3.7. Osmaniye' Den Getirilen ve Tez Numunesinde Kullanılan Bazaltik Pomza.....	28
Şekil 3.8. Ön Kırıcıya Girip Öğütülmeye Hazır Olan Kil, Pomza ve Uçucu Kül.....	32
Şekil 3.9. İkinci Öğütülme Sistemi.....	33
Şekil 3.10. Plastik Tuğla Hamurunun Hazırlanması.....	33
Şekil 3.11. Plastik Tuğla Hamurunun Stoklandığı Basınçlı Depo.....	34
Şekil 3.12. Yüksek Basınç Tankından Çıkan Hamur Tuğlaların Tel Sistemi ile Kesimi.....	34
Şekil 3.13. Otomatik Sistemde Tel Yardımı ile Kesilen ve Standart Boyut Verilen Tuğlalar....	35
Şekil 3.14. Ön Kurutmaya Gitmeden Kusurlu Örneklerin Ayrılma İşlemi.....	35
Şekil 3.15. Ön Kurutmaya Gitmeden Kusurlu Örneklerin Ayrılma İşlemi.....	36
Şekil 3.16. Ön Kurutmada İstifli Bir Şekilde Bekletilen Tuğlalar.....	36
Şekil 3.17. Güneşe Kapalı Ön Kurutma İşlemi.....	36
Şekil 3.18. Ön Kurutmada Bekletilen Tuğlaların İkincil Kurutma İşlemi İçin Ön Fırına Girdirilmesi İşlemi.....	37
Şekil 3.19. İkinci Kurutma İşleminde Sonra Fırından Çıkan Numuneler.....	38
Şekil 3.20. Ana Fırında Pişirilmek Üzere İstiflenen Tuğlalar.....	38
Şekil 3.21. İstiflenmiş Tuğlaların Fırına Konduktan Sonra Kapıların Sıvanmış Hali.....	39
Şekil 3.22. Tuğlaların Pişirilmesinde Kullanılan ve Otomatik Olarak Gönderilen Çok Küçük Taneli Kömür Küllerinin Bulunduğu Basınçlı Silolar.....	39
Şekil 3.23. Fırından Çıkan Tuğlalar.....	40
Şekil 3.24. Malzemelerin Kırıcıdan Geçirilmesi.....	40
Şekil 3.25. Malzemelerin Laboratuara Taşınması.....	41
Şekil 3.26. Öğütülen ve Elenen Hammaddeler.....	41
Şekil 3.27. Yapılan Çalışmalar.....	46
Şekil 3.28. Tuğla Hamuru İçin Hazırlanan Numuneler.....	47
Şekil 3.29. Tuğla Hamurunun Hazırlanması.....	47
Şekil 3.30. Dinlendirilen Tuğla Hamurları.....	48
Şekil 3.31. Tuğla Hamurunun Çimento Kalıplarına Konulması.....	48
Şekil 3.32. Tuğla Hamurunun Standart Tuğla Kalıbında Konulması.....	49
Şekil 3.33. Vakum Cihazı.....	49
Şekil 3.34. Tuğla Numunelerinin Ön Kurutulması.....	50
Şekil 3.35. Tuğla Numunelerin Etüvde Kurutulması.....	50
Şekil 3.36. Tuğlaların Fırında Pişirilmesi.....	51
Şekil 3.37. Değişik Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğlaların Renkleri ve Görüntüleri.....	52
Şekil 3.38. Eğilme Test Cihazı.....	53
Şekil 3.39. Basınç Test Cihazı.....	54
Şekil 3.40. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Ortamında Bekletilen Numuneler.....	55
Şekil 3.41. Donma-Çözülme Testi.....	56
Şekil 3.42. Numunelerin Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulması.....	59
Şekil 3.43. Numunelerin Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulması.....	59
Şekil 3.44. Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulan Numuneler.....	59
Şekil 4.1. Zararlı Magnez ve Kireç Deneyinden Sonraki Numunelerin Görünümü.....	65
Şekil 4.2. Tekstil Fabrikası Atık Külü + Pomza, Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımları.....	80

Şekil 4.3. Tekstil Fabrikası Atık Külü + Pomza, Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkılı Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	81
Şekil 4.4. Uçucu Kül + Pomza, Uçucu Kül ve Pomza Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımları.....	81
Şekil 4.5. Uçucu Kül + Pomza, Uçucu Kül ve Pomza Katkılı Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	82
Şekil 4.6. 700 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları	82
Şekil 4.7. 900 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları	83
Şekil 4.8. 1050 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları	83
Şekil 4.9. 700 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları.....	84
Şekil 4.10. 900 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları.....	84
Şekil 4.11. 1050 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları.....	85
Şekil 4.12. Donma-Çözülme Çevriminde Dağılan Tanık Numuneler	104
Şekil 4.13. Donma-Çözülme Çevriminde Dağılan Uçucu Kül Katkılı Numuneler	104
Şekil 4.14. Donma-Çözülme Çevriminde Etkilenmeyen Numuneler	105
Şekil 4.15. Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları	112
Şekil 4.16. Donma-Çözülme Sonrası Kütle Kayıpları	113
Şekil 4.17. Islanma-Kuruma Çevrimi Sonucunda Numunelerin Görünümü	114
Şekil 4.18. Tuğlaların 110 °C Etüv Sonrası ve 700 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları	121
Şekil 4.19. 700 °C de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları.....	124
Şekil 4.20. 900 °C de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları.....	125
Şekil 4.21. 1050 °C de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları.....	125
Şekil 4.22. Tanık Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	126
Şekil 4.23. 5P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	126
Şekil 4.24. 10P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	127
Şekil 4.25. 20P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	127
Şekil 4.26. 5TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	127
Şekil 4.27. 10TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	128
Şekil 4.28. 20TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	128
Şekil 4.29. 5TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	128
Şekil 4.30. 10TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	129
Şekil 4.31. 20TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	129
Şekil 4.32. 5UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	129
Şekil 4.33. 10UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	130
Şekil 4.34. 20UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi	130
Şekil 4.35. 5UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	130
Şekil 4.36. 10UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	131
Şekil 4.37. 20UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi.....	131
Şekil 4.38. 700 °C de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü.....	132
Şekil 4.39. 900 °C de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü.....	132
Şekil 4.40. 1050 °C de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü.....	133
Şekil 4.41. 700 °C de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü	133
Şekil 4.42. 900 °C de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü	133
Şekil 4.43. 1050 °C de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü	134
Şekil 4.44. 700 °C de Pişirilen 5TK Örneğin SEM Görüntüsü	134
Şekil 4.45. 900 °C de Pişirilen 5TK Örneğin SEM Görüntüsü	134
Şekil 4.46. 1050 °C de Pişirilen 5UK Örneğin SEM Görüntüsü	135
Şekil 4.47. 900 °C de Pişirilen 5UKP Örneğin SEM Görüntüsü	135
Şekil 4.48. 900 °C de Pişirilen 5TKP Örneğin SEM Görüntüsü.....	135

SİMGELER VE KISALTMALAR

N/mm²	: Basınç Dayanım Birimi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
MPa	: Mega Pascal
µm	: Micron Metre
ASTM	:Amerikan Test Ve Materyalleri Topluluğu
CaO	: Kalsiyum Oksit
Al₂O₃	: Alümin
SiO₂	: Silis
TS	: Türk Standartları

1. GİRİŞ

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeyi, sanayi ürünlerinin miktarı, bu ürünlerin tüketim oranı ile doğrudan ilgilidir. Dünyadaki en gelişmiş ülkeler sanayi bakımından önde olan ülkelerdir. Ülkelerin ihracatında sanayi maddeleri oranı ne kadar çoksa o ülke o kadar gelişmiş demektir. Türkiye ekonomisinde sanayi faaliyetlerinin yeri her geçen gün artmaktadır. İnsanlar barınmak, çalışmak, eğlenmek, kısacası yaşamak için çeşitli yapılara ihtiyaç duyarlar. Bu yapıların amaca uygun, güvenli, ekonomik ve güzel görünümlü olması istenir. Başka bir deyişle, yapı hangi amaç için planlanmış ise, o amaç için kullanılabilmesi, kullanım sırasında veya zamanla yıkılmadan, aşırı bir deformasyona uğramadan, güvenli bir şekilde ayakta durabilmelidir. Yapı bu işlevleri yerine getirirken aynı zamanda ekonomik ve estetik bir görünüme de sahip olmalıdır. Doğal afetler karşısında büyük hasarların ortaya çıktığı yapılarda göze çarpan en önemli kusurlardan birisi de, yapıda kullanılan malzemelerin niteliklerinin kendisinden beklenen görevleri güvenle yapabilecek düzeyde olmamasıdır. Bu sebeple, yapılarda ortaya çıkabilecek yıkım ve hasarların önlenmesi, ancak kullanım amacına uygun nitelikteki malzemelerin seçilerek kullanılması ile mümkündür. Yapılarda kullanılan malzemelerin istenilen niteliklere sahip olabilmesi için; malzemeyi oluşturan ham maddenin iyi seçilmesi, uygun yöntemler ile üretilmesi ve üretilen malzemede aranan özelliklerin bilinmesi gerekir. Gerek güvenlik gerekse de kullanım ömrü açısından bir malzemenin bilinmesi gereken en önemli özelliği, o malzemenin herhangi bir yük altında veya uygun olmayan koşullarda gösterdiği davranıştır. Herhangi bir amaç için en uygun malzeme, yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip olan, güzel görünen ve en ucuz mal olan malzemedir (Örüng ve Ark., 1997).

1.1. Tuğlanın Önemi

Çeşitli yapı malzemeleri arasında yapılarda çok eski zamanlardan beri kullanılan pişmiş toprak malzemeler günümüzde de önemini kaybetmemiştir. Pişmiş toprak malzemeler gerek ucuz, gerekse temininin ve yapıda kullanımının kolay olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler içerisinde ise en başta tuğla gelmektedir. Son yıllarda hızla gelişen sanayi kollarından olan tuğla imalatı da Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Tuğla ham maddesi kil olan ve en çok inşaat sektöründe kullanılan malzemeler üretilmektedir. Tuğla suya dona ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapı malzemesi olarak kullanılan temel bir maddedir. Tuğla, dünya tarihinde imalatı yapılan ilk yapı malzemesidir (Görçiz, 2000).

Keşfedildiği günden bugüne dizaynı ve boyutları değişmekle birlikte hiçbir zaman vazgeçilemeyen bir malzeme olma özelliğini korumuştur. Tuğlanın ham maddesi olan killi toprak doğallığı ve ucuzluğu ile yerine alternatif bir malzemenin geçmesine engel olmuştur. Tarihteki ilk uygarlıklarda pişmemiş kil tabletler günümüzdeki tuğlalara benzer boyutlarda ve elle şekillendirilerek kullanılmıştır. Ancak daha sonra insanlar daha sağlam binalara ve yüksek kuleler inşa etmek istemişler ve pişmiş tuğla M.Ö. 4. yüzyılda kullanılmaya başlamıştır (Görçiz, 2000).

1.2. Tuğlanın Üretilmesi

Tuğla, uygun toprağın bulunduğu her yerde kolaylıkla üretilmesi, birim ağırlığın taş ve betona göre daha az, ısı yalıtımının daha yüksek olması, standart boyutları sebebiyle kolay kullanılması ve duvar kalınlığının ince tutulması ile yapının yararlı alanının artırması gibi faydaları vardır. Ayrıca tekniğine uygun üretildiğinde basınç dayanımları, su emme, dona dayanıklılık ve dış etkilere dayanıklılıkları oldukça yüksektir. Bu sebeplerle özellikle düşük katlı karkas veya yığma şeklindeki yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlaların, üretiminin başlangıcından, bitirilmiş yapının kabulüne hatta daha sonrası için de özelliklerinin deneysel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993; Kocataşkın, 1975; Görçiz, 2000).

Kil minerali içeren, belli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen, şekillenme özelliğine sahip ve 900–1000 °C’de pişirildiğinde, çatlamadan sertleşebilen bütün topraklar, tuğla hammaddesi olarak kabul edilir. Tuğla toprağı genellikle illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvarz, demir mineralleri, az miktarda organik maddeler ve suda çözülebilen tuzlar ihtiva ederler. Kil minerallerinin en önemli özelliği belirli oranda su ile (% 25–35) karıştırıldığında plastik hale gelmesi, şekillenebilmesi ve kurutulup pişirildikten sonra dayanıklı bir malzeme yeteneğinin olmasıdır. Kil içinde bulunan silisli, demirli ve alkali bileşikler plastikliğini ve ateşe dayanma yeteneğini azaltırlar (Köktürk, 2002).

Seramik killere göre farkları tuğla killerinin demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Bu topraklar kil, çorak, mil, silt, lem, balçık gibi isimler altında da tanınırlar. Bu toprakların içinde kuvars, montmorillonit, kaolinit, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulunur. Toprakların bir kısmı ise amorf yapıdaki killere oluşur. Tuğla-kiremit hammaddesi olarak kullanılacak olan killerde istenen birtakım fiziksel ve mekanik özellikler vardır. Bunlar plastiklik suyu % 25–35, pişme rengi koyu kırmızı (% 5 Fe), tane boyut dağılımı +3 mm’de max. % 1, gerekli su miktarı % 20–30, sertlik 3–5 (Mohs), küçülme hacim kaybı % 6 (rötre), çekme dayanımı, sıcakta ergime ve su emme % 10–15 olarak verilebilir. Tuğla-kiremit üretiminde kullanılan killerin kimyasal yapıları da önemlidir. Kimyasal yapıda ortalama % 42–64 SiO₂, % 15–20 Al₂O₃ ve % 8 CaO bulunmalıdır. Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) miktarı % 35’in altında % 25–30’dan fazla olmamalıdır (DPT, 2001).

Kalker iri parçalar halinde bulunduğu zaman fırında yanmış kireç, daha sonra da nemin etkisiyle sönmüş kireç haline gelir. Bu durum hacim büyümesine neden olduğundan zararlıdır. Tuğla-kiremit imalinde kullanılacak hammaddelerde doğal olarak bulunan kum genellikle çok incedir ve taneleri 10–40 mikron çapında olup gözle görülmez. Miktar olarak % 30–40 civarında bulunup çoğunlukla mika pulları ihtiva eder. Tuğla üretiminde %20–30, kiremit üretiminde de %10–20 kuvars kumu karıştırılır. Demir çoğunlukla demiroksit ve hidratları şeklinde bulunup, kilin kütlesine dağılmıştır. Pişmiş toprak malzemeye kırmızı rengi veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Toplam demir oksit ve hidratları % 8–10’u geçmemelidir. Killerin mavi, yeşil, gri, ve siyah renklerde bulunması çoğunlukla içerdikleri organik madde miktarına bağlıdır. Pişme sırasında bu organik maddeler 400 °C’den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri bırakır. Organik maddenin olabildiğince az bulunması hem tuğlanın görünümü ve hem de dayanımı yönünden yararlıdır. Genellikle sülfat ve klorür tuzlarının % 1,5’in altında

bulunması iyi kalitede tuğla ve kiremit üretimi için şarttır. Fazla miktarda bulunan eriyici tuzlar ürün tuğlanın, kullanımında çiçeklenmesi ve yüzeyden dökülmesine yol açar (Kılıç, 2003).

Tuğla, killi toprağın su ile hamur şekline getirilip, şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra özel ocak ve fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900–1300°C) pişirilmesi ile elde edilen bir malzemedir (Yüksel ve Şişman, 2003).

Tuğlanın özellikleri tuğla toprağının karışım oranına (kum-kil), üretim tekniğine, pişirilme şekline ve pişirildiği sıcaklık derecesine göre değişir. Ülkemizde tuğla üretimi el ile harman tuğlası veya fabrika tuğlası olarak üretilmektedir. Genel olarak harman tuğlası düşük dayanımları sebebiyle az katlı yapılarda bölme duvarların yapımında, fabrika tuğlası ise hem bölme hem de taşıyıcı duvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fabrika tuğlalarının üretim aşamalarındaki farklı ham madde ve karışım oranı, farklı pişirme sıcaklığı ve farklı tip fırınlama teknikleri sebebiyle tuğlalar çok değişik dayanım gösterirler (Özçelik, 1975).

Tuğla üretimi genel olarak hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma ve pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Hammaddenin hazırlanması aşamasında, tuğla üretiminde kullanılan killerin gerek boyut gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip olması için bir dizi ön hazırlık aşamasıdır. Bu aşamada, hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi, homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleştirilmesi için iri taşlar ve çöpler ayıklandıktan sonra istenilen tane çapına kadar öğütülmesi gerekir. Öğütme işleminin ardından harmanlama (tebeşir, kireç, kum, kömür külü gibi) ve su ilave edilerek istenilen kıvama kadar yoğurma yapılır. Yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir (Dönmez, 1993).

Hammadde aşamasının sonunda şekillendirmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğla elde edilmektedir. Şekillendirme makine ile yapılabilmektedir. Mekanik yapılan tuğlalarda presleme ve extrude (telle kesme) yöntemleri kullanılmaktadır (Dönmez, 1993).

Şekillendirilmiş tuğlaların pişirme öncesi belirli bir mukavemet kazanmaları ve pişirme sırasında şekil değiştirme (rötre) ve çatlamayı engellemek için kurutulması gerekir. Kurutma işlemi normal atmosferik şartlarda doğal olarak yapılabileceği gibi, sıcaklığın ve nemin kontrol altında tutulabildiği özel kurutma odalarında da yapılabilir (Öneş, 1988).

Tuğla üretimindeki en son aşama pişirmedir. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300°C civarında organik maddeler tamamen yanar, 550°C de molekül suyu bileşimi terk ederek, karışım silis ve alümin haline ayrışır ve 550–900°C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin silikati ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşur. Bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Pişirme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emmesini azaltmakta ve birim ağırlığını arttırmaktadır. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın

camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme sıcaklığının 900–980°C arasında olması istenir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Türkiye’ de şehirleşme hareketlerinin 1950’ li yıllardan sonra hızlanması tuğla sanayisinin gelişme göstermesine neden olmuştur. Özellikle 1980’ den itibaren tuğla üretimi önemli bir artış göstermiştir. Ülkemizdeki ortalama yıllık tuğla üretimi 1.010.000. 000 adet civarındadır. Bu üretimin büyük bir çoğunluğu özel sektör arayıcılığı ile yapılmaktadır (Şahin, 2001).

1.3. Katkı Maddeleri

Günümüzde insanoğlunun gerek hayatını kolaylaştırmak, gerek daha iyi hayat koşullarında yaşamasını sağlamak için teknoloji ve bilim sürekli atak halindedir. Bu aşamadan insanoğlunun yaşamını sürdürmesi bakımından barınma ve yaşama mekanı olarak yapılaşmada nasibini almaktadır. Daha iyi, rahat, güvenilir yapılarda yaşayabilmek için yapı malzemeleri de her geçen gün geliştirilmektedir. Yapılaşmada en önemli unsurlardan biri olan tuğlalar da gerek hammaddesi, gerekse alternatifleri artan ve sürekli geliştirilen katkı maddeleri ile daha iyi hizmet vermeye yöneltilmektedirler. Günümüzde sıkça kullanılan katkı maddelerine uçucu kül, pomza, bor, perlit vs. gibi örnekleri verebiliriz.

1.3.1. Uçucu ve Tekstil Fabrikası Atık Külü

Endüstrileşmenin olumsuz sonuçlarından birisi de atık problemidir. Sanayide bazı ürünlerin elde edilmesi sırasında tesiste işe yaramayan ve üretim atığı olarak adlandırılan bazı malzemeler ortaya çıkar. Özellikle inşaat sanayinin ciddi anlamda gelişmeler gösterdiği 70’ li yılların ikinci yarısından sonra bu malzemelerin bir çoğu sektörde değerlendirilmeye başlanmıştır. Öyle ki daha önceleri hiçbir yerde değerlendirilemeyip atılan, stoklanmasında problemler yaşanan birçok atık malzeme günümüzde nerdeyse bazı sektörlerin arandığı bir hammaddesi haline gelmiştir. Bu atıkların değerlendirilmesiyle; atık depolama sorunu çözümlenmiş ve atık malzemenin kullanılmasıyla birlikte teknik yönden daha üstün özellikleri olan malzemeler ekonomik olarak elde edilmiştir (Uğurlu ve ark., 2004).

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 alınır. Baca gazları ile sürüklenerek ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolanik özellik kazanan uçucu küllerin boyutları, yaklaşık 1-100 µ m arasında olup, aglomera ve küresel tanecikler şeklinde bir yapıya sahiptir. Tuğla üretiminde kullanılan küller SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, K₂O ve Na₂O den meydana gelmektedir. Uçucu küllerde aynı oksitleri içerdikleri için tuğla üretiminde kullanılabilirler. Uçucu küllerin tuğlalarda kullanılması ile, tuğlaların kuruma ve pişme küçülmeleri azalmaktadır. Aynı zamanda uçucu küllerin içerdikleri karbon, tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır (Öztürk, 2001).

Termik santrallerde elektrik enerjisi üretmek amacı ile kullanılan pulverize kömürden yanma sırasında baca gazları ile taşınan küller oluşur. Uçucu küller, bu küllerin mekanik veya elektrostatik filtrelerde tutulması sonucu ortaya çıkan atık ürünlerdir. Bu atık ürünün silis ve alümin içermesi, inşaat sektöründe kullanılabilirliğini mümkün kılmıştır. Uçucu küllerin özellikleri ve bileşimleri üzerinde elde edildikleri kömürün önemli etkisi vardır. Taş kömüründen elde edilen ve SiO_2 ağırlıklı olan ve bir miktar Al_2O_3 bulunduran, ancak CaO oranı çok düşük olan küllere silikoalüminöz adı verilir. Öte yandan özellikle linyit kömürü yakılmasından oluşan küllere, bileşimlerine bağlı olarak silikokalsik veya sülfokalsik denir. Silikokalsiklerde SiO_2 oranı daha yüksek bulunurken bu her iki tip külde de önemli miktarda CaO yer alır. Sülfokalsikler CaO ' e ek olarak SiO_3 de içerirler. ASTM C 168 standardı uçucu külleri iki ana sınıfa ayırmaktadır. Bu sınıflamada $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \% 50$ olanlar C sınıfı olarak kabul edilmektedir (Erdoğan, 2003).

Uçucu külün tuğla yapımında kullanımı ile bu atık malzemenin doğaya verilerek çevre kirlenmesinin engellenmesinin yanı sıra: külün ekonomik değer kazanması, değirmende öğütme kolaylığı sağlaması, kalıplama ve presleme için daha az güç gereksinimi, kolay kuruma gibi avantajlar elde edilecektir. Uçucu küllü tuğla yapımında kullanılacak külün karıştırılacağı kilin özellikleri önemlidir. Karıştırılacak malzeme ve oranları deneysel olarak saptanmalıdır. Uçucu kül, kil ile karıştırıldığında kilin porozitesini artırıp yoğunluğunu ve karışım suyunu ve pişme sırasında ısı tüketimini azalttığından tuğla üretiminde kullanılabilir (Güzel, 2003).

Uçucu küllerin inşaat mühendisliğinde önemli uygulama alanları vardır. Örneğin çimentoya belli oranlarda katıldıkları gibi, çimentonun son üretim aşamasında klinkere katılabilir ya da çimentoya kullanım aşamasında belli oranlarda katkı maddesi olarak eklenebilir. Bunu yanında çimento özelliklerini iyileştirici yönde, örneğin hidrasyon ısısının düşürülmesi, beton işlenebilirliğinin geliştirilmesi, alkali reaksiyonunun azaltılması gibi etkileri de vardır. Tüm bu kullanım şekillerinde kendisinin bir atık madde olması nedeniyle maliyetin düşmesinde önemli katkı yapar. Bununla birlikte gaz betonu üretimi, kile katılarak ya da aktive edici maddelerle birlikte tuğla üretimi, hafif agrega üretimi, zemin stabilizasyonu, yol inşaatı, baraj inşaatında sıkıştırılmış beton çalışmalarında da kullanılmaktadır (Türker ve ark., 2004).

1.3.2. Pomza

Pomza İtalyanca bir deyimdir. Akıcı lavların püskürmesi sürecinde içermiş olduğu gazların, ani soğuması sonucu bünyeyi terk etmesi halinde geriye kalan gözenekli (boşluklu) bir camdır. Yoğunluğu 1 gr/cm^3 (suda yüzer), Mohs sertliği 6 dır. Kristal suyu yoktur. Volkanik camda % 5 kristal su içerir, 800-900 °C de uzaklaşır. Birbiri ile ilintisi olmayan boşluklar içerir. Pomza mikroskop altında "Hyplopilitik Camsal" özellik gösterir. Fakat volkanik cam değildir. Oluşum-Volkanizma: 150 bin yıl önce volkanik faaliyetler (genç püskürmeler) sonucudur. Yüksek sıcaklıkta oluşur, bu koşullarda bazı elementler gaz haline geçer. Çok küçük birbirinden ayrı boşluklar oluşur. Sulu ortamda asit volkanizma ürünüdür. Oluşumu kontrol eden faktörler şunlardır: Asidik magma ısısının çok yüksek olması, lavların "püskürme" ile çıkması, gaz oranının yüksek olması, soğuma sürecinde bünyeyi terk etmesi. Çok hafif olmaları nedeniyle volkanlar etrafında "kubbe" şeklinde yığılırlar. Rüzgar ve su ile taşınır, göl ortamında çökerek "tortul pomza" yatakları oluşur. 50-100 km uzaklara kadar taşınır (Uz, 1997).

Volkanik bir bacadan patlama ve püskürme ile çıkan küller karada veya denizde yığılım gösterirler. Tane boyutu 4 mm' den küçük tanelerden oluşmuş kırıntılı volkanik kayalara yaygın olarak tuf adı verilmiştir. Ana bileşenleri volkanik cam, mineral taneleri (kuvars, kil) veya kaya kırıntılarıdır. Tüfleri her zaman ilk depolandıkları yerde ve konumda bulmak mümkün değildir. Gözenekli yapıları ve stabil olmayan minerallerden oluşmaları kolay bozulmaya neden olur. Hava koşullarının etkisi ile ayrışma ve bozuşma çok hızlı gelişir ve bozuşma ilerledikçe taneler ilk boyutlarından daha da küçülürler (Alev, 1987).

Volkanik hareketlerle parçalanmış doğal puzolanlar betonun özelliklerini artırmaları için doğal mineral karışımlardır. Bunlar silikat mineraller ve volkanik cam mineralleri tarafından zengindirler ve çimentomsu özellikleri göstererek suyun varlığında bileşenleri şekillendirmek için toz haline getirildikleri zaman kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerler. Tüfler kireç taşları ile beraber karışımlarda, diğer Akdeniz ülkelerinde olduğu gibi Türkiye' de de çok eski zamanlardan beri yıllarca kullanılmıştır. Türkiye bazaltik pomza olarak da anılan doğal pomza kaynakları açısından son derece zengindir. Ülkenin yaklaşık 155000 m² si Üçüncü ve Dördüncü çağ volkanik kayalarla kaplıdır ki bunlardan yüksek miktarlarda tüfler elde edilir. Bu volkanik kayalar üzerine birçok araştırma yapılmasına rağmen doğal puzolan olarak bunların potansiyelleri tam olarak saptanmamıştır. Bazaltik pomza çekirdekleri Dördüncü çağ birikimleridir ve Çukurova bölgesinde yer almışlardır. Yaklaşık olarak rezervleri 1 000 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Pomza ortalama olarak % 85 volkanik cam ihtiva eder. Bazaltik pomzanın fazla miktarda gözenekliliği kolay ve ekonomik kırılma için bir avantajdır. Puzolonik katkılar mekanik dayanıklılık, işlenebilirlik ve ekonomiyi artırmak için kullanılırlar (Binici ve ark., 2008).

1.4. Konunun Önemi ve Amacı

Çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki termik santrallerin yan ürünü olan ve aynı zamanda çevresel kirlilik oluşturan bir malzemenin, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılmasıdır. Bu sayede ülke ekonomisine önemli katkı sağlanacaktır. Ayrıca Kahramanmaraş'ta bulunan tekstil fabrikaları ısıtma işlemlerinde linyit kömürü kullanmaktadır. Bu kömürlerin atık külleri ise birçok çevresel problem yaratmaktadır. Çalışma ile bu küllerin değerlendirilmesi de amaçlanmaktadır.

Pomza, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, süngerimsi, bol gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır da denilebilir. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların, ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir (Gündüz ve ark., 1998).

Bölgede bazaltik pomza ve kil bol miktarda bulunmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılacak, uçucu kül, tekstil fabrikası atık külü, bazaltik pomza ve kil temin edilmiştir. Temin edilen malzemelerinin kimyasal içerikleri ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Katkısız ve değişik oranlarda katkılı tuğla üretilmiştir. Üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca tuğlaların nitrat ve sülfata dayanıklılıkları tespit edilmiştir. Tuğlaların değişik iklim koşullarındaki davranışları deneysel olarak ortaya

konulmuştur. Katkılı ve katkısız tuğla örneklerinin mineralojik ve mikromorfolojik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma ile ülke ekonomisine önemli katkı sağlanacaktır.

Uçucu kül ile birlikte, yüksek oranda silisyum içeren ve ülkede çok miktarda bulunan pomzaların da tuğla üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye genelinde birçok bölgede bazaltik pomza rezervi bulunduğu bilinmekle birlikte bunlardan pek azı ticari olarak işletilmekte ve farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bunun çeşitli sebeplerinden birisi bazaltik pomzanın özellikle iç pazar açısından tüketim alanlarının ve bu alanlarda kullanılan miktarların az oluşudur. Yapılan çalışma ile, bazaltik pomzanın yapı malzemeleri sektöründe daha yaygın kullanımıyla Türkiye'deki bazaltik pomza tüketiminin artırılması amaçlanmaktadır. Aynı şekilde yukarıda da açıklandığı gibi Türkiye'deki birçok termik santralin uçucu külleri artık ciddi anlamda hem depolama sorunu yaratmakta hem de çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Bu proje ile sözü edilen problemler azaltılarak uçucu kül ekonomiye kazandırılacaktır.

Zaten pişmiş olan uçucu kül ve bazaltik pomzanın tuğla üretiminde kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanırken, aynı zamanda pişirme esnasında atmosfere verilen zararlı gazlar önlenmiş olacaktır. Böylece çevre kirliliğinin önlenmesine de katkı sağlanabilecektir. Diğer taraftan tuğla üretiminde maliyetin düşürülmesine katkıda bulunulacaktır.

Bu çalışmada, tuğla üretiminde farklı oranlarda sadece pomza, sadece uçucu kül, sadece tekstil fabrikası atık külleri ve bunların ikili karışımları kullanılarak, yapılan araştırmalarla yukarıda bahsedilen faydalardan en iyi şekilde yarar sağlayacak katkı oranı bulunmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Kil**

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

Öneş (1988), “şekillendirilmiş tuğlaların pişirme öncesi belirli bir mukavemet kazanmaları ve pişirme sırasında rötne ve çatlamayı engellemek için kurutulması gerekir. Kurutma işlemi normal atmosferik şartlarda doğal olarak yapılabileceği gibi, sıcaklığın ve nemin kontrol altında tutulabildiği özel kurutma odalarında da yapılabilir” saptamalarında bulunmuştur.

Tokyay ve Çetin (1991), çalışmasında “tuğla yapımında kullanılan ideal kil, içerisinde % 15'den fazla kalker ve bitkisel atıklar bulunmayan, yarı yağlı olarak tanımlanan kildir. Kullanılacak kilin kimyasal yapıdan çok mekanik özellikleri önemlidir. Kullanılacak tuğla malzemesi suyla yoğrulduğunda kolayca şekil alabilmeli ve içindeki suyu kaybettiği zaman bu halini koruyabilmelidir. Şekillendirilerek kurutulan malzeme pişirilmeden önce şekil yapısını koruyacak düzeyde dayanıklı olmalı, pişirme sonrasında hacim küçülmesi oldukça sınırlı, maksimum % 5 civarında olmalıdır. Üretilen tuğla kullanım alanında öngörülen dayanım değerlerine sahip olmalıdır” tespitlerinde bulunmuştur.

Dönmez (1993), tuğlanın imal aşamasında “yoğrulan hammadde dinlendirilerek, çamurun bir miktar direnç kazanması sağlanır. Dinlendirme, malzemenin kalitesini etkileyen önemli bir unsur olduğu için hammadde hazırlama aşamalarının en önemlisidir. Hammadde aşamasının sonunda şekillendirmeye uygun bir nitelik kazanan hamur, değişik yöntemler kullanılarak şekillendirilmekte ve değişik biçim ve boyutlarda yarı mamul tuğla elde edilmektedir. Şekillendirme el ile veya makine kalıplama yöntemleriyle yapılabilmektedir. Mekanik yapılan tuğlalarda presleme ve telle kesme yöntemleri kullanılmaktadır” açıklamalarında bulunmuştur.

Ekmekyapar ve Örüng (1993), yapmış oldukları çalışmada “tuğla üretimindeki en son aşama pişirmedir. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300°C civarında organik maddeler tamamen yanar, 550°C da molekül suyu bileşimi terk ederek, karışım silis ve alümin haline ayrışır ve 550–900°C arasında silis ve alümin tekrar birleşerek metakaolin silikati ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) oluşur. Bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli bir mukavemeti ve rengi olan tuğladır. Pişirme sıcaklığının artması tuğlanın mekanik dayanımını arttırmakta, su emmesini azaltmakta ve birim ağırlığını arttırmaktadır. Ancak çok yüksek pişirme sıcaklığı tuğlanın camlaşmasına ve harca yapışma özelliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle pişirme sıcaklığının 900–980°C arasında olması gerekir” saptamalarında bulunmuştur.

Bagur (2000), çalışmasında kil karışımlarında, tuğla üretimlerinde genelde çeşitli sonuçlar için farklı katkılarla birlikte kullanıldığını, yanma işlemi ile tuğlanın neticeyi özellikleri belirlemiş olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmasında yüksek ses ve mekanik testler istatistik bir araç olan, çeşitliliğin analizi (ANOVA) ile birleştirilmiştir. Bundaki

amaç küçük miktarda katkıları ihtiva ederek, yerel kil karışımlarından üretilen katı tuğlanın mineralojik ve fiziksel karakteristiklerini analiz etmektir. Bunlar daha sonra 850 den başlayan ve 1100 °C ye varan farklı sıcaklıklarda fırınlanmıştır. “Dayanım azitropiği” olarak tanımlanan yeni bir parametre istatistiksel yorumları basitleştirmek için formülize edilmiştir. Ayrıca bir iki-yönlü ANOVA etkileşim analizleri, tuğlanın teknik kalitesi üzerinde etkili olan seçilmiş etkenleri (katkıların ilavesi/yokluğu ve yanma ısısı) değerlendirmek için kullanıldığını belirtmektedir.

DPT (2001), “tuğla-kiremit imaline uygun topraklar kumlu kil olarak da adlandırılabilir. Seramik killerinden farkları bunların demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Bu topraklar kil, çorak, mil, silt, lem, balçık gibi isimler altında da tanınırlar. Bu toprakların içinde kuvars, montmorillonit, kaolinit, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulunur. Toprakların bir kısmı ise amorf yapıdaki killerden oluşur. Tuğla-Kiremit hammaddesi olarak kullanılacak olan killerde istenen birtakım fiziksel ve mekanik özellikler vardır. Bunlar plastiklik suyu % 25–35, pişme rengi koyu kırmızı (% 5 Fe), tane boyut dağılımı +3 mm’de max. % 1, gerekli su miktarı % 20–30, sertlik 3–5 (Mohs skalası), küçülme hacim kaybı % 6 (rötre), çekme dayanımı, sıcakta ergime ve su emme % 10–15 olarak verilebilir. Tuğla-kiremit üretiminde kullanılan killerin kimyasal yapıları da önemlidir. Kimyasal yapıda ortalama % 42–64 SiO₂, % 15–20 Al₂O₃ ve % 8 CaO bulunmalıdır. Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) miktarı % 35’in altında % 25-30’dan fazla olmamalıdır” olduğunu belirtmektedir.

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

Yüksel ve Şişman (2003), yapmış oldukları çalışmada, tuğlanın, killi toprağın su ile hamur şekline getirilip, şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra özel ocak ve fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900–1300°C) pişirilmesi ile elde edilen bir malzeme olduğunu ifade etmiştir.

Şişman ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada tuğlanın özellikleri tuğla toprağının karışım oranına (kum-kil), üretim tekniğine, pişirilme şekline ve pişirildiği sıcaklık derecesine göre değişmekte olduğunu belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında “tuğla üretimi genel olarak hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma ve pişirme aşamalarından oluşmaktadır. Hammaddenin hazırlanması aşamasında, tuğla üretiminde kullanılan killerin gerek boyut, gerekse bileşim olarak uygun özelliklere sahip hale getirilmesi gerekir. Bu aşamada, hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi, homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için istenilen tane çapına kadar öğütülmesi gerekir” ifadelerinde bulunmuşlardır.

Chih-Huang (2003), çalışmasında endüstriyel atık su işlem tesislerinden toplanan kurutulmuş çamurdan üretilen tuğlaları araştırmıştır. Testlerin sonuçları göstermiştir ki, çamur oranı ve yanma sıcaklığı tuğla kalitesini belirleyen iki faktör olmuştur. Çamur ihtivasını artırmak tuğlanın rötresi, su emilimi ve basınç mukavemetinde azalmalara neden olmuştur. Tutuşma anındaki ağırlığın azalışı, yanma işlemi süresince yanmakta bulunan ve çamur içerisinde bulunan organik madde ihtivasıyla aslen alakalıdır. Tuğlalara katılan % 20 oranında çamur ile 960 °C ve 1000 °C de ölçülen mukavemet Çin Uluslar arası Standartlarını karşılamıştır. Tuğlanın zehirli karakteristik filtreleme yöntem testleri ayrıca metal erimesinin düşük olduğunu göstermiştir. İyi kalitede tuğlalar üretmek için iyi şartlar; % 24 nem ile % 10 çamuru ihtiva eden kalıplaştırılmış karışımlar ve 880 °C – 960 °C de olan ısıtma olduğunu belirtmiştir.

Custodio-Garcia (2004), bina yapımı ile ilgilenen bir kişinin sıcak veya nemli bölgelerde modern yapı blok malzemeleri veya geleneksel olarak kullanılan kırmızı pişmiş kil tuğla malzemesinin kullanımı konusunda belirli kararlarla yüz yüze geldiğini, bu çalışmada duvarlarda kullanılan bu her iki malzemenin mekanik ve ısı kontrollü ölçümleri üzerinde çalışıldığını belirtmiştir. Ve bu çalışmada eski geleneksel pişmiş kil tuğlanın kullanımı merkez Tobasco' daki hava koşulları dikkate alınarak maliyet açısından mükemmel bir alternatif ve yapılar için enerji tasarrufu ortaya koyduğunu belirtmektedir.

2.2. Pomza

Akman (1994), yapmış olduğu çalışmada tarihte Horasan harcı olarak bilinen malzemenin Orta Asya'da yaygın olarak kullanıldığını ve bazı gelişmekte olan ülkelerde maliyetlerin düşük olmasından dolayı bu malzemenin halen kullanıldığını tespit etmiştir. Örneğin, Endonezya'da kireç-puzolan oranı $\frac{1}{2}$ ile $\frac{1}{4}$ arasında alınarak kireç-puzolan blokları üretilmektedir. Aynı malzeme, pişmiş tuğlalar ile harç yapımı, su tankları için astar üretimi gibi değişik inşaatlarda başarıyla kullanılmaktadır.

Hassan (2000), çalışmasında yeni yapı malzemeleri, yaklaşık ~750 °C gibi nispeten daha düşük bir sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra düşük derecede eriyen bölgesel kil ve düşük kalitede beyaz mermer kayası gibi uygun karışımlardan elde edilebilir olduğunu belirtmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, 750 °C deki kil ve beyaz mermerin bileşenleri arasında ısı etkileşimi sonucu oluşacak ürünler daha iyi ve nispeten daha yüksek mekanik mukavemet sağlayacaktır. XRD VE DTA analizleri göstermiştir ki, üretilen maddeler esas olarak karbonat ve kalsiyum silikat, kalsiyum alüminat ve şekilsiz veya ince kristal şekilde bulunan MgO elementlerinin yeni formasyonları ile oluşmuştur." Pişirilen ürünlerin, kurutulmuş çevrede hidrolik olarak sertleştirildikten sonra en yüksek mekanik özellikleri gösterdiğini belirtmektedir.

Binici'nin Lea ve ark.'dan aktardığına göre (2002), Romalılar devrinde yapılan inşaatlarda, bileşiminde, doğal veya yapay puzolan bulunan betonlar genellikle su kemeri inşaatlarının duvarlarında, köprü kemerlerinde ve set duvarlarında kullanıldığını ifade etmişlerdir.

Binici'nin Taylor'dan aktardığına göre (2002), günümüzde hala Hindistan'da yaygın olarak kullanılan kireç-tuğla toprakları karışımının, Bizanslılar ve Romalılar zamanında da kullanıldığını belirtmiştir.

Gülşen (2004), yapmış olduğu çalışmada, Toprakkale (Osmaniye) bazaltik pomzasının hafif beton yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu açıdan Toprakkale bazaltik pomzasının genel mühendislik karakteristiği, jeokimyasal özellikleri ile fiziko-mekanik değerleri laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Agregata olarak bazaltik pomza kullanılarak elde edilen hafif beton numunelerinin basınç dayanımları ve çekme dayanımları tespit edilmiş, bu özellikler ile inşaat sektörünün istekleri arasında ilişkiler kurulmuştur. Laboratuvar test sonuçları bazaltik pomzanın kullanılması ile 28 günde 30 MPa'lık bir dayanıma sahip olan hafif beton üretildiğini göstermiştir.

Aksoğan ve ark., (2005), yaptıkları araştırmada, pomza ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların durabilitesinin kontrol numunesinden yüksek olduğunu ve kontrol örneğinin permabilite değerinin bütün örneklerden büyük olduğunu tespit etmişlerdir. % 40 pomza + %40 yüksek fırın cürufu katkılı örneğin permabilite değeri yüksek bulunurken basınç dayanımı en az bulunmuştur. Araştırmanın en önemli sonucunun, pomza ve yüksek fırın cürufunun eşit oranda katılarak az geçirimli beton üretilebileceğinin ortaya konması olduğunu belirtmişlerdir.

Bekar ve ark. (2005), hafif yapı elemanlarında olduğu gibi, özellikle ısı ve ses yalıtımı amaçlı duvar kesitlerinin elde edilmesinde hafif sıva ve hafif örgü harçları, inşaat mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Değişik suni veya doğal boşluklu agregata türleri, bu tip sıva harcı karışımlarında kullanılmaktadır. Bunlar arasında en popüler olanları; cüruf pomza, volkanik kül, genleşmiş perlit, volkanik cüruf, pomza ve vermikülit gibi kayaçlardır. Bütün doğal agregaların kendine öz karakteristik özellikleri bulunması, hafif harçların özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Pomza, hafif, son derece vakumlanmış bir yapıya sahip gözenekli bir kayaç olup, gözenekleri magmanın soğuması sırasında gazların bünyeyi hızla terk etmesiyle kapalı bir formdadır. Hafif sıva ve harçlar arasında, hafif duvarların örülmesinde yüksek verime sahip harç kullanımları bakımından, pomza agregalı sıva ve örgü harç örnekleri üzerine yoğun ve deneysel olarak yapılmış bir araştırmanın bulguları sunulmaktadır.

Ceylan ve Saraç (2005), Kayseri ili Talas yöresinden elde edilen pomzanın hafif agregata olarak kullanımıyla üretilen hafif betonun tek eksenli basınç dayanım değerlerini belirleyerek irdelenmişlerdir. Bu amaçla, Kayseri-Talas yöresine ait pomza örneklerinden değişik granülometrik bileşimlerde karışımlar hazırlanarak üç ayrı çimento oranında dökümler yapılmıştır. Kayseri-Talas pomzasından oluşan sekiz ayrı karışım grubu belirlenmiş olup, her karışım grubu % 6, % 8 ve % 10 olmak üzere üç ayrı çimento oranında dökülmüş ve toplam olarak 24 farklı hafif beton serisi oluşturulmuştur. Her seriye ait kuru birim ağırlık, su emme oranı değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, her serinin 28 günlük tek eksenli basınç dayanım değerleri ölçülerek en yüksek dayanımın elde edildiği karışım grupları belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen bulgulara göre, çimento oranı-dayanım, kuru birim hacim ağırlık-dayanım ve su emme oranı-dayanım ilişkisi irdelenmiştir.

Hiçyılmaz ve Altun (2005), yapmış oldukları çalışmada, pomzanın alternatif yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili olanakları, son yıllarda yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ışığında değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada pomzanın değişik alanlarda kullanıma uygunluğunu belirlemeye yönelik çalışmalar, alternatif yapı malzemesi olarak sunduğu avantajlar ile beraberinde getirdiği olumsuz etkilere değinilmiştir. Yapılan çalışmaların pomzanın, gerek yüksek silis içeriği ve puzolan özelliği, gerekse düşük

yoğunluğu sebebiyle alternatif çimento dolgu maddesi veya hafif beton agregası olarak büyük bir potansiyel teşkil ettiğini, sahip olduğu karakteristik yalıtım özellikleri ve ekonomikliği ile de hem kısa hem de uzun vadede en önemli alternatif yapı malzemelerinden birisi olacağını göstermektedir.

Kavas (2005), in bu çalışması, borun Kirka'daki toplama santralinde çıkarılması sırasında ortaya çıkan kil ve ince atık malzemenin (KA ve İA) kırmızı çamur tuğla (KÇT) üretiminde karışım aracı olarak kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi doğrultusunda yapılmıştır. Tuğlaların üretimi için her iki malzemelerin karakteristikleri ve endüstriyel ölçü testleri üzerine laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Birbirine benzer kimyasal bileşenleri olan fakat farklı çeşit ve miktarlarda oksit içeren KA ve İA, KÇT ya % de 5, 10 ve 15 ağırlık oranlarında katılmıştır ki bu yüksek miktarda Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 ve alkaliler içerir. Altı farklı örnek takımlar 700, 800 ve 900 °C de pişirilmiştir. Henüz pişmemiş yeşil gövdenin kuru büzülmesi, eğilme ve basınç deneyi, pişme büzülmesi, su emilimi, buzlanma dayanımı ve zararlı magnezyum ve ısı verilmiş numuneler üzerinde kalsiyum oksit testleri yapılmıştır. Mineralojik ve mekanik testler göstermiştir ki, KÇ tuğlalarının üretiminde bor atıklarının karışım aracı olarak kullanılması mümkündür. Buna ek olarak % 15 ağırlık oranında KÇT ya KA ve İA malzeme katılmasıyla elde edilen malzeme en iyi mekanik karakteristikleri gösterdiğini belirtmiştir.

Koçu (2005), yaptığı araştırmada Konya çevresinden elde edilen puzolanik özelliğe sahip volkanik tüfler kullanmıştır. Volkanik malzemelerin fiziksel, mekanik, kimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için deneyler yapmıştır. Çalışmada TS 25'e göre olması gereken $Ca(OH)_2$ miktarı sabit tutulup puzolan miktarının azaltılıp yükseltilmesi durumunda mukavemetin nasıl değişeceği incelenmiştir. TS 25'e göre yapılan deneylerde eğilme deneyleri ortalamasının $4.873 N/mm^2$, maksimum basınç mukavemetinin $30.02 N/mm^2$, ortalama basınç mukavemetinin $24.60 N/mm^2$ bulunması araştırmada olumlu bir gelişme olarak nitelendirilmiştir. Üretilen mamul malzemelerde mukavemet artışına kalsiyum silikatların oluşmasının neden olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemeler ile inşaat sektöründe kullanılmak üzere dekoratif özellikli asma tavanlar, ses absorbe edebilecek ve akustik amaçlı panolar, bölücü duvar elemanları, preslenmiş duvar tuğlası, ısı yalıtım özelliklerine sahip hava boşluklu gaz beton nitelikli yapı malzemelerinin üretilebileceği belirtilmiş ve yapılarda kullanılabileceği açıklanarak önerilerde bulunmuştur.

Koçu ve Dereli (2005), çalışmasında “pomza ile yapılarda, kapalı mekânların iç sıcaklıklarını istenilen düzeyde tutabilmek, dış iklim koşullarına karşı yapılan ısıtma-soğutma işlemlerinde kullanılarak enerji tasarrufu sağlamak, çevre sorunlarını çözmek, hava kirliliğini azaltmak ve en önemlisi ısı yalıtımı önlemleri almak mümkündür. Yapılarda mevcut doğal pomza hammaddeleri kullanılarak alınacak ısı yalıtımı önlemleri ile yapı elemanlarının dış etkilerden korunmasının sağlanabilir” olduğunu belirtmiştir. .

Topçu ve ark. (2005), “Kayseri Yöresi Hafif Agregalı Özellikleri ve Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi” isimli çalışmalarında, Kayseri yöresinden sağlanmış bims kumu ve agregası üzerinde deneysel çalışmalar yaparak, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemişlerdir. Bu agregalarla farklı dozajlarda hafif betonlar üretilip, basınç dayanımları, E-modülleri ve birim hacim ağırlıkları gibi fiziksel ve mekanik özellikleri bulunmuştur. Çalışma sonucunda, Kayseri yöresinde fazlaca rezervi bulunan hafif agregaların hafif beton teknolojisinde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Uz ve ark. (2005a), İmraniye-Hamatepe (Erzin-Hatay) civarındaki bazaltik pomzalarla, Isparta bölgesi pomzalarının kiremit sektöründe kullanılan kile ayrı ayrı farklı oranlarda ilavesiyle kiremit yapısında kuru ve pişmiş örneklerin özellikleri incelenerek pomzaların ürüne etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, asidik pomzanın bazik pomzaya göre yoğunluk ve küçülmeleri azalttığı, su emme ve porozite değerlerini arttırdığı tespit edilmiştir. Kuru ve pişmiş mukavemet değerleri asidik pomza ilaveli örneklerde daha yüksek bulunmuştur.

Uz ve ark. (2005b), Isparta pomzası kiremit kiline farklı tane boyutlarında ve farklı oranlarda ilave edilerek kiremit kili üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuçta, iri -1+ 0,5..mm boyutlu pomza ilavelerinin yoğunluğu en çok düşüren ilaveler olduğu ancak mukavemet değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Hem yoğunluğu azaltan hem de mukavemet, su emme, porozite değerlerini artıran boyut aralığının -0,5 + 0,25mm ve -0,25 mm olduğu bulunmuştur.

Yazıcıoğlu ve Demirel (2005), yaptıkları araştırmada, Elazığ yöresi pomzasının betonda katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Pomza, çimento inceliğinde öğütüldükten sonra, deneyde kullanılacak olan CEM I 42,5 N çimento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında kullanılarak yeni karışımlar oluşturulmuştur. Silis dumanının basınç dayanımına yaptığı katkıyı gözleyebilmek için kontrol betonu hariç tüm serilere, 40 kg çimento yerine aynı oranda silis dumanı ilave edilerek ikinci bir seri daha hazırlanmıştır. Her yaş için 3'er tane olmak üzere her bir seriden 9 adet 10 x 10 x 10 cm'lik numuneler hazırlanmış ve bunların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca 28 günlük betonlar porozite ve ultrasonik test deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler, hem her seri kendi içinde, hem de birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sadece pomza katkısı basınç dayanımını özellikle 3 ve 7 günlük yaşlarda düşürürken, ağırlıkça % 5 ve % 10 pomza katkılı betonlara % 10 silis dumanı ilavesi ile kontrol betonunkinden daha yüksek basınç dayanımlar elde edilmiştir. Ağırlıkça % 15 ve % 20 pomza katkılı betonlara % 10 silis dumanı ilavesi ile de kontrol betonunun basınç dayanımı değerlerine yaklaşmıştır. Ultrasonik test ve porozite deneyleri de bu sonucu desteklemiştir.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006), mineral katkı olarak silis dumanı ve agrega olarak pomza taşı kullanılarak elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik deneyleri 3, 7, 14 ve 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Basınç mukavemeti deneyleri için 150 x 150 x 150 mm ölçülerindeki küp numuneler, yarmada çekme dayanımı deneyi içinde 150 x 300 mm ölçülerindeki silindir numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanmasında ince agrega olarak nehir kumu, kaba agrega olarak ise pomza taşı kullanılmıştır. Silis dumanı arttıkça CEM I 42,5 N çimentosu ile % 10 oranında yer değiştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre silis dumanı katkılı beton numunelerin her yaşta kontrol betonuna göre daha iyi dayanım özellikleri sergilediği görülmüştür. Katkisız olarak hazırlanan numuneler kontrol betonu ilk yaşlarda SDB numuneleri ile benzer özellikler sergilerken özellikle 7 günlük kür süresinden sonra SDB numunelerinde belirgin bir dayanım artışı gözlenmiştir.

Saboya (2006), “genelde dekoratif taş endüstrileri, yan ürün olarak ince kaya tozu kullanılmaktadır ki bu, inşaat mühendisliği yapım amaçlarında kullanılması için uygun olabilmekte” olduğunu belirtmiştir. Bundan dolayı bu çalışma, bir anlamda bu malzemenin kullanımıyla ilgili olarak işin teknik yönlerini tartışma anlamına geliyor ki bu seramik ham malzemede, mermer blokların tıraşlanma işleminden sağlanmaktadır. (Kil yatağı). Bu çalışma, Brezilya, Rio de Jenario’ da Campos’ un belediyeye ait bölgesine ait kil topraklar kullanılarak tamamlanmıştır. Burada 130 tane seramik endüstrisi kurulmuştur ki bunlar atık türü maddelerin potansiyel müşterileridir. Laboratuvar testlerinin nitelendirilmesi, laboratuvar şartlarına uydurulan örnekler üzerinde, böylece gerçek endüstriyel işlemine benzeştirilerek yapılmıştır. Bu örnekler farklı mermer tozları muhtevasıyla şekillendirildi, 750 °C den 950 °C ye kadar olan çeşitli sıcaklıklarda ısıtıldı ve değerlendirilen kendi mekanik özelliklerine sahip oldu. Bu sıcaklık aralığı temsili olarak düşünülmüştür çünkü Brezilya’ nın bu bölgesindeki seramik endüstrilerinin çoğu 900 °C nin üstünde olan Hoffman tuğla ocağı tipini kullanmaktadır ki bu elde edilmesi zor bir değerdir. Sonuçlar, bu yan ürünün inşaat mühendisliği yapı endüstrisinde, seramik tuğlaların yapıştırma bileşiminde, mekanik özelliğini bozmadan kullanılabilirliğinin mümkünlüğünü resmetmekte olduğunu ve birkaç durumda bu özelliklerin bazıları geliştirilmiş olduğunu belirtmiştir

Topçu (2006), çalışmasında binalarda ısı yalıtımını sağlamak için farklı metotlar araştırıldığını, yüksek ısıya dayanıklı yapı malzemelerinin üretimi bu araştırma çabalarının bir parçası olduğunu belirtmiş ve perlitin ısı yalıtımı için son derece kullanışlı bir malzeme ve dünyanın % 70 rezervi Türkiye’ de bulunmakta olduğunu belirtmektedir. Bugün üretilen perlitin yaklaşık % 65 i yapı endüstrisinde tüketilmektedir. Bu maddenin ısısal, hafiflik ve ses yalıtım özellikleri, tuğla üretiminde hafif agrega olarak kullanılması açısından bu maddeyi mükemmel kılmaktadır. Yüksek ısıya dayanıklı tuğla, geleneksel tuğla üretiminde kilin içerisine perlit katılarak üretilmektedir. Bu çalışmada Eskişehir bölgesinin perlit ve kili yüksek ısıya dayanıklı maddeyi oluşturmak için birleştirilmiş ve fırınlaşmıştır. Çimento, alçıtaşı, kireç bitüm ve kil perlit tuğlaları üretmek için kullanılmıştır. Standart boyutta üretilen tuğlalar, farklı perlit-kil oranlarında ve birim ağırlıklarda, basınç mukavemeti, ses iletkenliğinin azaltılması ve ısı iletkenliği değerleri elde edilmiştir. Daha sonra özellikleri en iyi olan karışım belirlenmiştir ve maliyet uygunluğu tanımlanmıştır. Bileşim özelliklerin göre sonuçlar gözden geçirilmiş ve perlit tuğlaların özellikleri çeşitli ağırlıklarda saptanmıştır. Sonuç olarak en iyi karışım % 30 perlit içeren numune olarak belirlendiğini belirtmiştir.

Djangang (2007), çalışmasında ateşe dayanıklı tuğlalar zayıf-kumlu Mayouom ve kumlu Mvan kiline sırasıyla ağırlık oranında % 30 – 50 ve 10 – 30 şamot karıştırılarak hazırlanmıştır. Örnekler ıslak taneciklerin basıncı ile şekillendirilmiş ve 1200 °C ve 1350 °C arasında yakılmıştır. Bunlar açık gözeneklilik, kütleli yoğunluk ve burulma mukavemeti ile nitelendirilmişlerdir. % 31 ila % 44 arasında açık gözeneklilik elde etmek ve 2 ila 4 Mpa burulma mukavemeti elde etmek için Şamotun sırasıyla ağırlık olarak minimum % 20 ve maksimum % 40 Mayouom ve Mvan kiline katılması gerektiğini sonuçlar göstermiştir. Pişmiş tuğlaların yapıları gözenekler içine gömülü bulunan ve küçük kristal tanecik dizeyleri ile iç içe bulunan mullit, kristobalit ve kuvars kristalleri içerir. Ortalama sıcaklık genleşme katsayısı Myouom ve Mvan killeri için sırasıyla 4,9 ila 8,7 10⁻⁶ arasında ve 9,4 ila 11,7 10⁻⁶ arasında değişmektedir. Tüm malzemeler yüksek ısı şokları ve 1200 °C uzun süre bırakıldığı takdirde zayıf hasarlara maruz kalmıştır.

2.3. Uçucu ve Tekstil Fabrikası Atık Külü

Temiz (1997), uçucu kül (U.K) ve silis dumanının birlikte katıldığı harcın özelliklerini araştırmış, yüksek kireçli soma-B uçucu külü (YKUK), düşük kireçli Tunçbilek uçucu külü (DKUK) ve ferrosilisyum baca tozunun (FeSi=SD) değişik oranlardaki karışımlarının çimento hamuru, harcı ve beton özelliklerine etkileri, fiziksel ve kimyasal analizler uygulayarak, bulunan değerleri literatürde verilen bilgilerle karşılaştırarak şu sonuçla belirtilmiştir. Uçucu külle yapılan betonlarda ilk zamanlarda dayanımın düşük çıktığını ancak ileriki yaşlarda referans numunelerinin dayanımlarını yakaladığını, hatta bu dayanımları geçtiğini belirtmiştir. UK ve SD nin katkı olarak kullanılması üretilen betonların dayanımına önemli katkılar sağladığı belirtilmiştir.

Kılınçkale (1999), yapmış olduğu çalışmada, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanların ve trasın özelliklerini, puzolanik aktivitesini incelemiştir. Portland çimentosuna, ağırlıkça % 20 oranında çimento yerine puzolan ikame edilerek puzolanlı harçlar üretilmiştir. Bu harçların eğilme ve basınç dayanımları, harç üretiminin 7 ve 28'inci gününde saptanmıştır. Sonuç olarak, tüm puzolanların puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmüş, ancak puzolanlar içinde puzolanik aktivitesi en yüksek olanların, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü olduğunu saptamıştır.

Demir (2003), bu çalışmasının asıl amacının tuğla üretiminde atık tuğlaların katkısını araştırmak olduğunu belirtmektedir. Çalışmasında tuğlaların dayanıklılığı ve mekanik özellikleri üzerine atık tuğlaların geri dönüşümünün etkileri analiz edilmiştir. Yanmış atık tuğlalar çevreye dikkate değer bir zarara neden olabilirler. Üretim süresince, özellikle yanma, nakliye ve yapım işlemlerinde büyük miktarlarda tuğlalar kırılarak arazi boşluklarına atılmak durumunda kalmakta veya malzeme dolgusu olarak kullanılmaktadır. Bu amaç için, Türkiye' de Batı Anadolu' da bulunan Çorum bölgesinden atık tuğlaların kimyasal ve mineralojik yapıları araştırılmıştır. Toz haline getirildikten sonra örnekler iki kategoriye bölünmüştür: A; 4,75 mm elekten geçenler (kaba), B; 600 µm elekten geçenler (ince). Karşılaştırma yapabilecek test sonuçlarını elde edebilmek için atıkların oranı (0, 10, 20 ve kütlelerin % 30 u) pişmemiş ham tuğla kiline katılmıştır. Tuğlaların mekanik özelliklerini belirlemek için standart test metotları farklı sıcaklıklarda uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, kütlece % 30 luk bir ince malzeme katkısı ile 900 °C de ısıtılan test örneği uygun mukavemeti vermiştir. Bu malzemenin endüstride yeniden kullanımı, arazilerin ve çevrenin korunmasına katkıda bulunabilir olduğunu belirtmektedir.

Kılıç (2003), “kalker iri parçalar halinde bulunduğu zaman fırında yanmış kireç, daha sonra da nemin etkisiyle sönmüş kireç haline gelir. Bu durum hacim büyümesine neden olacağından zararlıdır. Tuğla-kiremit imalinde kullanılacak hammaddelerde doğal olarak bulunan kum genellikle çok incedir ve taneleri 10–40 mikron çapında olup gözle görülmez. Miktar olarak % 30–40 civarında bulunup çoğunlukla mika pulları ihtiva eder. Tuğla üretiminde %20–30, kiremit üretiminde de %10–20 kuvars kumu karıştırılır. Demir çoğunlukla demiroksit ve hidratları şeklinde bulunup, kilin kütlelerine dağılmıştır. Pişmiş toprak malzemeye kırmızı rengi veren bu son iki şekilde bulunan demirdir. Toplam demir oksit ve hidratları % 8-10'u geçmemelidir. Killerin mavi, yeşil, gri, ve siyah renklerde bulunması çoğunlukla içerdikleri organik madde miktarına bağlıdır. Pişme sırasında bu organik maddeler 400 °C'den önce tamamen yanar ve geriye siyah karbon birikintileri

bırakır. Organik maddenin olabildiğince az bulunması hem tuğlanın görünümü ve hem de dayanımı yönünden yararlıdır. Genellikle sülfat ve klorür tuzlarının % 1,5'in altında bulunması iyi kalitede tuğla ve kiremit üretimi için şarttır” demekte ve fazla miktarda bulunan eriyici tuzlar ürün tuğlanın, kullanımda çiçeklenmesi ve yüzeyden dökülmesine yol açtığını belirtmektedir.

Erdoğan (2003), yayınlamış olduğu çalışmada “termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan UK ilk olarak ABD’ de 1940 yılında Hoover ve Hungry Horse barajlarında betonun hidratasyon ısını düşürmek amacıyla kullanılmıştır. Ülkemizde ise 1960’ lı yılların sonunda Gökçekaya ve Porsuk Barajı betonlarında kullanılan bu malzeme bu gün 600 milyon ton üretimi ile dünyanın en büyük atık ürünlerinden birisi” olduğunu belirtmiştir.

Türker ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada UK üretiminin neredeyse % 90 mın inşaat sektöründe, özellikle çimento ve beton üretiminde kullanılarak değerlendirildiğini belirtmiştir. Ayrıca ülkemizde kömürle çalışan termik santral sayısının on üç olup bu tesislerden yıllık ortalama 13 milyon ton UK elde edildiğini fakat ne yazık ki üretilen bu UK ün ancak % 1 inin çimento ve betonda değerlendirilebildiğini belirtmiştir.

Lingling (2004), sunulan çalışmasında düşük kaliteli ıslak uçucu kül, pişmiş tuğla üretmek için kilin yerine hammadde olarak kullanılmıştır. Büyük miktarda kil yerine uçucu külün katılmasıyla, tuğlanın yanma parametreleri ve özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar uçucu külün karışım oranı arttıkça kil ve uçucu kül karışımının plastisite indeksi çarpıcı bir biçimde azaldığını göstermektedir. Birçok tuğla imal eden fabrikalarda kullanıldığı üzere, plastisite çıkışını karşılamak için karışımın plastisite indeksini artırmaya yönelik bir A katkısı seçilebilir. Yüksek oran uçucu kül katkısıyla oluşan tuğlaların katılma sıcaklığı yaklaşık 1050 °C dir ki bu, normal kil tuğlalardan 50 ila 100 °C daha fazladır. Pişmiş tuğlanın özellikleri toz haline gelmiş uçucu kül kullanılarak artmıştır. Yüksek oran uçucu küllü pişmiş tuğlalar daha yüksek basınç mukavemeti, düşük su emilimi, kalsiyum oksitten dolayı oluşan daha az çatlama, buzlanmama ve buz erimesine karşı yüksek bir dayanım göstermekte olduğunu çalışmasında belirtmiştir.

Çiçek ve Tanrıverdi (2006), sunulan çalışmasında Türkiye’ de yıllık yaklaşık 10 milyon ton uçucu kül, kömür yakıtlı termik santrallerde atıl malzemesi olarak ortaya çıkmakta olduğunu fakat bu atığın sadece küçük bir kısmından ham madde olarak beton ve çimento üretiminden faydalanılmakta olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada Seyitömer termik santralinden çıkan uçucu külden hafif ağırlıklı tuğla üretimi araştırılmıştır. Uçucu kül, kum ve kireç karışımları, tuğla örnekleri üretmek için değişik koşullar altında fırınlanmıştır. Bunun sonucunda en uygun hammadde karışım oranları % 68 uçucu kül, % 20 kum ve % 12 kireç olarak bulunmuştur. Optimum tuğla kalıplama basıncı 20 Mpa dır. Optimum fırınlama süreci ve fırınlama basıncı sırasıyla 6 saat ve 1,5 Mpa bulunmuştur. Uçucu kül-kum-kireç tuğlalarının en uygun test koşulları altında belirlenen basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı ve su emme değerleri sırasıyla 10.25 MPa, 1.14 g/cm³ ve % 40,5olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucu göstermiştir ki, Seyitömer termik santrali uçucu külden iyi kalitede hafif ağırlıkta tuğlalar üretmenin mümkün olduğunu belirtmiştir.

Singh (2006), galvanizleme ve metal bitirme işleminden oluşan atıklar varlıklarında bulunan Pb, Cu, Cr, Zn, vs gibi zehirli metallerin varlığından dolayı çok tehlikeli olarak kabul edilmekte olduğunu belirterek kil ve uçucu külün mevcudiyetinde bu tip atıkların ısısal iyileştirilmesi ile bunların zehirli metallerini en üst seviyede etkisiz hale getirebileceğini belirtmiştir. İyileştirme işleminden sonra oluşan katılaşmış kütleden yapılarda faydalanılabilir veya zehirli maddelerin tekrardan hareketlenmesine şüphe bırakmayacak şekilde arazi dolgusuna bırakılabilirler. Mevcut çalışmada yerel olarak bulunan kil ve özel olarak termik santralden alınan uçucu kül, 850 °C, 900 °C ve 950 °C de farklı oranlarda, atıkların her ikisinde ısısal iyileştirme için katkı olarak kullanılmışlardır. Gözlenen sonuçlar göstermiştir ki, atıkların zehirli metallerinin hareketsizliğinde ısınma sıcaklığı anahtar etken olmuştur. Şuna dikkat edilmiştir ki, atıkların metallerinin filtrelenmeleri, 950 °C de ısıtıldıktan sonra önemsiz bir seviyeye düşmektedir. Isısal olarak iyileştirilen atığın %10 luk katılaşmış örneği ve kalan kil, bina yapılarında kullanılan pişmiş kil tuğladan oldukça yüksek basınç mukavemeti göstermiştir. Yinede çinko kaplama atığından yapılan termik olarak ısıtılmış modeller, metal işleme atığı modelinden daha iyi mukavemet göstermiştir. Pb, Cu, Cr, Zn gibi zehirli metallerin filtrelenmeleri 950 °C de ısıtıldıktan sonra düzen eşliğinin bayağı bir alt kısmına gelmektedir. Uçucu külün katkısı ne bir mühendislik özelliğinde nede katılaşmış kütle metalinin filtrelenmesinde bir gelişme göstermemiştir. Katılaşmış maddenin X-RAY (XRD) kırınım analizleri, metal oksitlerin karışım aşamalarının varlığını doğruladığını belirtmiştir.

Demir (2007), bu çalışmasında tuğlalarda bazı atık maddelerden faydalanma potansiyelini araştırmıştır. Talaş, tütün atığı ve çim Türkiye’ de endüstri ve ziraatın geniş şekilde bulunan yan ürünleridir. Bu atık malzemeler, uzun selüloz liflere sahiptirler. Talaş ve tütün artığı genelde yakıt malzemesi olarak kullanılmaktadır ve çim daha çok zirai amaçlar için kullanılmaktadırlar. Tuğlanın tecrit kapasitesi, kil hacminin gözenekliliğinin artışı ile artar. Tutuşabilir, gözenek oluşturucu katkıların organik tipleri, bu amaç için en çok kullanılan olmuştur. Bu sebepten dolayı, organik atıkların artan oranları (ağırlık olarak %0, %2.5, % 5ve %10) ham tuğla kili ile karıştırılmıştır. Tüm örnekler 900 °C de fırınlanmıştır. Şekillenme, plastisite, yoğunluk ve mekanik özellikler üzerine etkiler araştırılmıştır. Organik atık katkıları, kilin kabul edilebilir mekanik özelliklerini sağlaması ile kil gövdesinde gözenek oluşturucu etkisi olduğu bulunmuştur. Atıkların lifli yapılarının uzama problemleri oluşturmadığı gözlenmiştir. Bununla beraber, daha yüksek atık katkısı doğru plastisiteyi sağlamak için daha fazla su gerektirmektedir. Sonuç olarak kil tuğladan, organik gözenek oluşturucu olarak çevresel bir yolla talaş, tütün atıkları ve çimden faydalanılabilir olduğunu belirtmiştir.

Bu çalışmada ise hem fabrika ortamında delikli tuğla hem de **2,5 x 2,5 x 11,5 cm** standart boyutlarda ve laboratuvar koşullarında iki ayrı kil, pomza ve Elbistan Termik Santrali uçucu külü ile tuğla üretimi yapılmıştır. Kahramanmaraş’ta tekstil fabrikaları ısı gereksinimi için linyit kullanmaktadır. Bu kömürlerin külleri ise depolama ve çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Bölgede bol miktarda olan tekstil fabrikalarının bu atık külleri de denemelerde aynı oranlarda yer almıştır.

3. MATERYAL VE METOT**3. 1. Materyal****3.1.1. Kil**

Killerin genel nitelikleri üzerine yapılan araştırmada bunlar 3 grupta toplanmıştır;

- 1) Islandıkları zaman plastiklik özelliği kazanarak istenilen şekli alabildikleri,
- 2) Sularını kaybettiklerinde rijitleştikleri, ancak tekrar ısladıklarında tekrar plastiklik özelliği kazandıkları,
- 3) pişirildiklerinde rijit bir bünye yapısı kazandıkları, tekrar ıslatıldıklarında artık plastik özellik kazanamadıkları açıklanmıştır (Akman, 1990).

Kil hammaddesi; başlıca alüminyum silikatlardan oluşan ince taneli, tabii, toprağımsı bir materyaldir. Kil taneciklerinin 0,0025 mm' den daha küçük, birbirlerine yapışık ve ıslak iken kaygan oldukları, organik ve organik olmayan maddeler ihtiva ettikleri, nemli ve suya doymuş killerin bıçakla kesilecek kadar yumuşak, kurumuş killerin ise oldukça sert bir yapıda oldukları vurgulanmıştır (Çelik, 1995).

Tuğla- kiremit toprakları düşük sıcaklıklarda eriyen, diğer seramik ürünlerinin yapımında kullanılan killere göre daha az saf olan ve genellikle pişme rengi kırmızı olan killerdir (Üzer ve Tola, 1987).

Kil, çok ince taneli bir kayadır. Kilin esas maddesi sulu alüminyum silikat, sınıfına göre Mg ve Fe gibi diğer elementleri de içerir. İnce taneler 2-5 µ olduğundan gözle veya normal mikroskopla ayırt edilmeleri hemen hemen mümkün değildir. 100.000 defa büyütülerek mikroskopta resimleri çekilmekte, X ışınları ile içyapısı tespit edilmekte, sıcaklığı D.T.A cihazları ile ölçülmekte ve kesin olarak sınıfı tayin edilmektedir (Sarız ve Nuhoglu, 1992).

Killer volkanik kayaların jeolojik ve günümüzde karşılaşılmayan şartlarda çözölmelerinden meydana gelir. Kilin cinsi ana kayacın cinsine ve geçirdiği safhalarına bağlıdır. Hiçbir zaman arı (saf) biçimde bulunmayan kilin içinde alüminyum silikatlarla beraber (2SiO₂.Al₂O₃.2H₂O) kum, demir, magnezyum, sodyum, kalsiyum ve potasyum bileşikleri gibi diğer yabancı maddelerde ihtiva ederler. Buna göre çok çeşitli renk ve özellikte olurlar. Çok miktarda magnezyum ve kalsiyum ihtiva eden killere marn adı verilir. Demir oksit bakımından zengin olan ve içinde kum bulunan killere ise balçık adı verilir. Kil içinde bulunan demir oksit kile, kırmızı ve sarı bir renk verir. Kildeki kaolonit bileşeni ne kadar fazla ise beyazlığı ve kalitesi de o kadar artar. Kilin içindeki yabancı maddeler çok az ise su ile karıştırıldığı zaman yapışık bir çamur halini alır. Buna plastik kil denir. Killer plastikli oluşları ve şekil alabilen özellikleri dolayısıyla çok işe yararlar. Bu plastikliğin sebebi kil parçacıklarının pulcuklardan ibaret bulunmasıdır. Bu pulcuklar birbirlerine aralarında bulunan buyun yüzey gerilmesi ile yapışmış bulunurlar. Bu suyun içinde eriyik halde bulunan tuzların ve organik maddelerinde büyük önemi vardır. Bir kil ne kadar ince, kolloidlerde ne kadar çok ve alkalik maddelerin tuzları ne kadar fazla olursa plastiklik o derece artar. PH' da plastik duruma sebep olur. Kilin su emme derecesi % 70 civarındadır. Bu yüzden su ile karşılaşır karşılaşmaz hızla içeri çeker. Çektiği suyu kolaylıkla bırakmaz (Köktürk, 1993).

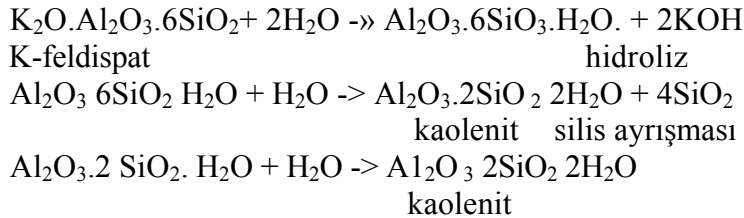
Tipik kil minerallerinin (kaolinit, montmorillonit vb.) su ile ıslatıldıklarında plastik özellik kazanırlar. Bunun mikroskobik tabakalı yapıya sahip olmalarından kaynaklandığı

kabul edilir. Diğer önemli özellikleri; 1) kurutulup pişirildiklerinde kalıcı sertlik kazanmaları, 2) kuruma ve pişme sırasında çekme (rötre), 3) pişirildiklerinde değişik renkler elde edilebilmesi 4) refrakterlik özelliği (yüksek sıcaklıklarda ergimeye karşı direnç göstermeleri), 5) ısı, ses ve elektriğe karşı izolasyon özelliğine sahip olmaları, 6) renk giderme ve ağartma işlerinde kullanılabilmeleri (Grahl, 2001).

Kil hammaddelerinin kimyasal analizinde genellikle Fe₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, K₂O, Na₂O yüzdeleri tespit edilir. Al₂O₃ değeri %25-32 arasında değişir. Bu tenör ince seramik killerde düşük, refrakter killerde yüksektir. Fe₂O₃ oranı ince seramik killerde % 1 in, diğer killerde ise % 3 ün altında olmalıdır. Aksi halde killerin pişme rengi ateşe dayanıklılığı bundan zarar görebilir. Bu konuda en önemli husus Fe₂O₃ tenöründen ziyade bunun homojen bir halde bütün kilin bünyesine dağılmış olmasıdır. Fe₂O₃ tenörü son derece düşük beyaz kaolonitik killer içerisinde dağılmış olan az miktarda pirit kristalleri yüzünden kullanılmaz hale gelir. SiO₂ tenörü çok yüksek olması kilde serbest kuvars olduğunu gösterir. Bu takdirde kilin ince ve iri taneli oluşu önemlidir. SiO₂ tenörü refrakter killerden ve boksitleşme gösteren kaolin ve kaolonitik killerde çok düşüktür. Toprak alkali oksitleri ve monmorillonit grubu kil minerali bulunduğu işaretler. Alkali oksitlerin oranı da % 1 in altında olmalıdır. Fazlası killerde mika, feldspat, alkali toz bulunduğunu gösterir. Buda ateşe dayanıklılığını azaltır. Killer filtre ve preslerde süzme işlemini güçleştirebilir. Fakat kil mikaların plastisitesini artırmak gibi faydalı özelliğe sahiptir (Köktürk, 1993).

3.1.1.1. Killerin Oluşumu

Killer granit, feldspat, pegmatit, bazalt gibi kayaçların su, rüzgâr, donma, sıcaklık değişimleri, yeryüzü hareketleri ve bitkiler gibi fiziksel dış etkenler, su, CO₂, humik asit, kükürtlü ve flüorürlü gazlar, yüksek sıcaklık gibi etkenlerle değişmesi sonucu oluşmuşlardır. Ortoklazın dönüşümünü örnek alırsak;



Kaolenit; % 39 Al₂O₃, % 47 2SiO₂, % 14 2H₂O içermektedir. Genellikle bu kimyasal bileşimde kaolenit bulamayız. Çünkü kaolenit yabancı maddeler içermektedir. Ana kayacın içerdiği alkali veya toprak alkali metallerin oksitleri suda çözünmek suretiyle kayaçtan uzaklaşır. Genelde büyük yüzdesi alüminosilikat olan bileşikler kalır. Ayrışan silis çok ince tanelidir. Bunlar da silikat (asit esaslı) refrakterlerin esasını oluşturmaktadır. Tuğla hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Oluşum sırasında karışan yabancı maddeler, silis, feldspat, mikalar, CaCO₃ (kalker), MgCO₃ (magnezit), Fe bileşikleri ve organik maddelerdir. Killer, oluştukları yerde kalırsa bunlara primer veya kalıntı kil, yatağa da kalıntı kil yatağı denir. Bu tür killerde, değişime uğramamış ana kayaç silika ve diğer değişime uğramış mineral kalıntıları bulunabilir. Primer kaolen yatakları bunlara örnek gösterilebilir. Bu yataklardaki kil taneleri, taşınanlara göre daha büyüktür. Bunun sonucu olarak plastiklik özellikleri azdır. Meydana gelen kil mineralleri su, rüzgar gibi dış etkenlerle taşınıp başka yerde birikmiş ise böyle yataklara sekonder

veya taşınmış yataklar denir. Taşınmış killere daha ince taneli ve daha plastik olur. Tane incelik, köşeler yuvarlatılmış olur. Taşınma sırasında kilin içine başka yabancı maddeler de karışır. Tabiiatta çok yaygın bulunan kırmızı killerin bileşimi yer kabuğunun ortalama bileşimine çok yakındır. Silika % 58, alümina % 16.5, Fe₂O₃ % 6.8, MgO % 3.3, CaO % 4.5'dir. Tabiiatta bulunan ve faydalanılabilen bu tür killere genel killere denir. Ham halde kahverengi, kırmızı, yeşilimsi veya demiroksidin varlığından ötürü gri renkte olabilirler. Pişmiş rengi pembe, kahverengi, kırmızı veya siyah olabilir. Genel killere inşaat tuğlası, kiremit, çini ve diğer kil ürünleri üretilir. Genel killere oldukça plastiktir. Kum ve taş parçaları plastikliği düşürücü etki yaparlar. Plastikliği çok yüksek olan killere plastik olmayan kütle katarak bu özelliği optimum hale getirilebilir. Bu killere preslenebilir veya ekstrüzyon makinesinden geçirilebilir. Çarpılma, çatlama ve aşın büzülme olmadan pişirilebilir (Rhades, 1957).

Tabiiatta bulunan killere kimyasal analizleri geniş bir aralıkta değişir. Fakat inşaat tuğlasının fiziksel özellikleri kimyasal analizden daha önemlidir. Kil kalıpta şekillendirebilecek kadar plastik olmalıdır. 950 – 1000 °C arasında pişirildiği zaman yeteri kadar vitrifiye olmalı yani mukavemet kazanmalıdır. Bu isteklere mükemmelen cevap veren yataklar sınırlıdır. Kimyasal analiz mineralojik yapı hakkında önemli bilgiler verir. Bunlar da şekillendirme, kurutma ve pişirme karakteristiklerini belirlemede önemlidir. İngiltere'de kullanılan tuğla killere şu sonuçlar çıkarılabilir.

1) Plastiklik önemlidir.

2) Kil, uygun oranda plastik olmayan ve flaks olmayan kütle içermelidir. Bu sayede kuruma ve pişme küçülmesi kontrol edilebilir. Bu killere önemli miktarda kuvars bulunur. Kuvars her iki özelliği de olumlu yönde etkiler.

3) Sodyum ve potasyum gibi alkali bileşikleri yapıda bulunmalıdır. Bunlar düşük sıcaklıkta camlaşmaya neden olur. Magnezyum, kalsiyum ve demir bileşikleri daha yüksek sıcaklıklarda flaks olarak etkilenirler. İnşaat tuğlasında fazla önemli değildir. Adı geçen elementlerin bazıları mika veya feldispatta bağlıdır. Etkili olabilmeleri için küçük taneli olmaları gereklidir. Demir içerenler dahil diğer mineraller, oksitler, hidroksitler, karbonatlar (kireçtaşı ve tebeşir)dir (Grimshaw, 1971).

3.1.1.2. Killere İçerdiği Yabancı Maddeler

Doğada bulunan killere buldukları bölgelere göre farklılıklar gösterirler. Bu farklılıkların başlıca sebebi killere yapısını oluşturan minerallerin mevcudiyetleri ve yüzde oranlarıdır. Killere içerdiği bazı maddeler aşağıda verilmiştir.

Silika: Kaolenizasyon sırasında açığa çıkan kil minerali dışında serbest haldedir. Serbest Silika kuvars kristali veya amorf silika olarak bulunabilir. Oluşum sırasında açığa çıkan ürünlerden olduğu için çoğu killerde vardır. Serbest silika plastikliği, kuruma ve pişme küçülmesini, pişmiş ürünün mukavemetini, refrakterliğini azaltır.

Alümina : Kil mineralinin dışında alümina, feldispat, mika, boksit (gibsit, diyaspor) gibi bileşikler de bulunur. Boksit, gibsit, diyaspor halinde iseler refrakterliği arttırıcı etki yaparlar.

Alkaliler : Alkali bileşikleri genellikle alümina ile bağlı olarak bulunur ve özellikle önemli derecede etkiler. Feldispat, mika alkali taşıyan minerallerdir. Alkaliler kil yüzeyine adsorbe olmuş halde de bulunabilirler. Adsorbe yüzeyde tutulma, absorbe ise sünger gibi içine alma anlamına gelir. Alkali metallerin suda çözünen sülfat ve klorürleri de kil içinde bulunabilir. Alkaliler kuvvetli flaks madde oldukları için vitrifikasyon sıcaklığını ve refrakterliğini düşürücü etki yaparlar. Cam faz oluşumunu arttırdıkları için pişmiş üründe gözeneklilik oranını azaltırlar ve mukavemeti arttırırlar. Alkalilerin varlığı, özellikle suda çözünen alkaliler plastikliği olumsuz yönde etkiler.

Demir Bileşikleri : Killerde demirin oksitleri, sülfürleri, karbonatları, hidroksitleri ve silikatları bulunur. Magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), FeS_2 , FeO , $Fe_2O_3.H_2O$, $FeCO_3$ en önemlileridir.

Killerde demir bileşikleri şu bakımlardan önemlidir: Fe_2O_3 , kilin refrakterliğini önemli ölçüde düşürmez, rengi kırmızıdır. Fe_2O_3 , silika ile $1455\text{ }^\circ\text{C}$ 'de camsı faz oluşturur veya başlatır. Eğer redükleme söz konusu olursa FeO meydana gelir. FeO yaklaşık $1180\text{ }^\circ\text{C}$ 'de camsı faz oluşturur. Oluşan fazın rengi siyahtır.

FeS_2 (pirit) içeren killerin pişirilmesi dikkat gerektirir. $400 - 600\text{ }^\circ\text{C}$ arasında oksitlenme olur ve Fe_2O_3 , açığa çıkar. Bu durumda ürün fazla zarar görmez. Eğer ısıtma hızı yüksekse veya atmosfer oksidan değilse yani redükleyici etki söz konusu ise FeO meydana gelir. Pirit reaksiyonları sona ermeden vitrifikasyon başlayacağı için bünyede şişmenin meydana gelmesine neden olur.

Kalsiyum Bileşikleri: Birçok kilde kalsit ve $CaSO_4.2H_2O$ bulunur. Pişirme sırasında kalsit $850\text{ }^\circ\text{C}$ civarında parçalanır. CaO oluşur ki, bu da kuvvetli flaks maddedir. Vitrifikasyon sıcaklığını ve gözenekliliği düşürür, mukavemeti arttırır. Pişirme sıcaklığı vitrifikasyonun tamamlanmasına yetmezse CaO serbest kalır. Pişmiş ürün su ile temas ettiğinde $Ca(OH)_2$ oluşur. Hacimce genleşme pişmiş ürünü parçalayacak kadar büyüktür.

Karbonlu Malzemeler : Bazı killerde kömür, linyit gibi organik esaslı madde bulunur. Bu killer siyah renklidir ve pişirildikleri zaman renkleri tam beyaz olmaz. Fınn atmosferinde redükleyici şartlar meydana getirmeye sebep olur. Bu gibi durumlarda pişirme hem yavaş yapılmalı, hem de kil içersindeki organik maddeleri yakacak kadar oksijen sağlanmalıdır. Aksi takdirde Fe_2O_3 ü redükler ve oluşan FeO , daha önce belirtilen sakıncaları doğurur. Oksijenin az olduğu veya bulunmadığı atmosferde, $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ redükleyicidir (Yaman, 1996).

3.1.1.3. İnşaat Tuğlası Killeri

Değerleri, kimyasal kompozisyonlarından çok, fiziksel özelliklerine bağlıdır ve sonuç olarak bir tuğla kilinin uygun kompozisyon oranı çok geniştir. Tuğla yapımı için bir kilde istenen temel özellikler şöyledir:

a) Kolay şekle sokmak için yeterince plastik olmalı ve bu şekil hem ıslak, hem de kuru durumlarda kalmalı,

b) Aşın küçülme (çekme) veya deformasyon olmadan sert tuğlalar meydana getirmek için 950 - 1000 °C'deki bir sıcaklıkta yeterince camsılaşmalıdır.

Bu istenen özelliklere mükemmel bir şekilde sahip olan killer en iyi killerdir. Oldukça tatminkâr bir şekilde kullanılan birçok kil olmasına rağmen herhangi bir kil tortusunun bina tuğlaları yapımı için kullanılabileceğini kabul etmek yanlıştır.

Tuğla killerinin çıkarıldığı birçok taş ocağı geniş ve derindir. 3 m kalınlıktan daha az olan bir şekli çalışmak için bu taş ocakları nadir olarak ekonomiktir ve birçoğu 9-15 m'lik bölgelerdedir. Demir nodülleri, kabuk bantları, küçük kömür damarları bu çalışma şekline dahil olabilir.

Tuğla killerinin kimyasal bileşimi, herhangi bir tortuda oluşan değişimlerinden ve ayrıca tuğla yapımında kullanımda oldukça geniş bir kompozisyon dizisi olmasından dolayı değersiz olarak açıklanmıştır. Bu tamamıyla doğru bir kritik değildir, çünkü kimyasal analizler, şu andaki mineral doğası üzerine birçok bilgi verebilir ve bir kilin ayrılmış boyut fraksiyonları üzerindeki bir seri analizler tahmin yapmak, kurutmak ve pişirme özellikleri için sıkça kullanılabilir.

1) Tuğla killerinde plastikliliğin tüm gerekenlerini tartışmak için daima kil mineralleri oranı olmalıdır.

2) Plastik olmayan ve erimeyen maddenin iyi bir oranı da gereklidir ki kurutma ve pişirmede şekiller aşırı bir biçimde çekmesin. Kuvars genellikle makul bir miktarda bulunur, fakat feldispat, kalsit, granit partikülleri benzer bir görevi görebilir.

Eriyen bileşikler, genelde alkali elementler, Na, K düşük sıcaklıkta, Mg, Ca ve Fe bileşikleri ise daha yüksek sıcaklıklarda ergime gösterirler. Bu elementler, mikalar veya feldispatların minerali şeklinde birleşirler fakat minerallerin etkili tanecik boyutu küçük olmalıdır. Bahsedilen analizler tamamen İngiliz killerdir fakat İngiliz tuğla imalatçıları bir jeolojik görüşe göre diğer birçok ülkeden daha geniş bir kil dizisini kullanır. Yetkililer tarafından analiz edilen Avustralya, Avrupa kıtası ve ABD'den tuğla yapımında kullanılan killerin kimyasal ve mineralojik kompozisyonları İngiliz türleri ile çok benzer özellikler gösterir. Bina tuğlası imalatında sorunlar yaratan bileşikler kireç taşları ve çözünebilir

tuzlardır. Kireç taşları nemli havada söndürücü kireç üretir ve tuğlaları kırabilir veya darbe verebilir. Bunlar belki kireç taşlarının ince toz haline öğütülmesi ile sakınılabılır. 0.05 mm'den daha küçük partiküller gibi çatlak içeren tuğlalar, miktar %15'e ulaştığında bile görülebilir. Ca bileşikleri iyice öğütüldükleri takdirde bina tuğlası yapımı için bir kilde belli avantajlar gösterirler. Pişirmede açık kahverengi tuğla üretimi için ve kırmızı tuğlanın oluşumunu engellemek için demirdeki bazı zengin kil değerleri ile ölçülürler.

Şekil 3.1 de İşçimenler Tuğla Fabrikasında ve çalışmalarımızda kullandığımız kırmızı kil, Şekil 3.2 de gri kil görülmektedir.



Şekil 3.1. Menzelet' ten Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Kırmızı Kil



Şekil 3.2. Türkoğlu' ndan Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Gri Kil**3.1.2. Uçucu Kül****3.1.2.1. Uçucu Külün Tanımı ve Sınıflandırılması**

Uçucu kül, kömürden elektrik üreten termik santrallerin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Termik santrallerde yakıt olarak genellikle, endüstride kullanılmayan düşük kaliteli kömürler kullanılır. Kömürün yakılması sonucu oluşan külün, yaklaşık %20'si yakma sistemindeki ızgaraların altına düşerek su ile sistemden uzaklaştırılan kazan altı külüdür; %80'i ise, baca gazları ile birlikte sistemden sürüklenir. Uçucu kül olarak isimlendirilen bu kül, bacanın üst kısmında bulunan elektrofiltre veya siklonda tutularak, periyodik olarak santral dışına alınır. Genellikle küresel bir yapıya sahip olan uçucu külün tanecik çapı 1-100 µ arasında değişmektedir (Anderson, 1983)

Uçucu kül, termik santralde yakılan yakıt cinsine göre taşkömürü uçucu külü ve linyit kömürü uçucu külü olarak ikiye ayrılır.

Kimyasal yapılarına bağlı olarak uçucu küller 4 gruba ayrılır.

- Silikat- alümina esaslı uçucu kül: Yapılarının büyük kısmı kuvars (SiO_2) ve bir miktar alüminadan (Al_2O_3) oluşmaktadır. Genellikle taş kömüründen kaynaklanan uçucu kül bu sınıfa girmektedir.
 - Silikat-kalsit esaslı uçucu kül: Yapısındaki ana oksitler kuvars (SiO_2) ve kalsit'tir (CaCO_3). Bu küldeki kalsit miktarı oldukça yüksektir.
 - Sülfür-kalsit esaslı uçucu kül: Yapılarını büyük bölümü kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten (CaCO_3) meydana gelmiştir. Linyit kömüründen kaynaklanan uçucu kül genellikle bu sınıfa girmektedir.
 - Sınıflandırılmayan uçucu kül: Termik santrallerdeki yakma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küldür. Bu sınıfa giren külün kimyasal yapısı sürekli değişebilmektedir.

3.1.2.2. Uçucu Külün Mineralojik ve Kimyasal Yapısı

Uçucu kül, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelmektedir. Uçucu külde genellikle, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin hemen hemen tamamına rastlanmaktadır. Ancak, bunların küldeki yüzdeleri

değişmektedir. Örneğin silikat-alümina esaslı bir uçucu külde SiO_2 ve Al_2O_3 , sülfür-kalsit esaslı bir uçucu külde ise SO_3 ve CaCO_3 ana bileşenlerdir. Genelde taşkömüründen kaynaklanan uçucu külün, toprak alkali element içeriği linyit kömüründen kaynaklanan uçucu külünden daha fazladır (Tokyay ve Çetin, 1991).

Uçucu külde en fazla bulunan oksitler; kuvars (SiO_2), mullit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4) ve kalsit (CaCO_3)' dir (White, 1990).

Minerolojik analizlerde, genellikle uçucu kül içerisindeki silisyumun bir kısmının kuvars kristalleri halinde, diğer kısmının ise mullit ve camı yapıda olduğu saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit ve hematit bileşiminde, geri kalanının ise camı fazda olduğu görülmüştür. İdeal şartlarda elde edilen uçucu küllerin %66-88'inin camı yapıda olduğu, %70-88'inin SiO_2 ve Al_2O_3 , geri kalan kısmının ise demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve titanyum oksitlerinden meydana geldiği saptanmıştır (PFA Data Book, 1974, 1967).

Termik santrallerde kullanılan yakıta ve yakma koşullarına bağlı olarak, oluşan uçucu küllerin kimyasal özellikleri değişiklikler göstermektedir. Şekil 3.3. de termik santrale ait resim, Şekil 3.4. de İşçimenler Tuğla Fabrikasında depo edilmiş kül gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Uçucu Kül Oluşumu, Termik Santral



Şekil 3.4.Afşin-Elbistan Termik Santralinden Alınan ve İşçimenler Tuğla Üretim Fabrikasında Kullanılan Uçucu Kül

Türk standartları Enstitüsü'ne göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Türk Standartlarına Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70 (en az)
MgO	5 (en çok)
SO_3	3 (en çok)
Nem	3 (en çok)
Kızdırma kaybı	10 (en çok)

3.1.3. Pomza

Pomza boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, camsı, volkanik bir kayadır. Yüksek oranda ve birbiriyle bağlantılı olmayan gözenekler içeren, % 50'ye yakın nem suyu bulunduran ve dolayısıyla nemi alındığında özgül ağırlığı 0.5 g/cm^3 'e kadar düşebilen, toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve ses yalıtkanlığına, uygun basınç dayanımı ve elastisite modülüne sahip malzemedir. Asit veya bazik bileşimli olabilir. Asidik pomza, yeryüzünde en yaygın olarak kullanılan türüdür. Aşağıdaki çizelgede (Çizelge 3.2.) pomzalarda bulunan elementlerin yüzde oranları verilmiştir. Asidik pomzaya ait resim Şekil 3.5. de, bazaltik pomzaya ait resim Şekil 3.6. da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2. Pomzaların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri (Erkoyun, 2005)

% SiO ₂	60-70 (Baziklerde 50-60)
% Al ₂ O ₃	12-14
% Fe ₂ O ₃	1-2
% CaO	1-2
% MgO	1-2
% Na ₂ O + % K ₂ O	7-8
Renk: Asit pomzalarda beyaz, gri, sarı, pembe ve bu renklerin kirli tonlarında. Bazik pomzalarda kahverengi, siyah.	
Sertlik: ~ 6	
Yoğunluk: Asit pomzalarda ~ 1, çoğunlukla 1'den küçük olup, suda yüzer özellikte. Bazik pomzalarda ~ 1.5, çoğunlukla 1'den büyük.	



Şekil 3.5. Özgül Ağırlığı 0,5 – 1,0 gr/cm³ Arasında Değişen Asidik Pomza



Şekil 3.6. Özgül Ağırlığı 1,0 – 2,0 gr/cm³ Arasında Değişen Bazaltik Pomza

Kayacın içerdiği SiO₂ oranı kayaca aşındırıcı bir özellik kazandırmaktadır. Al₂O₃ bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Na₂O ve K₂O tekstil sanayinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (Erkoyun, 2005).

Şekil 3.7.' de çalışmalarımızda kullandığımız ve Osmaniye Toprakkaleden getirdiğimiz bazaltik pomzaya ait resim gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Osmaniye' den Getirilen ve Çalışmada Kullanılan Bazaltik Pomza

Pomza çok kırılgandır. Öğütme sırasında camsı olup, midye kabuğu şeklinde kırılmaktadır. Keskin kenarlı olduğundan en ince boyutuna bile indirildiğinde kalmaktadır (Erkoyun, 2005).

Pomzalar artık günümüzde gerek kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeni ile gerekse doğada bol miktarda bulunmaları ve dolayısıyla ucuz maliyetleri nedeniyle çok çeşitli alanlarda, kullanılmaktadırlar. Pomzaların kullanım alanları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Pomzanın Kullanım Alanları (Binici, 2002)

Kullanım Alanı	Kullanım Amacı
İnşaat Sektörü	Ülkemizde üretilen pomzanın % 80’i iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak, çimento üretimi sırasında katkı olarak, hafif yapı elemanları; tuğla, blok, asmolon ve panel üretiminde, yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır.
Tekstil Sektörü	Tekstil endüstrisinde özellikle kot taşlama işleminde kullanılmaktadır.
Tarım Sektörü	Pomza, bünyesine aldığı suyu uzun süre saklayabilmesinden dolayı kuraklık için önemli bir çözüm olmaktadır.
Kimya Sektörü	Tarım ilaçları ve kibrit sanayinde, gübre sanayinde, diş macunu ve dişçilikte, temizlik ve deterjan sanayinde ve özel tip boyalarda kullanılmaktadır.
Diğer Endüstriyel ve Teknolojik Alanlar	Kuyumculuk, metal ve cam sanayinde, asfalt kaplamalarda, oto lastik üretiminde, kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

3.2. Metot

Çalışmanın deneysel kısmını oluşturan bu bölümde, pişmiş toprak yapı malzemesinin mekanik ve fiziksel nitelikleri üzerinde etkinliği olan üç etkenin, etkinlik derecelerini ve hangi yönlerde etkin olduklarını belirlemek üzere yapılan fiziksel, mekanik deneyleri ve sonuçları incelenmiştir. Yapılacak fiziksel ve mekanik deneyler için, öncelikle yapılan ön deneylerin ışığında, üretilecek deney numunelerinin üretimine ilişkin ilkeler saptanmıştır. Daha sonra, saptanan bu ilkelere uygun olarak, üzerinde fiziksel ve mekanik deneylerin yapılacağı deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numuneleri üzerinde de sırasıyla fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır.

Prizmatik kalıba üstten kil doldurulması olumsuz sonuçlar vermiş ve bu nedenle numunelerin bir kısmı pişme sırasında dağılmıştır. Bu yönden şekillendirme ekstürsiyon yöntemi ile yapılmıştır. Deneyler için üretilen numuneler doğal kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Ön deney numunelerinin üretiminde, sıcaklık artış hızının saptanmasında, numunelerdeki yoğurma suyunun numuneye zarar vermeden buharlaşabilmesi göz önüne alınmış ve bu amaçla elektrikli fırındaki sıcaklık artış hızı 300°C ye kadar %25’ te tutulmuştur. Numunelerin soğutulması, pişme süresi sonunda fırının elektrik akımının kesilmesi ve fırının kendi halinde soğumaya terk edilmesi ile sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar bölgede bulunan bir tuğla fabrikasının bütün olanakları kullanılarak yapılmış ve bu konuda ilgili fabrika ile görüş birliğine varılmıştır.

Deney numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılması yolu ile elde edilen sonuçlar değerlendirmeye esas olmuştur. Fiziksel niteliklerin saptanması için sadece

su emme ve ultrases deneyleri, mekanik dayanımların saptanması için eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Deney numunelerine zarar vermemesi yönünden önce fiziksel deneylerin yapılması programlanmıştır. Ultrases deneyleri sonucunda hesaplanacak E modülü değerleri basınç ve eğilme dayanımlarının değerlendirilmesinde yardımcı olmuştur. Eğilme deneyi, 10 cm mesnet açıklığındaki prizmatik numuneye ortadan yük yüklenmesi ve numunenin kırılması ile gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi sonunda iki parçaya ayrılan numunenin her bir parçası üzerinde basınç deneyi uygulanmıştır. Eğilme ve basınç deneylerinde kuvvet artış hızı aynı tutulmuştur.

Seramik malzemelerin dayanımını etkileyen etkenler arasında pişme sıcaklığı önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, yapılan deneysel araştırmalarda değişik pişirme sıcaklıkları uygulanmıştır. Esas deneyler için üretilecek numuneler üç ayrı sıcaklık derecesinde (700, 900 ve 1050°C) pişirilmiştir.

Şüphesiz kilin pişirilmesinde uygulanacak fırın rejimi alışıla gelen ve hali hazırda fabrikada uygulanmaktadır. Burada yeni olan uçucu kül ve pomzanın bu klasik fırın rejiminden farklı olacağı düşünülmüş ve bunun için ön çalışmalar ve denemeler yapılmıştır. Ön deneylerde kullanılan numuneler çok az silis içeren kil ile üretilmiştir. Dolayısıyla bu deneylerde silis oranı değiştirilmiştir. Aslında, pişmiş toprak yapı malzemesi üretiminde kilin rötresini kontrol etmek amacı ile kile kum katılmaktadır. Bu nedenlerden hareket ederek esas deneyler için üretilecek epruvetlerde kilin içerdiği silis oranının değiştirilmesi öngörülmüştür. Böylece, silis oranının değişiminin mekanik dayanımlar ve fiziksel nitelikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, orijinal kil içine değişik oranlarda yüksek miktarda silis içeren kül ve bazaltik pomza katılması programlanmıştır.

Ayrıca pişmiş tuğlanın mikro-yapılarının elektron mikroskobu ile incelenerek morfolojik özelliklerinin karşılaştırılması, standart basınç ve eğilme dayanımı ile elastisite modülü, sülfat ve nitrat çözeltisi içerisinde saklanacak tuğla numunelerin kütle kaybı ve basınç dayanımı kaybının ölçülmesi yoluyla sülfat dirençlerinin değerlendirilmesi, harçların kuruma-büzülmeleri, tuğlaların donma ve çözülme deneyleri yapılmıştır.

Yukarıda sıralanan özellikler ile tuğladaki katkı oranları, pişirme sıcaklığı ve katkıların fiziksel-kimyasal özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Kile katılan kül ve pomza oranı ve pişme sıcaklığı etkenlerinin pişmiş toprak malzemenin mekanik dayanımlarına ve fiziksel niteliklerine etkilerini araştırmak için, bu üç etkenin değiştirilmesine dayalı bir program saptanmıştır.

Etkenlerden birisi ana madde ile ilgili olan uçucu kül, tekstil fabrikası külü ve bazaltik pomza oranıdır. Diğer ikisi pişme ile ilgili olduğundan üretimde ilk farklılığı küller ve bazaltik pomza oranı meydana getirmektedir. Bu nedenle, önce bu etkenin değişimine göre deney numunesi üretilmiştir. Bu amaçla, ilki, orijinal kilden olmak üzere (orijinal kil, bu durumda uçucu kül ve bazaltik pomza katılmadan kullanıldığı için kum oranı %0,0 kabul edilmiştir), değişik oranlarda kül ve bazaltik pomza katılan kil hamurları hazırlanmıştır. Bu katkılar ayrı ayrı ve eşit oranlarda birlikte katılacağından dört ayrı deney numunesi hazırlanmıştır. Ayrıca katısız numunelerde kontrol olarak değerlendirilmiştir.

Daha sonra bu kabule göre birçok deney numunesi üretilmiştir. Pişme sıcaklığı ve pişme ile ilgili etkenler olduklarından söz konusu numunelerin pişirilmesi bu yönlerden de programlanmaktadır. Böylece, söz konusu üç etkene göre özellikleri ayrı birçok farklı durum ortaya çıkmaktadır.

Deney numunelerinin üretiminde, kil, ağırlık olarak %18 oranında su ile karıştırılmıştır. Bunun için, önce kil 110°C de, sabit ağırlığa kadar kurutularak su içeriği bulunmuş ve kile % 18 su içerecek şekilde su ilave edilmiştir.

Su ile karıştırılan kil hamuru 1 gün dinlendirilmiştir. Şekillendirmeye geçilmeden önce mekanik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Kile, değişik oranlarda kül ve bazaltik pomza karıştırılması hallerinde, kullanılacak kil, eşit ağırlıkta iki kısma bölünerek her birisine kendi ağırlıkları oranında kül ve bazaltik pomza mekanik yolla karıştırmış ve hamur bu durumda 1 gün bekletilmiştir. Kül ve bazaltik pomza karışımının homojenliğini kontrol etmek üzere, kil hamurunun değişik yerlerinden örnekler alınmış ve katılan kül ve bazaltik pomza miktarı kontrol edilmiştir. Üretilen numuneler numaralandırıldıktan sonra bu durumdaki ağırlıkları 0,1 gr duyarlılıkla tartılmıştır. Kalıplara yerleştirme ve tartım işlemlerinden sonra, numuneler ızgara şeklinde ahşap bir raf üzerine yerleştirilerek doğal şekilde kurumaya bırakılmıştır. Numuneler kuru duruma gelinceye kadar beklenmiş ve bu durumda çiğ ağırlıkları 0,1 gr duyarlılıkla tartılarak saptanmıştır. Ayrıca, tüm numunelerin bu durumdaki boyutları dijital göstergeli boy ölçüm komperatörü ile ölçülerek saptanmıştır. Pişme işleminden sonra, yine tüm numunelerin pişmiş ağırlıkları 0,1 gr duyarlılıkla tartılmış ve yine bu durumdaki boyutları dijital göstergeli boy ölçüm komperatörü ile ölçülerek saptanmıştır.

3.2.1. Üretim Prosesi

Malzemelerin kimyasal analizleri ve tane dağılımları yapılmıştır. Tuğla üretimi için, pomza ile kil, uçucu kül ile kil, tekstil fabrikası atık külü ile kil, pomza, tekstil fabrikası atık külü ile kil ve pomza, uçucu kül ile kil olarak beş farklı karışım yapılmıştır. Kütlece kilin (%5, %10 ve %20) oranlarında belirtilen katkı için uygun su miktarları ve standart pişirme sıcaklığı belirlenmiştir.

Tuğla üretimi için bölgede yüz binlerce ton kil rezervi yer almaktadır. Özellikle Menzelet Barajı alt bölgesinde çok uygun gri kil yatakları ile fabrikanın hemen yanında oldukça hacimli kırmızı kil rezervi mevcuttur. Bölgedeki Afşin-Elbistan Termik santralinde yılda 1 milyon ton civarında uçucu kül oluşmaktadır. Hali hazırda bu miktarın birkaç katı kül santral civarında depolanmış durumdadır. Yine bölgede özellikle İslahiye ve Osmaniye'ye yakın yerlerde bol miktarda (görülür rezervi 2 milyon ton) olan pomza yatakları mevcuttur. (Kelling ve ark, 2000).

Ayrıca Kahramanmaraş' ın tekstil imalatı yönünden son yıllarda gelişme kaydetmesi nedeniyle mevcut fabrikalarda oluşan imalat sonucu çok büyük miktarlarda atık tekstil fabrikası külleri oluşmakta ve fazlalıkları nedeni ile stok sahası sorunu oluşmaktadır.

Tuğla üretim süreci, hammaddelerin ön öğütme ile homojenizasyonu, hammaddelerin ikinci öğütme ile homojenizasyonu, hammaddelerin eleme ile homojenizasyonu, tuğla

hamurunun hazırlanması ve dinlendirilmesi, tuğlaların kalıplanması, birinci ön kurutma işlemi, etüvde ön kurutma işlemi ve pişirme işlemlerinden oluşmaktadır

Tuğla üretimi için uygun malzemelerin seçimi çok önemlidir. Fazla miktarda bulunan eriyici tuzlar ürün tuğlanın, kullanımda belirli bir süreç sonunda çiçeklenmesine ve yüzeyden dökülmesine yol açar (Kılıç, 2003). Farklı hammaddelerin tuğla yapımında kullanılabilirliği pek çok araştırmanın konusu olmuştur (Atak ve Müdüroğlu, 1999).

Kahramanmaraş'ın Menzelet Barajından getirilen kil ile Kahramanmaraş'ın Türkoğlu ilçesinden alınan kırmızı kil İşçimenler tuğla fabrikasına getirilerek depolanmaktadır. Ayrıca Osmaniye'nin Toprakkale ilçesinden getirilen pomza ve Elbistan Termik Santralinden alınan uçucu kül fabrikada uygun bir yerde depolanmıştır. Tekstil fabrikalarının atık külleri çok ciddi anlamda çevresel ve depolama problemine neden olmaktadır. Bu dönemde elde edilen bu atık küllerin de belirlenen oranda tuğlaya katılması kararlaştırılmıştır. Katkılı tuğla üretiminde kullanılan hammaddeler kırmızı kil, gri kil, uçucu kül, bölgede bol miktarda olan tekstil fabrikalarının atık külleri ile pomzadır. Bunlar; ön öğütme ile homojenizasyonu, ikinci öğütme ile homojenizasyonu, eleme ile homojenizasyonu ve tuğla hamurunun hazırlanması ve dinlendirilmesi ile hazırlanmaktadır.

3.2.1.1. Fabrikada Yapılan Üretim

Tuğla, killi toprağın su ile hamur şekline getirilip, şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra özel ocak ve fırınlarda yüksek sıcaklıklarda (900°C) pişirilmesi ile elde edilmiştir. Tuğlanın özellikleri tuğla toprağının karışım oranına (kum-kil), üretim tekniğine, pişirilme şekline ve pişirildiği sıcaklık derecesine göre değişir. Deneme çalışmaları için sadece %10 bazaltik pomza ve %10 uçucu kül katılmış örnekler ile sadece kil ile üretilen örnekler için belirlenmiş olan oranlarda kil, pomza ve uçucu kül ön kırıcıya girmek üzere getirilmiştir (Şekil.3.8.).



Şekil 3.8. Ön Kırıcıya Girip Öğütülmeye Hazır Olan Kil, Pomza ve Uçucu Kül

Ön kırıcıdan çıkan ve belirli bir boyutun altına inen malzemeler daha küçük boyutlara indirmek için su ile öğütülmek üzere ikinci değirmene alınmaktadır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. İkinci Öğütülme Sistemi

Yeterince öğütülmüş olan malzemeler bantlar üzerinden karıştırıcıya getirilerek plastik kıvamına gelinceye kadar karıştırılır (Şekil. 3.10.).



Şekil 3.10. Plastik Tuğla Hamurunun Hazırlanması

İçerisinde yüksek basınç olan tanklara (Şekil. 3.11) iletilen plastik kıvamdaki tuğla hamuru daha sonra otomatik bir sistem ve tel kalıplar yardımı ile kesilmektedir (Şekil. 3.12 ve Şekil 3.13).



Şekil 3.11. Plastik Tuğla Hamurunun Stoklandığı Basınçlı Depo



Şekil 3.12. Yüksek Basınç Tankından Çıkan Hamur Tuğlaların Tel Sistemi ile Kesimi



Şekil 3.13. Otomatik Sistemde Tel Yardımı ile Kesilen ve Standart Boyut Verilen Tuğlalar

Tel ile kesme işleminden sonra çeşitli nedenlerle meydana gelen kusurlu tuğlalar sehpalarda fabrika çalışanları tarafından el ile toplama yordamıyla diğer sağlam tuğlalardan ayrılmaktadır (Şekil 3.14-3.15).



Şekil 3.14. Ön Kurutmaya Gitmeden Kusurlu Örneklerin Ayrılma İşlemi



Şekil 3.15. Ön Kurutmaya Gitmeden Kusurlu Örneklerin Ayrılma İşlemi

Kusurlu üretimlerin ayrılma işleminden sonra rötre çatlaklarının önlenmesi amacıyla ön kurutma işlemi güneşe kapalı atmosferde yapılmaktadır (Şekil 3.16 – 3.17). Bu şekilde gölgede dinlendirme işlemi tamamlanmadan yüksek sıcaklığa tabii tutulduğu takdirde hızlı bir şekilde su çıkışı nedeniyle tuğlalarda çatlama ve deformasyonlar oluşmaktadır.



Şekil 3.16. Ön Kurutmada İstifli Bir Şekilde Bekletilen Tuğlalar



Şekil 3.17. Güneşe Kapalı Ön Kurutma İşlemi

Yeterli ön kurutma işleminden sonra numuneler pişirilmeden 150 derecelik ikinci kurutma işlemi için fırına gönderilmektedir (Şekil 3.18-3.19).



Şekil 3.18. Ön Kurutmada Bekletilen Tuğlaların İkincil Kurutma İşlemi İçin Ön Fırına Girdirilmesi İşlemi



Şekil 3.19. İkinci Kurutma İşleminin Sonra Fırından Çıkan Numuneler

İkincil kurutma işleminden sonra 850–900 °C ye kadar pişirmek üzere fırın içerisindeki küçük odacıklarda istifleme işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Ana Fırında Pişirmek Üzere İstiflenen Tuğlalar

Ana fırında istiflemeden sonra fırının kapıları sıvanmaktadır (Şekil 21).



Şekil 3.21. İstiflenmiş Tuğlaların Fırına Konduktan Sonra Kapıların Sıvanmış Hali

İstiflenen tuğlaların arasına çok küçük boyutlardaki kömür tozları basınçla raf aralıklarına gönderilmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Tuğlaların Pişirilmesinde Kullanılan ve Otomatik Olarak Gönderilen Çok Küçük Taneli Kömür Küllerinin Bulunduğu Basınçlı Silolar

Fırında kömürle elde edilen yeterli ısıda pişirilen numuneler fırından alınmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Fırından Çıkan Tuğlalar

3.2.1.2. Laboratuarda Yapılan Katkılı Tuğla Üretim Süreci

3.2.1.2.1. Hammaddelerin Ön Öğütme ile Homojenizasyonu

Katkılı tuğla üretiminde kullanılan hammaddeler kırmızı kil, gri kil, kül ve pomza, fabrikada yerinde bir ön kırıcıdan geçirilmiştir (Şekil 3.24). Daha sonra bu malzemeler laboratuvar ortamındaki üretimde kullanılmak üzere laboratuara getirilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Malzemelerin Kırıcıdan Geçirilmesi



Şekil 3.25. Malzemelerin Laboratuara Taşınması

3.2.1.2.2. Hammaddelerin İkinci Öğütme ve Eleme ile Homojenizasyonu

Katkılı tuğla üretimi için laboratuara getirilen hammaddeler kırmızı kil, gri kil, kül ve pomza laboratuvar şartlarında büyük başlıklı tokmak ile büyük parçalar ufak parçalara ayrılmış ve ikinci defa öğütülmüştür. Yani kaba parçalar 2.8 mm lik elekten geçirildikten sonra elek altı malzemeler etüvde 24 saat 80°C bekletildikten sonra ikinci bir kırma işlemi yapılmış ve nemli olmayan yerde saklanmıştır. Etüvde kurutulmuş ve nemsiz bir ortamda saklanan malzemeler, 2,5 mm lik elekten elenerek karışıma hazır hale getirilmiştir. Elde edilen numuneler Şekil 3.26 'da görülmektedir.



Şekil 3.26. Öğütülen ve Elenen Hammaddeler

Her bir seri karışım için hazırlanan malzemeler kodlanarak plastik poşetlerde saklanmıştır.

3.2.1.2.3. Karışım Oran ve Miktarları

Çizelge 3.4 de karışıma giren malzemelerin kütleleri, Çizelge 3.5 de ise yüzdeleri verilmiştir. Her gruptan 10 adet numune üretilmiştir.

Çizelge 3.4. Karışım Miktarları (g)

Numune adı	Kırmızı Kil	Gri Kil	Pomza	Uçucu Kül	Tekstil Fabrikası Külü
5UKP	750	750	37,5	37,5	-
10UKP	750	750	75	75	-
20UKP	750	750	150	150	-
5UK	750	750	-	75	-
10UK	750	750	-	150	-
20UK	750	750	-	300	-
5P	750	750	75	-	-
10P	750	750	150	-	-
20P	750	750	300	-	-
5TKP	750	750	37,5	37,5	-
10TKP	750	750	75	75	-
20TKP	750	750	150	150	-
5TK	750	750	-	-	75
10TK	750	750	-	-	150
20TK	750	750	-	-	300
Tank	750	750	-	-	-

Çizelge 3.5. Bileşen Oranları

Numune adı	Bileşen türü ve oranı (%)		
	5UKP	%2,5 Uçucu Kül	%2,5 Pomza
10UKP	%5 Uçucu Kül	%5 Pomza	%90 Kil
20UKP	%10 Uçucu Kül	%10 Pomza	%80 Kil
5UK	%5 Uçucu Kül	-	%95 Kil
10UK	%10 Uçucu Kül	-	%90 Kil
20UK	%20 Uçucu Kül	-	%80 Kil
5P	-	%5 Pomza	%95 Kil
10P	-	%10 Pomza	%90 Kil
20P	-	%20 Pomza	%80 Kil
5TKP	%2,5 Tekstil Fabrikası Külü	%2,5 Pomza	%95 Kil
10TKP	%5 Tekstil Fabrikası Külü	%5 Pomza	%90 Kil
20TKP	%10 Tekstil Fabrikası Külü	%10 Pomza	%80 Kil
5TK	%5 Tekstil Fabrikası Külü	-	%95 Kil
10TK	%10 Tekstil Fabrikası Külü	-	%90 Kil
20TK	%20 Tekstil Fabrikası Külü	-	%80 Kil
T	-	-	%100 Kil

3.2.1.2.4. Malzemelerin Kimyasal İçerik ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Bölgeden temin edilen kil, pomza ve uçucu külün kimyasal özellikleri Çizelge 3.6' da, fiziksel özellikleri Çizelge 3.7 de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kil, Pomza ve Uçucu Külün Kimyasal İçerikleri

Bileşenler (%)	Kırmızı kil	Gri Kil	Pomza	Uçucu kül
SiO ₂	61.60	42.59	46.19	23.21
Al ₂ O ₃	17.93	11.92	17.26	12.88
Fe ₂ O ₃	8.24	6.97	11.27	13.06
CaO	1.61	13.97	8.98	22.55
MgO	1.34	6.28	5.27	3.42
SO ₃	-	-	0.05	12.16
Na ₂ O	0.63	1.33	4.06	0.60
K ₂ O	1.56	1.39	2.82	2.02
P ₂ O ₅	0.08	0.14	0.81	0.56
TiO ₂	0.99	0.71	3.03	0.41
MnO	0.31	0.12	0.18	-
NiO		0.02	0.03	-
ZnO		0.02	0.02	0.03
Cr ₂ O ₃		0.0093	0.0633	-
Kızdırma Kaybı		5.61	14.42	9.10

Çizelge 3.7. Kil, Pomza ve Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

Özellik	Kil	Pomza	Uçucu kül
Özgül Ağırlık	1.27	2.75	2.66
Su Emme Kapasitesi (%)	0.80	1.22	1.33
Boşluk Oranı (%)	35.20	50.32	-

3.2.1.2.5. Malzemelerin Tanecik Dağılımı

Çalışmada kullanılan uçucu külün tanecik dağılımı lazer ile yapılmıştır. Killerin tanecik dağılımı ise standart eleklerde yapılmıştır. Killerin tanecik dağılımı Çizelge 3.8'de, uçucu külün tanecik dağılımı Çizelge 3.9 da verilmiştir.

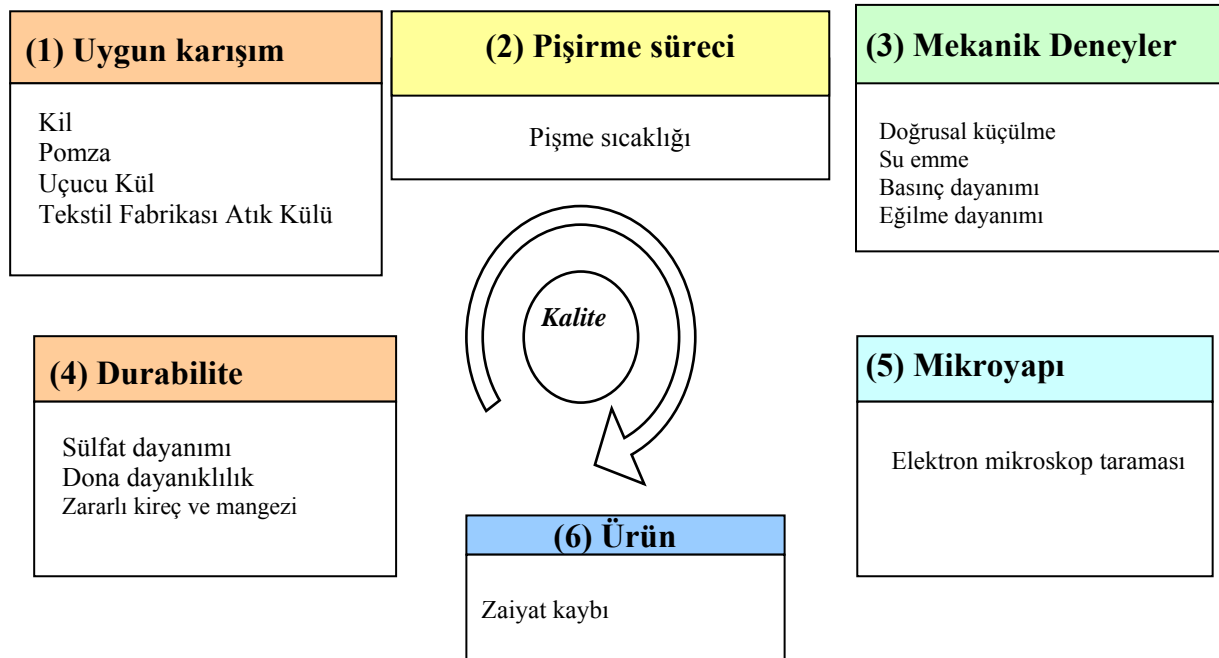
Çizelge 3.8. Kırmızı Kilin Tane Dağılımı Değerleri

Gri kil		Kırmızı kil	
Elek çapı (mm)	% Geçen	Elek çapı (mm)	% Geçen
0.01	9.78	0.01	8.11
0.1	21.92	0.1	32.45
0.50	27.80	0.50	43.06
0.75	42.53	0.75	64.07
1	54.52	1	74.69
2	64.26	2	80.69
2.4	78.93	2.4	87.82
2.6	84.39	2.6	90.34
2.8	93.03	2.8	94.28
5	97.29	5	97.70
10	100	10	100

Çizelge 3.9. Uçucu Külün Tane Dağılımı Değerleri

Elek çapı (μ m)	% Geçen	Elek çapı (μ m)	% Geçen	Elek çapı (μ m)	% Geçen
1	1.78	25	34.99	90	81.96
2	3.79	30	39.93	120	91.73
3	6.31	35	44.59	175	97.76
5	10.52	45	53.12	200	98.70
10	18.24	50	57.08	250	99.63
15	24.31	60	64.46	320	100
20	29.80	80	77.01	350	100

Tanecik dağılımından kullanılan malzemelerin yeterince öğütüldüğü anlaşılmaktadır. Yapım çalışmaları Şekil 3.27 de verilmiştir.



Şekil 3.27. Yapılan Çalışmalar

3.2.1.2.6. Tuğla Hamurunun Hazırlanması ve Dinlendirilmesi

1 g hassasiyetli terazide kütleleri belirlenen malzemeler paketlenerek hamur haline getirilmek üzere plastik poşetlerde yeni numunelerin üretime anında hazır hale getirilmesi için plastik poşetler içeriği belirli olacak şekilde numaralandırılarak, düzenli bir şekilde istiflenmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Tuğla Hamuru İçin Hazırlanan Numuneler

Oranları belirli paketler temiz bir kaba % 16 ila 18 arasında su verilerek plastik kıvam sağlanıncaya kadar yoğrulmuş ve hamur haline getirilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Tuğla Hamurunun Hazırlanması

İçinde en küçük hava kabarcığı kalmayacak şekilde çok dikkatli ve özenli bir şekilde yoğrulan hamurlar yine kalan en küçük hava kabarcıklarının mayalaşma etkisi ile yok olması için kapalı poşet içerisinde 1 gün bekletilmiştir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Dinlendirilen Tuğla Hamurları

3.2.1.2.7. Tuğlaların Kalıplanması

Hava kabarcıklarının yok olması için bekletilen hamur 24 saat sonra açılarak 2,5 x 2,5 x 11,5 cm ebatlarında hazırlanan kalıplar yağlandıktan sonra bunların içerisine özenli bir şekilde yerleştirilmiştir. Yaklaşık 2 mm kalınlıkta tahta bir takoz ile sıkıştırılan numuneler, içeriğinde bulunan ve deformasyona yol açan hava kabarcıklarını atmak için 30 dk boyunca vakum işlemine tabi tutulmuştur. Vakum işlemi takiben tekrar itinalı bir şekilde sıkıştırma yapıldıktan sonra kalıptan çıkarma süreleri için bekletmeye alınmıştır (Şekil 3.31–3.32).



Şekil 3.31. Tuğla Hamurunun Çimento Kalıplarına Konulması



Şekil 3.32. Tuğla Hamurunun Standart Tuğla Kalıbına Konulması

Kalıplardaki numuneler ön kurutma işlemine girmeden vakum cihazında olası havaları alınmıştır (Şekil 3.33). Vakum cihazının mantığı, kapalı alan içerisindeki havayı büyük bir basınçla alarak içerideki tuğlada bulunan boşlukların çekilmesidir. Vakum cihazında yaklaşık 30 dakika bekletilen numuneler tekrar tokmaklama yöntemi ile sıkıştırılarak son biçimini almıştır.



Şekil 3.33. Vakum Cihazı

3.2.1.2.8. Birinci Ön Kurutma İşlemi

Kalıptan çıkarılan numuneler içeriklerindeki su oranlarının % 10'un altına düşmesi için ön kurutma işlemi olarak oda sıcaklığında 8 saat dinlendirilmeye alınmıştır. Güneşe açık olmayan bir ortamda kurumaya bırakılmasının nedeni rötne oluşumuna engel olmaktır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Tuğla Numunelerinin Ön Kurutulma İşlemi

3.2.1.2.9. Etüvde Ön Kurutma İşlemi

Numuneler pişirildiklerinde (800 ile 1200 °C arasında) açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişen çeşitli renkler alırlar ve tuğla için gerekli mukavemete ulaşırlar. Isıtılmadan önce kurutma işlemi gereklidir. Tuğlanın en önemli özellikleri yüksek basınç dayanımı ve düşük miktarda su çekmeleridir (Kılınç ve ark, 2004).

Oda sıcaklığında bekletilen numuneler ani sıcaklık değişimi dolayısıyla oluşan çatlama ve kırılmaların önlenmesi için etüvde ön kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Yaklaşık 150 derecede 5 saat ön kurutma işlemine tabii tutulan numuneler artık pişirme işlemine hazır hale gelmişlerdir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Tuğla Numunelerin Etüvde Kurutulması

3.2.1.2.10. Pişirme Prosesi

Tuğla numuneler, etüvde kurutulduktan sonra, belirlenen sıcaklıklarda (700, 900 ve 1050 °C) fırında, 8 saat süre ile pişirilmiştir (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Tuğlaların Fırında Pişirilmesi

Tuğlaların pişirilme sürecinde yapılan ilk denemelerde fırında pişirilen tuğlaların taban kısımlarda yanma meydana geldiği gözlemlenmiş ve bundan sonraki denemelerde tuğlaların tüm yüzeylerine eşit miktarda ısı gelecek şekilde taban kısımlarına ızgara görevi görecektir maddeler konularak tuğlalar bu maddeler üzerine oturtulmuşlardır. Böylece tuğla içerisindeki organik maddelerin yüksek sıcaklıklardaki değişimleri fırına konan tüm tuğlalarda eşit hale getirilmiştir.

Pişirilen tuğlalar değişik katkı oranları ve ayrı pişirilme sıcaklıkları nedeni ile renklerinde ve görüntülerinde farklılıklar oluşmuştur. Katkı oranlarının farklılığından kaynaklanan bu renk farklılıkları kilin farklı olması ve farklı mineraller ihtiva etmesi nedeni ile başka yörede bulunan ve aynı katkılar içeren killere göre bile farklılık gösterebilir.

Bizim çalışmamızda 16 adet farklı karışım ve yine bunlara ait 3 ayrı pişirilme sıcaklığından kaynaklanan renk farklılıkları tespit edilmiştir. Pişirilen tuğlaların görüntüleri Şekil 3.37'de görülmektedir.

	Pişirme sıcaklığı (°C)		
	700	900	1050
Tanık			
TKP5			
TKP10			
TKP20			
P5			
P10			
P20			
UK5			
UK10			
UK20			
UPK5			
UPK10			
UPK20			
TK5			
TK10			
TK20			

Şekil 3.37. Değişik Sıcaklıklarda Pişirilen Tuğlaların Renkleri ve Görüntüleri

3.2.2. Deneysel Çalışmalar

Katkılı tuğla üretimi için, pomza + kil, uçucu kül + kil, tekstil fabrikası atık külü +kil, uçucu kül + pomza + kil, tekstil fabrikası atık külü + pomza + kil ile kil olarak altı farklı karışım yapılmıştır. Belirlenen katkı oranları için uygun su miktarları, öğütme süreleri ve pişirme sıcaklığı belirlenmiştir.

3.2.2.1. Mekanik Testler

700, 900 ve 1050 °C'de üretilen tuğlalar üzerinde standart eğilme, basınç ve elastisite testleri yapılmıştır (Şekil 3.38-3.39).



Şekil 3.38. Eğilme Test Cihazı

Eğilme dayanımları (1.1), basınç dayanımları (1.2) ifadesi ile bulunmuştur.

$$\sigma_E = \frac{3}{2} \left(\frac{P.L}{b.h^2} \right) \dots\dots\dots(1.1)$$

σ_E = Numunenin eğilme dayanımı (kgf/cm²), P = Kırılma yükü (kgf)

L = Mesnet açıklığı(cm), b = Numune genişliği (cm), h = Numune yüksekliği (cm)



Şekil 3.39. Basınç Test Cihazı

$$\sigma = \left(\frac{P_k}{A}\right).k \dots\dots\dots(1.2)$$

σ =Numunenin basınç dayanımı (kgf/cm²), P_k =Kırılma anındaki yük (kgf)

A =Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin alanı(cm²), k =Numunenin biçim katsayısı (0,5 alınmıştır).

3.2.2.2. Durabilite Deneyleri

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir (Baradan ve ark., 2002).

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan tuğla, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Tuğlanın içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, tuğlada değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Donma-çözülme, ısınma-soğuma gibi olaylar tuğlanın yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

Malzemelerin, hizmet süresi boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması, en az kullanılan malzemenin dayanımı kadar önemlidir. Tuğlaların da olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dış etkilere dayanıklı olmasına bağlıdır. Bu malzemenin, bazen işlevleri gereği taşımaları gerekli dış yüklerin etkisi dışında zamanla zararlı dış etkilerle bozulmaları mümkündür.

Betonarme elemanların bazıları uzun süreler sonunda işlevlerini yerine getiremez konuma gelmesine karşın, bazılarının ise çok kısa sürelerde bozulmaya başladıkları görülmektedir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde “kalıcı” denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır. Sadece malzeme özelliğini iyileştirmek ile çevrenin yapı üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek bazen olanaksız olabilir (Öner ve Yıldız, 2003).

Durabilite testleri iki yolla yapılmıştır. Bunlardan birisi, sodyum sülfat ve sodyum nitrat diğeri ise donma-çözülme etkisinin araştırılmasıdır.

3.2.2.2.1. Sülfat ve Nitrat Etkisi

Sülfatlar gerek doğal sularda, gerekse atık sularda az veya çok miktarda bulunabilir. Birçok dere ve göl sularında miktarı 100 mg/l'nin üstünde değildir. Ancak yeraltı sularında çok yüksek değerlere (g/l mertebesine SO_2) ulaşabilirler. Az tuzlu sularda sülfat genellikle alçı halinde, çok tuzlu sularda ise genellikle magnezyum, sodyum ve potasyum tuzları halinde bulunur (Binici ve ark. 2008). Tuğlaların sülfat direnci üzerindeki etkilerinin laboratuvar ortamında araştırılması için bazı hızlandırılmış deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tür deneylerle elde edilen sonuçların da uygulamadaki sonuçlarla tam bir korelasyonu her zaman mümkün olamamaktadır. Çünkü özellikle katkı maddesi etkilerinin incelenmesi için kullanılan yaygın bir deney metodu da periyodik değişikliklere uğramakta, metoda ilaveten farklı sülfat eriyikleri ve yoğunluklarını içeren deney programları geliştirilmektedir.

Sülfat etkisine karşı dayanımlarını belirlenmek için onaltı farklı karışımın her birinden yeterli miktarda örnek üretilmiştir. Örnekler 24 saat laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra deney gününe kadar musluk suyu içerisinde bekletilmiştir. Musluk suyunda 28 gün bekletildikten sonra örnekler %5 sodyum sülfat ve %5 sodyum nitrat çözeltilerine konmuştur. Numuneler üstü kapalı plastik kaplarda saklanmış ve zaman zaman yüzeyde sülfatların toplanmasını engellemek için çözelti karıştırılmıştır. Her iki çözeltinin de pH değerleri pH metre ile devamlı kontrol edilerek sabit kalması sağlanmış ve 6 ay çözeltide bekletilen numunelerin kütle kayıpları ve basınç dayanımları bulunmuştur. Her deneyde üç numune değerlendirilmiş ve bu üç örneğin ortalama değeri alınmıştır. Şekil 3.40'da kimyasal çözeltilerde bekletilen bir grup numune görülmektedir.



Şekil 3.40. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Ortamında Bekletilen Numuneler

3.2.2.2.2. Donma-Çözülme Etkisi

Genel olarak, cisimler boşluklu bir yapıya sahiptirler. Cisimlerin gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması malzemenin mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir (Ünal ve Uygunoglu, 2003).

Malzemenin parçalanması, suyun donması sonucunda hacminin artmasından ileri gelmektedir. Bu nedenle birçok yapı malzemesi donma olayının etkisi altında kalmaya ve bunun sonucu olarak da hasar görmeye elverişlidir (Postacıoğlu,1987).Su donduğunda hacminde %9 oranında bir artış meydana gelir (Neville,1988).

Malzemelerin yapısında oluşan genişlemenin sonunda cisimlerin boşluk yapısında önemli değişimler olmaktadır. Donma-çözülme olayının birçok sefer tekrarlanması sonucu oluşan boşluklar biraz daha genişlemekte ve bunun sonucu olarak da cismin yüzeyinde önemli derecelerde çatlaklar meydana gelmektedir. Bazı kompozit yapı malzemeleri boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu boşluklar malzemenin üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu nedeniyle bulunmaktadır (Budak, 2003).

Tuğladan aranan önemli özellikler, çekme mukavemeti, donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılık, aşınmaya dayanıklılık, zararlı kimyasal etkilere dayanıklılık, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, su geçirmezlik ve ısı iletkenliğidir (Yılmaz, 1988).

Donma-çözülme deneyinde TS3449 standardına uygun olarak, numuneler önce değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 110°C 'de kurutulmuştur. Etüvden çıkartılıp uygun bir kaba konularak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra, 0.1 g hassasiyetle tartılarak (W_0) bulunmuştur. Bu şekilde kurutulmuş olan deney numuneleri normal atmosfer şartlarında suya doygun hale getirilmiş ve donma-çözülme cihazına konulmuştur. Soğutma hızı yaklaşık 4 saat zarfında -200°C 'ye düşecek şekilde ayarlanmıştır. Donma-çözülme cihazında (Şekil 3.41) 4 saat -200°C ve 4 saat $+200^{\circ}\text{C}$ olmak üzere toplam 30 çevrim ayarlanmıştır. Bu şekilde donma-çözülme işlemi 30 kez tekrarlanan deney numuneleri 110°C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup desikatörde soğutulduktan sonra 0.1 g duyarlılıkta tartılmıştır (W_n). Bu numunelerin kütle kayıpları hesaplanmış ve donma-çözülme sonrası örneklerin basınç, eğilme ve kütle kayıpları bulunmuştur.



Şekil 3.41. Donma-Çözülme Testi

3.2.2.2.3. İslanma-Kuruma Çevrimleri ve Zararlı Magnezi ile Kireç Varlığı

Afşin-Elbistan termik santral uçucu küllerinde yüksek oranda kireç (% 22,5) ve SO₃ (%12,1) içermektedir. Ancak UK ve pomza katkılı örneklerde söz konusu bileşenlerin oranları düşmektedir. Serbest kireç ve SO₃' ün dürabilite sorunu yaratıp yaratmayacağı incelenmiştir. Bu amaçla üretilen tuğla numunelerine diğer durabilite deneyleri yanında ıslanma-kuruma çevrimleri (takip eden 1 günlük kuruma çevrimler) uygulanmıştır. Tuğlalarda olası zararlı Magnez ve kireç varlığı da araştırılmıştır.

3.2.2.3. Ultrasonik Ses Deneyi

Ultrasonik test cihazının kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen P ve S dalgalarının betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilebilmektedir (Erdoğan, 2003).

Beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen ses üstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$V = (S / t) 10^6$$

Burada; V = P dalga hızı (metre/saniye),

S= Beton bloğun ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = P dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (mikrosaniye) (Erdoğan, 1993).

Ultrasonik test için hazırlanan numuneler, yüzeylerindeki kireç ve benzeri maddeler temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir. Bu şekilde hazırlanan numune yüzeylerine ultrasonik test cihazının dalga alıcı-verici uçlarının tam temas etmesi sağlanmıştır. Numunelerin düzgün yüzeylerinden okumalar yapıp ortalama değerler kaydedilmiştir.

Kompozit bir malzeme olan tuğlada karışıma giren malzemelerin kalitesi, karışım oranı, karılması, yerleştirilmesi ve pişirilme sıcaklığı tuğla performansına etki eden önemli parametrelerdir. Tuğla kalitesinin artırılması amacı ile tuğlanın kalıplanmasında ve pişirilmesinde bazı gelişmiş teknolojilerden yararlanılır. Vakum uygulaması da bu teknolojilerden biridir. Vakum uygulanması ile tuğla içerisinden, işlenebilirlik için konulmuş olan su ile oluşan hava boşlukları alınır. Böylece karışımın su muhtevası azaltılarak daha boşluksuz tuğla elde edilir. Bu ise tuğlanın hem fiziksel hem de mekanik özelliklerinin iyileşmesine sebep olur. Ayrıca tuğlaya vakum uygulaması erozyona, aşınmaya ve devirsel donma çözümlerine karşı direnç kazandırmaktadır. Vakumlanmış tuğlanın diğer bir avantajı da erken katılaşma ve sertleşmedir. Bu durum bazı koşullarda kalıpların daha erken kaldırılabilmesine olanak sağlar. Tuğlanın kalitesinin tespitinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altındaki tuğlanın kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti

olarak tanımlanmaktadır. Tuğla basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan standart metot, prizmatik numuneleri kırarak basınç dayanımını belirlemektir.

Tuğla basınç dayanımının belirlenmesinde, yukarıda belirtilen metotlardan başka, yapı elemanına zarar vermeyen, uygulaması kolay tahribatsız deney metotları da kullanılmaktadır. Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin belirlendiği deney metodu, yapı elemanına zarar vermeyen, kolay ve hızlı bir yöntem olması nedeniyle en yaygın kullanılan metottur. Ancak birçok kişi tarafından bilinçsizce kullanılmakta ve deney sonuçları yanlış değerlendirilmektedir. Ayrıca Schmidt çekici, sadece tuğla vb malzemelerin yüzeyi ile ilgili bilgi vermekte, malzemenin içyapısını yansıtamamaktadır. Dolayısı ile bulunacak sonuçlar, betonun gerçek basınç dayanımını vermez, sadece tamamlayıcı ve yararlı ek bilgiler verebilir (TS 3260, 1978).

Diğer bir tahribatsız test metodu da, ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinde geçiren ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında bir bilgi elde edildiği metottur (Erdoğan, 1990).

Araştırmacılar, çalışmaları sonucunda tahribatsız deneylerden Ultrasonik deney metodu sonuçlarının, diğer deney metotları sonuçlarına göre daha güvenilir değerler verdiğini belirtmişlerdir (Franko ve ark., 2000).

Ses dalgaları tuğla numune boyunca ilerlerken boşluklara rastladığında bu boşluğu geçemeyip çevresini dolanmakta ve sonuç olarak sesin geçiş süresi uzamaktadır. Malzemedeki 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 aşağıdaki bağıntılarda verilmiştir (Öztürk, 2001).

$$V = \frac{l}{t}$$

v: Sesin hızı (km/sn), l: Sesin katettiği düşünülen mesafe (50 mm), t: Sesin geçiş süresi 10^6 sn. (μ sn)

50 mm kalınlığında üretilen standart tuğlalar aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi Ultrasonik ses geçişi deneyine tabi tutulmuşlardır (Şekil 3.42-3.43-3.44). Deneye başlamadan önce aparatı ile öncelikle aletin kalibrasyonu yapılır. Kalibrasyon fabrika değeri 24,5 olan silindirik alettan ölçüm yapılır ve alet farklı değer verirse bu 24,5 değerine ayarlanır. Daha sonra deney aletinin tuğla yüzeylerine tam oturması ve arada boşluk kalmaması için gres yağı ile deney aletinin uçları yağlanır. Dijital ekrandan en küçük sayısal değer yakalanıncaya kadar kutuplar karşılıklı birbirlerine tutulur. Dijital ekranda yakalanan en küçük ve değişmeyen değer bizim numuneden geçen ses dalgasının süresidir. Daha sonra bu değer numunenin kalınlığı olan 50 mm.' ye bölünerek ses geçiş hızı bulunur.



Şekil 3.42. Numunelerin Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulması



Şekil 3.43. Numunelerin Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulması



Şekil 3.44. Ultrasonik Ses Deneyine Tabi Tutulan Numuneler

3.2.2.4 Elektron Mikroskop Çalışmaları

Pek çok endüstri minerallerinin kalitesinin belirlenmesinde kantitatif kimyasal analiz yöntemleri killerin değerlendirilmesinde pek kullanışlı değildir. Kimyasal analiz sonuçları tek başına, killerin mineral yapısı hakkında aydınlatıcı bilgiler vermemektedir. Ayrıca killerin teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde de iyi bir kılavuz değildir. Ancak kimyasal analiz sonuçlarının ve diğer deney sonuçları ile beraber değerlendirilmesi ile kil hammaddenin mineralojik yapısı ve teknolojik özellikleri hakkında sağlıklı bilgiler elde etmek mümkündür. Tuğla ve kiremit imaline uygun killi toprakların bir standarda sokulamayacağını ancak yukarıdaki özellikleri aramanın faydalı olacağı belirtilmiştir (Sarız ve Nuhoglu 1992).

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması, bu elektron demetinin örnek yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve örnek atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Mikroskopta bir seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında 4 adet örnek incelenebilmektedir.

Mikroskopta yapılacak incelemeler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik örnekler de metal ve metal olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal örnekler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan örneklerin yüzeyleri en fazla 20 mm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir (Görür, 2007).

Çalışmada pomza, uçucu kül ve tekstil külünün tuğlanın hammaddesi olan kil ile yapmış olduğu kimyasal bozulmalara ışık tutması için elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılmıştır. Her grup örneği temsil eden örnekler alınmış, mikro yapıları incelenmiştir. Örnek boyutları 10 mm (1x1x1 cm) küp şeklinde alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1 Fabrikada Üretilen Katkılı Tuğlalar****4.1.1 Kurutma Sonrası Yapılan Deneyler**

Tuğla üretimi; hammadde hazırlanması, şekillendirme, kurutma, pişirme, ambalajlama ve sevk etme kademelerinden oluşmaktadır. Plastik tuğla çamurunun kalıplara dökülüp istenen boyutlardaki şeklini almasından sonra tartılıp sonuçlar kaydedilmiştir. Aynı zamanda kuruma küçülmesinin belirlenmesi için örneklerin üzerinde TS 4790’da belirtildiği gibi 100 mm’lik uzunlukta işaretleme ve 110 °C’de etüvde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutma sonrasında örneklerin ağırlıkları ölçülerek plastiklik suyu, işaretlenmiş uzunlukları ölçülerek kuruma küçülmeleri belirlenmiştir. Çizelge 4.1 de verilen değerlere göre örnekler oldukça plastiktir. Kuruma küçülmesi kil oranına bağlı olarak daha fazla artmaktadır.

Çizelge 4.1. Kuru Numuneler Üzerindeki Deney Sonuçları

Özellik	Katkısız tuğla	Katkılı tuğla
Plastik suyu (%)	42.3	44.2
Kurutma küçülmesi (%)	8.5	5.2
Kuru eğilme dayanımı (Kg/cm ²)	3.3	9.4

4.1.2. Tuğlaların Mekanik Özellikleri

Plastiklik suyu oranı, kuruma küçülmesi oranı ve eğilme mukavemeti değerleri TS 4790’da verilen deney yöntemlerine uygun olarak belirlenmiştir. Kurutulan test örnekleri 850–900 °C’de pişirilerek bu numuneler üzerinde belirli deneyler yapılabilmektedir. Her bir deneyin sonucu, 3 adet test örneği üzerinden alınan değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre en iyi sonuç olarak belirlenen karışım oranlarında fabrikada yapılan gerçek tuğla üretimleri ile elde edilen tuğlalar üzerine TS 4790, TS 705, TS 4377’de verilen yöntemlere göre testler uygulanmış ve TS 4790’da istenen değerlere uyup uymadığı kontrol edilmiştir. 850–900 °C ısıda pişirilen numuneler fırından alınmıştır. Katkısız ve katkılı tuğlaların özgül ağırlık, küçülme, su emme, renk, basınç ve eğilme dayanımları ile büzülme durumları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri

Tuğla türü	Fiziksel özellikler				Mekanik özellikler		
	Özgül Ağırlık	Doğrusal Küçülme (%)	Su Emme (%)	Renk	Basınç Dayanımı (Kg/Cm ²)	Eğilme Dayanımı (Kg/Cm ²)	Büzülme
Katkılı tuğla	1.86	5.6	15	Açık kırmızı	37	3.5	Kısmen
Katkısız tuğla	1.84	8.7	16	Kırmızı	29	9.4	Yok

Tuğlaların fiziksel deney sonuçları değerlendirildiğinde özgül ağırlık katkılı ve katkısız tuğla arasında çok fazla bir farklılık göstermemiştir. Küçülme deney sonuç değerlerine bakıldığında katkısız tuğlanın literatürde geçen en yüksek % 10 değerine yaklaştığı halde katkılı tuğlanın % 5,2 değerinde kaldığı ve uygun olduğu görülmektedir. Su emme oranlarının hemen hemen aynı olduğu ve en yüksek % 18 sınırını her ikisinin de geçmediği görülmüştür.

Mekanik özellikler değerlendirildiğinde basınç dayanımının katkılı tuğlalarda katkısız tuğlalara nazaran yaklaşık % 30' luk bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımı test sonucunda ise katkılı tuğla değerinin düştüğü gözlemlenmiştir.

4.1.3. Tuğla Üretiminin Değişik Aşamalarında Meydana Gelen Zayıt Oranları

Tuğla üretiminin plastik kesim, ön kurutma, ikinci kurutma ve pişirme aşamasında meydana gelen zayıtlar ve oranları belirlenmiştir. 1841 adet tuğla üzerinden yapılan hesaplamalar ve elde edilen bulgular Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tuğla Üretiminin Değişik Aşamalarında Meydana Gelen Zayıt Oranları

Tuğla türü	Zayıt türü				Oranlar		
	Plastik kesim	Ön kurutma	İkinci kurutma	Pişirme	Kusurlu Toplam	Kusursuz Toplam	Yüzde
Katkılı tuğla	15	13	12	6	46	1836	2.4
Katkısız tuğla	46	19	36	18	119	1722	6.5

Çizelge 4.3.' de bulunan değerler incelendiğinde katkılı tuğla numunelerinin farklı evrelerdeki zayıt miktarları katkısız tuğla miktarlarına göre çok daha az olduğu

görülmekte ve yine çizelgeden katkılı tuğla zayıf oranı % 2,4 iken katkısız tuğlanın % 6,5 olduğu görülmektedir.

4.2. Laboratuarda Yapılan Çalışmaların Sonuçları

4.2.1. Mekanik Test Sonuçları

4.2.1.1. Kuruma - Pişme Küçülmesi Değerleri ve Zararlı Magnez ile Kireç Varlığı

110 °C'de elde edilen kuruma küçülmesi sonuçlarına göre, uçucu kül katkılı örnekler hariç diğerlerinin kuruma küçülme değerleri standartta verilen (maksimum %8) değerlerin altında bulunmuştur. UK içerisindeki serbest kireç, zamanla bünyesine aldığı su ile genişlemektedir. Kuruma sırasında su kaybı yüzünden örneklerde kuruma büzülmesi meydana gelmiştir. Pomza ve tekstil fabrikası atık külünün kuruma ve pişme küçülmesine önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Kuruma ve pişme küçülme değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4'e göre, 700 °C'de pişirilen örnekler üzerinde elde edilen pişme küçülme değerleri dikkate alınırsa pomza katkılı örnekler, en düşük pişme küçülmesi göstermiştir. Muhtemelen bu sıcaklıkta magnezyum gibi pomza bileşenlerinin yanmaması, pişme küçülmesinin daha az olmasının nedeni olmuştur.

900 °C'de pişirilen örnekler üzerinde elde edilen pişme küçülme değerlerine göre pomza katkılı örnekler en yüksek pişme küçülmesi göstermiştir. Bunun nedeni bu sıcaklıkta bazı pomza bileşenlerinin yanması (erimesi) ile açıklanabilmektedir. 1050 °C'de pişirilen örnekler üzerinde elde edilen toplam doğrusal küçülme değerleri de standartta ön görülen %10'un altında elde edilmiştir.

900 ile 1050 °C'e arasında pomzalı örneklerin pişme küçülme değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır. Uçucu külün küçülmeyi bir miktar artırdığı, ancak bunun önemsiz derecede kaldığı belirlenmiştir.

Uçucu kül ve tekstil fabrikası atık küllerin çok ince taneli olması, sertleştiği zaman yüksek dayanım vermesi ve kilin yapısındaki oksitleri içermesi nedeniyle tuğla üretimi için seçilmiştir (Öztürk, 2001). Uçucu kül ve pomzanın tuğla üretiminde kullanılması ile tuğlaların kuruma azalırken pişme küçülmeleri bir miktar artmaktadır. Ancak bu artış standarda uygundur.

Çizel 4.4. Kuruma ve Pişme Küçülmesi Değerleri

Numune Adı	Kuruma Küçülmesi Değerleri (%)	Toplam Pişme Küçülme Değerleri (%)		
	110 °C (max. % 8)	700 °C (max. % 10)	900 °C (max. % 10)	1050 °C (max. % 10)
5UKP	5.15	4.12	5.10	5.19
10UKP	5.11	4.08	5.53	5.55
20UKP	5.03	4.33	6.11	6.18
5UK	8.25	8.29	6.46	7.17
10UK	8.66	8.36	7.33	8.06
20UK	8.87	8.88	8.21	8.36
5P	1.72	1.88	7.55	7.52
10P	1.63	1.69	8.42	8.43
20P	1.49	1.47	9.30	9.32
5TKP	5.87	5.18	4.12	3.59
10TKP	6.05	5.42	4.25	3.13
20TKP	6.22	5.73	4.57	3.34
5TK	7.18	6.13	6.05	8.76
10TK	7.45	6.25	6.14	9.17
20TK	7.83	6.58	6.33	9.78
T	6.55	5.56	5.01	4.23

Standarda göre 24 saat su içerisinde bekletilen numuneler, 2 saat su içerisinde kaynadıktan sonra tuğlalarda yapılan gözlemler herhangi bir çatlak, hasar vb deformasyon gözlenmemiştir. Sadece %20 uçucu kül katkılı numunelerde kısmi çiçeklenme oluşmuştur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Zararlı Magnez ve Kireç Deneyinden Sonraki Numunelerin Görünümü

4.2.1.2. Su Emme ve Birim Hacim Ağırlığı Değerleri

700 °C’de üretilen tuğlaların su emme ve birim hacim ağırlıkları Çizelge 4.5.’ de 900 °C’de üretilen tuğlaların su emme ve birim hacim ağırlıkları 4.6.’ da, 1050 °C’de üretilen tuğlaların su emme ve birim hacim ağırlıkları 4.7 ’de verilmiştir. Çizelgelerde üretilen tuğlaların ilk ağırlık, son ağırlık ve dolayısıyla su emme değerleri ile hacim ve birim hacim ağırlıkları verilmiştir. Uçucu kül ve pomza katkılı örnek serilerinde elde edilen değerlerin standart değerlerin üzerinde gerçekleştiği ve uçucu kül ile pomza katkıları su emmeyi bir miktar olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. Katkılı tuğlalarda su emme oranının düşük olması suyu az geçirme özelliği kazandırabilen katkıların kullanılmış olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.5. 700 °C’de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları

Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Su emme (%)	Hacim (cm ³)	Birim hacim ağırlıklar (g/cm ³)
5UKP-1	110.97	131.11	18.14	65.00	1.707
5UKP-2	112.45	132.68	17.99	65.00	1.730
5UKP-3	106.24	125.36	17.99	60.00	1.707
5UKP-ort	109.89	129.72	18.04	63.33	1.720
10UKP-1	121.37	144.69	19.21	75.00	1.618
10UKP-2	124.58	147.97	18.77	72.00	1.730
10UKP-3	122.25	145.62	19.40	72.00	1.639
10UKP-ort	122.73	146.09	19.12	73.00	1.660
20UKP-1	112.79	136.87	21.34	70.00	1.611
20UKP-2	113.26	137.39	21.31	70.00	1.618
20UKP-3	110.34	133.98	21.42	70.00	1.576
20UKP-ort	112.13	136.08	21.35	70.00	1.601
5UK-1	113.13	138.33	22.27	65.00	1.740
5UK-2	111.56	136.31	22.18	65.00	1.716
5UK-3	113.87	139.01	22.07	70.00	1.626
5UK-ort	112.85	137.88	22.17	66.67	1.694
10UK-1	107.09	134.76	25.83	65.00	1.647
10UK-2	104.83	131.89	25.81	65.00	1.612
10UK-3	104.23	131.12	25.79	65.00	1.603
10UK-ort	105.38	132.59	25.81	65.00	1.620
20UK-1	105.97	134.75	27.15	70.00	1.513
20UK-2	109.80	139.51	27.05	70.00	1.568
20UK-3	107.34	137.12	27.74	70.00	1.533
20UK-ort	107.70	137.13	27.31	70.00	1.538
5P-1	126.36	145.80	15.38	70.00	1.805
5P-2	127.79	148.15	15.93	70.00	1.825
5P-3	125.34	145.40	16.00	70.00	1.790
5P-ort	126.50	146.45	15.77	70.00	1.806
10P-1	121.18	140.00	15.53	65.00	1.864
10P-2	122.80	141.51	15.23	70.00	1.754
10P-3	121.56	140.24	15.36	65.00	1.870

10P-ort	121.85	140.58	15.37	66.67	1.829
20P-1	124.41	142.01	14.15	66.00	1.885
20P-2	130.09	148.38	14.05	70.00	1.858
20P-3	121.23	138.09	13.90	65.00	1.865
20P-ort	125.24	142.83	14.03	67.00	1.869
5TKP-1	114.97	135.11	17.51	65.00	1.768
5TKP-2	115.26	135.58	17.63	65.00	1.773
5TKP-3	108.24	127.46	17.75	60.00	1.804
5TKP-ort	112.82	132.72	17.63	63.33	1.782
10TKP-1	125.47	149.79	19.38	75.00	1.672
10TKP-2	127.55	152.57	19.61	75.00	1.700
10TKP-3	123.21	147.35	19.59	74.00	1.665
10TKP-ort	125.41	149.90	19.52	74.67	1.679
20TKP-1	118.31	144.48	22.11	75.00	1.577
20TKP-2	120.11	145.31	20.98	80.00	1.501
20TKP-3	122.96	148.94	21.13	80.00	1.537
20TKP-ort	120.46	146.24	21.40	78.33	1.538
5TK-1	110.23	134.78	22.27	65.00	1.695
5TK-2	111.56	136.31	22.18	65.00	1.716
5TK-3	113.13	138.33	22.27	65.00	1.740
5TK-ort	111.64	136.47	22.24	65.00	1.717
10TK-1	110.09	134.98	22.60	65.00	1.693
10TK-2	104.83	130.09	24.09	65.00	1.612
10TK-3	105.63	131.12	24.13	65.00	1.625
10TK-ort	106.85	132.06	23.61	65.00	1.643
20TK-1	105.97	133.75	26.21	65.00	1.630
20TK-2	102.53	130.01	26.80	65.00	1.577
20TK-3	109.80	139.51	27.05	70.00	1.568
20TK-ort	106.10	134.42	26.68	66.67	1.592
T-1	115.43	136.22	18.01	60.00	1.924
T-2	117.90	138.50	17.44	65.00	1.813
T-3	117.60	138.07	17.41	65.00	1.810
T-ort	116.98	137.60	17.62	63.33	1.849

Çizelge 4.6. 900 °C’de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları

Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Su emme (%)	Hacim (cm ³)	Birim hacim ağırlıklar (g/cm ³)
UKP-1	113.44	134.43	18.50	65.00	1.715
UKP-2	108.86	129.82	19.25	65.00	1.674
5UKP-3	106.24	125.36	18.00	60.00	1.707
5UKP-ort	109.51	129.87	18.58	63.33	1.698
10UKP-1	105.85	126.55	19.55	75.00	1.628
10UKP-2	106.34	126.09	18.57	72.00	1.636
10UKP-3	104.37	125.28	20.03	72.00	1.605
10UKP-ort	105.52	125.97	19.38	73.00	1.623
20UKP-1	102.68	126.26	22.96	70.00	1.579
20UKP-2	109.13	131.10	20.13	70.00	1.559
20UKP-3	108.46	131.16	20.93	70.00	1.549
20UKP-ort	106.76	129.51	21.34	70.00	1.562
5UK-1	110.23	134.78	22.27	65.00	1.695
5UK-2	111.56	136.31	22.18	65.00	1.716
5UK-3	113.13	138.33	22.27	70.00	1.616
5UK-ort	111.64	136.47	22.24	66.67	1.675
10UK-1	113.73	142.84	25.59	65.00	1.624
10UK-2	113.87	142.01	24.71	65.00	1.626
10UK-3	109.98	139.54	26.87	65.00	1.571
10UK-ort	112.53	141.46	25.72	65.00	1.607
20UK-1	92.39	118.06	27.78	70.00	1.539
20UK-2	93.24	119.24	27.88	70.00	1.554
20UK-3	99.12	125.67	26.78	70.00	1.524
20UK-ort	94.92	120.99	27.48	70.00	1.539
5P-1	112.55	131.30	16.65	70.00	1.731
5P-2	115.78	135.92	17.39	70.00	1.781
5P-3	117.60	138.07	17.41	70.00	1.809
5P-ort	115.31	135.10	17.15	70.00	1.773
10P-1	116.37	136.86	17.60	65.00	1.790
10P-2	113.62	132.69	16.78	70.00	1.893
10P-3	117.60	138.07	17.41	65.00	1.810

10P-ort	115.86	135.87	17.26	66.67	1.831
20P-1	119.77	139.88	16.79	66.00	1.842
20P-2	119.47	139.59	16.84	70.00	1.838
20P-3	119.09	139.05	16.76	65.00	1.984
20P-ort	119.44	139.51	16.79	67.00	1.888
5TKP-1	111.95	133.00	18.80	65.00	1.722
5TKP-2	118.83	140.75	18.44	65.00	1.697
5TKP-3	110.57	131.14	18.60	60.00	1.701
5TKP-ort	113.78	134.96	18.61	63.33	1.706
10TKP-1	118.00	140.96	19.45	75.00	1.685
10TKP-2	114.80	136.90	19.25	75.00	1.766
10TKP-3	114.30	137.07	19.92	74.00	1.632
10TKP-ort	115.70	138.31	19.54	74.67	1.694
20TKP-1	112.38	138.39	23.14	75.00	1.605
20TKP-2	114.74	141.31	23.15	80.00	1.529
20TKP-3	112.14	138.42	23.43	80.00	1.602
20TKP-ort	113.09	139.37	23.24	78.33	1.578
5TK-1	111.11	134.20	20.78	65.00	1.709
5TK-2	106.33	128.35	20.70	65.00	1.772
5TK-3	109.13	131.10	20.13	65.00	1.678
5TK-ort	108.86	131.22	20.53	65.00	1.719
10TK-1	109.63	135.25	23.36	65.00	1.686
10TK-2	115.03	141.76	23.23	65.00	1.643
10TK-3	113.87	142.01	24.71	65.00	1.626
10TK-ort	112.84	139.67	23.76	65.00	1.651
20TK-1	93.97	119.90	27.59	65.00	1.566
20TK-2	102.84	130.41	26.80	65.00	1.582
20TK-3	99.12	125.67	26.78	70.00	1.524
20TK-ort	98.64	125.33	27.05	66.67	1.557
T-1	105.04	123.89	17.94	60.00	1.909
T-2	107.95	127.30	17.92	65.00	1.800
T-3	110.30	129.75	17.63	65.00	1.838
T-ort	107.76	126.98	17.83	63.33	1.849

Çizelge 4.7. 1050 °C’de Üretilen Tuğlaların Su Emme ve Birim Hacim Ağırlıkları

Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Su emme (%)	Hacim (cm ³)	Birim hacim ağırlıklar (g/cm ³)
UKP-1	112.33	133.82	19.13	65.00	1.604
UKP-2	108.86	129.82	19.25	65.00	1.674
5UKP-3	114.30	137.07	19.92	60.00	1.632
5UKP-ort	111.83	133.57	19.43	63.33	1.636
10UKP-1	106.54	128.54	20.64	75.00	1.639
10UKP-2	111.11	134.20	20.78	72.00	1.587
10UKP-3	105.85	126.55	19.55	72.00	1.628
10UKP-ort	107.83	129.76	20.32	73.00	1.618
20UKP-1	109.53	132.19	20.68	70.00	1.564
20UKP-2	112.07	135.58	20.98	70.00	1.601
20UKP-3	105.22	127.65	21.31	70.00	1.618
20UKP-ort	108.94	131.81	20.99	70.00	1.594
5UK-1	111.75	136.92	22.52	65.00	1.596
5UK-2	111.82	136.72	22.26	65.00	1.720
5UK-3	112.38	138.39	23.14	70.00	1.605
5UK-ort	111.98	137.34	22.64	66.67	1.640
10UK-1	112.84	141.96	25.81	65.00	1.612
10UK-2	113.87	142.01	24.71	65.00	1.518
10UK-3	109.90	139.56	26.98	65.00	1.570
10UK-ort	112.20	141.18	25.83	65.00	1.560
20UK-1	92.39	117.99	27.83	70.00	1.539
20UK-2	94.24	119.24	26.52	70.00	1.570
20UK-3	95.63	119.26	24.71	70.00	1.518
20UK-ort	94.09	118.83	26.35	70.00	1.542
5P-1	114.41	134.70	17.73	70.00	1.760
5P-2	115.78	135.92	17.39	70.00	1.781
5P-3	117.60	138.07	17.41	70.00	1.680
5P-ort	115.93	136.23	17.51	70.00	1.740
10P-1	119.77	139.88	16.79	65.00	1.711
10P-2	119.47	139.59	16.84	70.00	1.838
10P-3	119.09	139.05	16.76	65.00	1.832

10P-ort	119.44	139.51	16.79	66.67	1.793
20P-1	118.74	137.18	15.52	66.00	1.826
20P-2	122.20	142.08	16.26	70.00	1.880
20P-3	123.56	143.89	16.45	65.00	1.900
20P-ort	121.50	141.05	16.07	67.00	1.868
5TKP-1	113.20	134.36	18.69	65.00	1.617
5TKP-2	113.53	134.44	18.41	65.00	1.621
5TKP-3	114.18	135.61	18.76	60.00	1.631
5TKP-ort	113.64	134.80	18.62	63.33	1.623
10TKP-1	106.69	126.67	18.72	75.00	1.524
10TKP-2	102.49	120.29	17.36	75.00	1.576
10TKP-3	109.78	131.09	19.41	74.00	1.568
10TKP-ort	106.32	126.02	18.49	74.67	1.556
20TKP-1	110.17	133.27	20.96	75.00	1.573
20TKP-2	102.63	125.50	22.28	80.00	1.578
20TKP-3	109.58	132.00	20.45	80.00	1.461
20TKP-ort	107.46	130.26	21.23	78.33	1.537
5TK-1	110.30	131.46	19.18	65.00	1.838
5TK-2	107.53	128.27	19.28	65.00	1.792
5TK-3	114.30	137.07	19.92	65.00	1.632
5TK-ort	110.71	132.27	19.46	65.00	1.754
10TK-1	111.23	137.05	23.21	65.00	1.711
10TK-2	111.17	135.98	22.31	65.00	1.710
10TK-3	102.68	126.26	22.96	65.00	1.711
10TK-ort	108.36	133.10	22.82	65.00	1.711
20TK-1	96.85	119.04	22.91	65.00	1.614
20TK-2	98.83	123.62	25.08	65.00	1.647
20TK-3	99.45	123.67	24.35	70.00	1.657
20TK-ort	98.38	122.11	24.11	66.67	1.639
T-1	103.35	123.14	19.14	60.00	1.722
T-2	114.28	134.94	18.07	65.00	1.758
T-3	103.35	123.35	19.35	65.00	1.722
T-ort	106.99	127.14	18.85	63.33	1.740

TS705 de maksimum su emme oranı % 18 iken birim hacim ağırlığı sınırlandırılmamıştır.

a) Su Emme Değerleri**i-700 santigrat derecede pişirilen örnekler**

- 1- Pomza katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça su emme yüzdeleri düşmüştür. Bunun nedeni pomzanın kristal yapısı ile açıklanabilir. Bulunan değerler TS 705’de verilen değerlerin altındadır. Bunun nedeni uçucu külün tanecik boyutu ve buna bağlı olarak su emme gereksiniminden kaynaklanmış olabilir
- 2- Uçucu kül + pomza katkılı örneklerde ise katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır.
- 3- Uçucu kül katkılı örneklerin su emme oranları standartta verilen değer üstünde bulunmuştur. Açık olarak görülmüştür ki, uçucu kül oranı arttıkça su emme oranı da artmaktadır.
- 4- Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerin su emme oranları standartta verilen değere yakındır. Katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır.
- 5- Tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerin su emme oranları standartta verilen değerden yüksek bulunmuştur. Katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Bu değer ortalama %23 tür.
- 6- Kontrol örneğinin su emme oranı standartta uygun bulunmuştur.

ii-900 santigrat derecede pişirilen örnekler

- 1- Pomza katkılı örneklerin su emme yüzdeleri TS 705’de verilen değerlerin altındadır.
- 2- Pişirme sıcaklığı artınca, su emme oranı da artmıştır. Bunun nedeni yüksek sıcaklıkta pomza bileşenlerinden (magnezyum gibi) bazılarının bu sıcaklıkta yanması sonucu oluşan boşluklardır.
- 3-Uçucu kül + pomza katkılı örneklerden %5 ve %10 katkılı örneğin su emme oranı standartta verilen değere uygundur.
- 4-Sıcaklık artışı, uçucu kül katkılı örneklerin kimyasal bileşenlerini değiştirdiğinden su emme oranlarında çok az bir artış olmuştur.
- 5-Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerde katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Su emme oranları bir miktar artmış olsa da %5 ve %10 katkılı örneklerde bu değerler standarda uygundur.
- 6-Tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerde de katkı miktarı arttıkça su emme oranı da artmıştır.
- 7- Kontrol örneğinin su emme oranında çok az bir artış söz konusu olsa da standarda uygundur.

iii-1050 santigrat derecede pişirilen örnekler

- 1-Pomza katkılı örneklerin su emme yüzdeleri TS 705’de verilen değerlerin altındadır.
- 2- Uçucu kül, Uçucu kül + pomza katkılı örneklerin su emme oranları katkı miktarına bağlı olarak artmıştır. Bu sıcaklıkta söz konusu örneklerden elde edilen su emme değerleri 900 santigrat derecede pişirilen örneklerin su emme değerlerine yakındır.

3- %5 ve %10 tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerde su emme oranı standarda uygundur.

4- Tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerin su emme değerleri, 900 santigrat derecede pişirilen örneklerin su emme oranlarından daha düşük olmasına rağmen standarda uygun değildir.

b) Birim Hacim Ağırlığı Değerleri

1-Beklendiği gibi pomza miktarı arttıkça birim hacim ağırlıkları da artmıştır. Bu davranış tüm pişirme sıcaklığı için geçerlidir.

2-Uçucu kül + pomza katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça birim hacim ağırlıkları düşmüştür. Bu durum külün pomzaya göre düşük yoğunluğundan kaynaklanmaktadır.

3-Uçucu kül katkılı örneklerde de katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı düşmüştür. Bunun nedeni uçucu külün yoğunluğunun kilden daha düşük olmasıdır.

4-Tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerde beklendiği gibi katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık düşmüştür. Bunun nedeni de külün yoğunluğu ile açıklanabilir.

5-Tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık, katkı miktarına bağlı olarak düşmüştür.

Sonuçlara göre pomza katkılı örneklerde birim hacim ağırlık değerlerinin TS 705 standardında, tuğlalar için verilen değerleri sağladığı görülmektedir. Pişirme ısısı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni, toplam porozitede meydana gelen artış olarak düşünülmektedir.

4.2.1.3. Basınç ve Eğilme Dayanımları ile Elastisite Modülü

Tuğla suya, dona ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olduğundan yapılarda kullanılan temel bir malzemedir (Topçu, 2006 ve Şahin , 2001). Yapının güvenliğinin yanında zaman içinde dayanıklılığı açısından da tuğlanın kalitesi vazgeçilmemesi gereken bir unsurdur. 700 °C’de üretilen katkısız ve katkılı tuğlalarda zararlı manyezi kireç varlığının olup olmadığı, renk, basınç ve eğilme dayanımları ile Elastisite modülü Çizelge 4.8’de, 900 °C’de üretilen katkısız ve katkılı tuğlalarda zararlı manyezi kireç varlığının olup olmadığı, renk, basınç ve eğilme dayanımları ile Elastisite modülü Çizelge 4.9’da, 1050 °C’de üretilen katkısız ve katkılı tuğlalarda zararlı manyezi kireç varlığının olup olmadığı, renk, basınç ve eğilme dayanımları ile Elastisite modülü Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. 700 °C’de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Tuğla türü	Zararlı Manyezi-Kireç	Renk	Basınç dayanımı (Kgf/cm ²)	Eğilme dayanımı (Kgf/cm ²)	Elastisite modülü (Kgf/cm ²)
5UKP-1	Görülmedi	Açık kırmızı	156.60	26.10	156600
5UKP-2	Görülmedi	Açık kırmızı	156.75	31.40	156750
5UKP-3	Görülmedi	Açık kırmızı	156.63	22.10	156630
5UKP-ort			156.67	26.53	156670
10UKP-1	Görülmedi	Kırmızı	70.00	30.50	70000
10UKP-2	Görülmedi	Kırmızı	65.00	20.50	65000
10UKP-3	Görülmedi	Kırmızı	70.00	30.70	70000
10UKP-ort			68.00	27.23	68000
20UKP-1	Görülmedi	Kahve	55.00	18.90	55000
20UKP-2	Görülmedi	Kahve	50.00	27.10	50000
20UKP-3	Görülmedi	Kahve	45.00	30.90	45000
20UKP-ort			60.00	25.63	60000
5UK-1	Görülmedi	Donuk kahve	124.12	11.40	124120
5UK-2	Görülmedi	Donuk kahve	127.15	14.00	127150
5UK-3	Görülmedi	Donuk kahve	122.07	13.00	122070
5UK-ort			124.61	12.80	124610
10UK-1	Görülmedi	Açık kahve	45.00	5.10	45000
10UK-2	Görülmedi	Açık kahve	40.00	4.80	40000
10UK-3	Görülmedi	Açık kahve	45.00	7.20	45000
10UK-ort			43.30	5.70	43300
20UK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	40.00	9.10	40000
20UK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	35.00	8.80	35000
20UK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	40.00	10.20	40000
20UK-ort			38.33	9.36	38333
5P-1	Görülmedi	Kahve	250.50	21.60	250500
5P-2	Görülmedi	Kahve	252.20	24.10	252200
5P-3	Görülmedi	Kahve	251.20	18.90	251200
5P-ort			251.30	21.53	251300
10P-1	Görülmedi	Kahve	202.06	23.50	220206
10P-2	Görülmedi	Kahve	207.03	24.60	208030
10P-3	Görülmedi	Kahve	203.09	19.70	203090

10P-ort			205.06	22.60	205060
20P-1	Görülmedi	Koyu Kahve	192.22	25.90	192222
20P-2	Görülmedi	Koyu Kahve	186.50	32.10	186500
20P-3	Görülmedi	Koyu Kahve	175.50	22.70	175500
20P-ort			184.74	26.90	184744
5TKP-1	Görülmedi	Açık kırmızı	202.54	27.50	202544
5TKP-2	Görülmedi	Açık kırmızı	195.12	22.50	195122
5TKP-3	Görülmedi	Açık kırmızı	199.79	19.80	199790
5TKP-ort			199.15	23.26	199155
10TKP-1	Görülmedi	Kırmızı	189.22	36.00	189222
10TKP-2	Görülmedi	Kırmızı	185.45	34.90	185455
10TKP-3	Görülmedi	Kırmızı	186.78	27.10	186788
10TKP-ort			187.15	32.7	187.15
20TKP-1	Görülmedi	Kahve	145.87	18.60	145290
20TKP-2	Görülmedi	Kahve	146.00	17.00	146000
20TKP-3	Görülmedi	Kahve	144.01	19.40	144010
20TKP-ort			145.87	18.40	145870
5TK-1	Görülmedi	Donuk kahve	145.60	38.60	145600
5TK-2	Görülmedi	Donuk kahve	175.55	33.10	175550
5TK-3	Görülmedi	Donuk kahve	156.72	30.70	156720
5TK-ort			159.29	34.13	159290
10TK-1	Görülmedi	Açık kahve	133.17	19.00	133170
10TK-2	Görülmedi	Açık kahve	153.49	24.40	153490
10TK-3	Görülmedi	Açık kahve	144.50	25.20	144500
10TK-ort			143.72	22.86	143720
20TK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	127.15	20.10	127150
20TK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	130.00	22.10	130000
20TK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	128.45	14.70	128450
20TK-ort			128.57	18.96	128570
T-1	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	201.90	30.20	201900
T-2	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	119.52	34.30	119520
T-3	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	208.50	27.60	208500
T-ort			176.64	30.70	176640

Çizelge 4.9. 900 °C’de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Tuğla türü	Zararlı Manyezi-Kireç	Renk	Basınç dayanımı (Kgf/cm ²)	Eğilme dayanımı (Kgf/cm ²)	Elastisite modülü (Kgf/cm ²)
5UKP-1	Görülmedi	Açık kırmızı	174.12	49.90	174120
5UKP-2	Görülmedi	Açık kırmızı	179.95	33.90	179955
5UKP-3	Görülmedi	Açık kırmızı	170.93	50.90	170933
5UKP-ort			175.00	44.90	175.00
10UKP-1	Görülmedi	Kırmızı	160.99	30.30	160990
10UKP-2	Görülmedi	Kırmızı	152.77	33.20	152770
10UKP-3	Görülmedi	Kırmızı	136.51	28.70	136510
10UKP-ort			150.09	30.73	150090
20UKP-1	Görülmedi	Kahve	134.50	25.50	134500
20UKP-2	Görülmedi	Kahve	139.66	16.30	139660
20UKP-3	Görülmedi	Kahve	121.27	17.60	121270
20UKP-ort			131.81	19.80	131810
5UK-1	Görülmedi	Donuk kahve	138.51	11.50	138510
5UK-2	Görülmedi	Donuk kahve	131.56	9.20	131560
5UK-3	Görülmedi	Donuk kahve	135.50	12.40	135500
5UK-ort			135.19	11.04	135190
10UK-1	Görülmedi	Açık kahve	55.00	18.10	55000
10UK-2	Görülmedi	Açık kahve	50.00	21.00	50000
10UK-3	Görülmedi	Açık kahve	50.00	20.90	50000
10UK-ort			51.66	20.00	51666
20UK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	45.00	33.70	45000
20UK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	40.00	8.20	40000
20UK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	40.00	21.10	40000
20UK-ort			41.66	21.00	41666
5P-1	Görülmedi	Kahverengi	277.30	21.00	277300
5P-2	Görülmedi	Kahverengi	221.43	33.20	221430
5P-3	Görülmedi	Kahverengi	260.47	31.40	260470
5P-ort			253.07	28.53	253.07
10P-1	Görülmedi	Kahverengi	279.45	37.40	279455
10P-2	Görülmedi	Kahverengi	275.50	44.90	275500

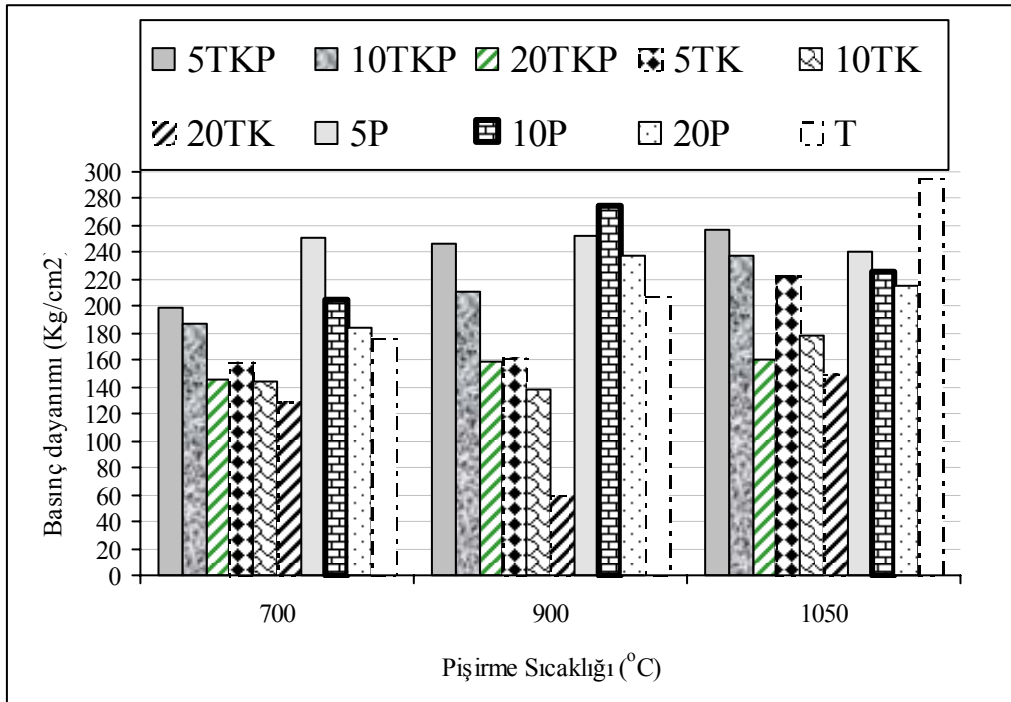
10P-3	Görülmedi	Kahverengi	270.63	45.20	270633
10P-ort			275.19	42.50	275.19
20P-1	Görülmedi	Koyu Kahve	260.48	41.20	260480
20P-2	Görülmedi	Koyu Kahve	229.00	34.20	229000
20P-3	Görülmedi	Koyu Kahve	223.97	43.80	223970
20P-ort			237.82	39.73	237820
5TKP-1	Görülmedi	Açık kırmızı	251.10	21.00	251100
5TKP-2	Görülmedi	Açık kırmızı	244.90	46.10	244900
5TKP-3	Görülmedi	Açık kırmızı	245.45	41.20	245455
5TKP-ort			247.15	36.10	247155
10TKP-1	Görülmedi	Kırmızı	203.45	25.40	203450
10TKP-2	Görülmedi	Kırmızı	194.00	21.70	194000
10TKP-3	Görülmedi	Kırmızı	235.61	45.00	235610
10TKP-ort			211.02	30.70	211020
20TKP-1	Görülmedi	Kahve	167.14	40.10	167140
20TKP-2	Görülmedi	Kahve	153.16	32.20	153160
20TKP-3	Görülmedi	Kahve	158.50	27.00	158500
20TKP-ort			159.60	33.10	159600
5TK-1	Görülmedi	Donuk kahve	156.67	30.50	156677
5TK-2	Görülmedi	Donuk kahve	163.30	26.90	163300
5TK-3	Görülmedi	Donuk kahve	163.45	31.80	163455
5TK-ort			161.14	29.73	161.14
10TK-1	Görülmedi	Açık kahve	141.23	26.80	141203
10TK-2	Görülmedi	Açık kahve	138.70	35.70	138700
10TK-3	Görülmedi	Açık kahve	134.13	44.00	134130
10TK-ort			138.02	35.50	138.02
20TK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	71.000	23.00	71000
20TK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	58.000	27.70	58000
20TK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	51.000	20.70	51000
20TK-ort			60.000	23.80	60000
T-1	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	200.70	44.80	200700
T-2	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	209.94	43.80	209940
T-3	Görülmedi	Kiremit kırmızısı	210.99	45.40	210999
T-ort			207.21	44.60	207210

Çizelge 4.10. 1050 °C’de Üretilen Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

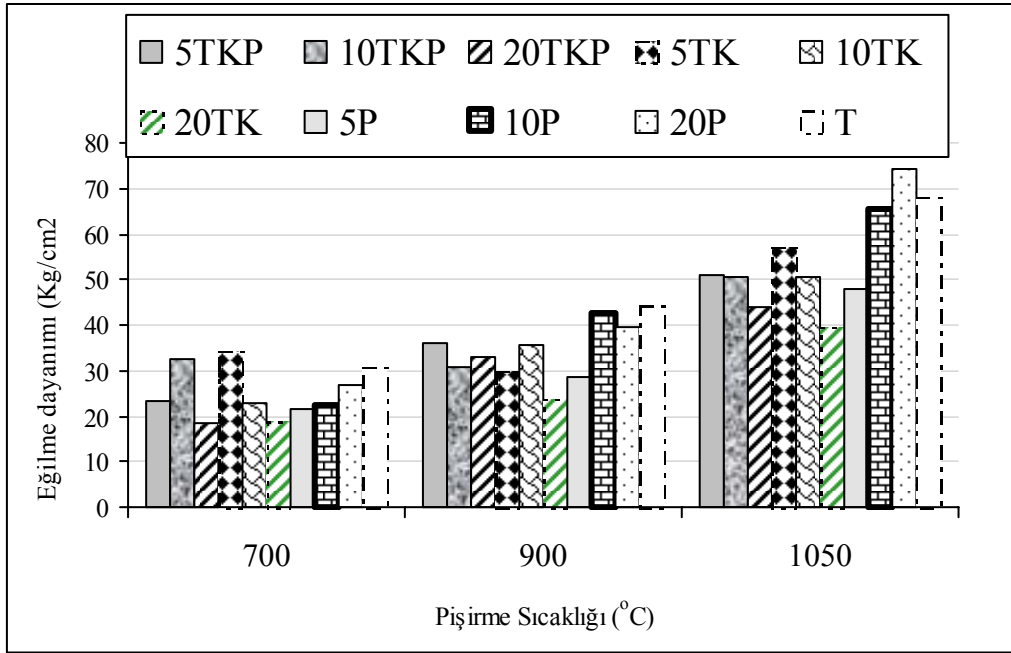
Tuğla türü	Zararlı Manyezi-Kireç	Renk	Basınç dayanımı (Kgf/cm ²)	Eğilme dayanımı (Kgf/cm ²)	Elastisite modülü (Kgf/cm ²)
5UKP-1	Görülmedi	Açık kırmızı	198.41	71.60	198411
5UKP-2	Görülmedi	Açık kırmızı	275.00	48.90	275000
5UKP-3	Görülmedi	Açık kırmızı	210.00	49.30	210000
5UKP-ort			227.80	56.60	227800
10UKP-1	Görülmedi	Kırmızı	165.23	59.20	165233
10UKP-2	Görülmedi	Kırmızı	159.80	57.70	159800
10UKP-3	Görülmedi	Kırmızı	158.30	45.40	158300
10UKP-ort			161.11	54.10	161111
20UKP-1	Görülmedi	Kahve	141.22	47.30	141222
20UKP-2	Görülmedi	Kahve	138.87	60.70	138877
20UKP-3	Görülmedi	Kahve	139.88	23.70	139888
20UKP-ort			139.99	43.90	139990
5UK-1	Görülmedi	Donuk kahve	133.89	42.70	133890
5UK-2	Görülmedi	Donuk kahve	145.55	62.10	145550
5UK-3	Görülmedi	Donuk kahve	143.92	55.80	143920
5UK-ort			141.12	53.53	141120
10UK-1	Görülmedi	Açık kahve	103.32	56.10	103320
10UK-2	Görülmedi	Açık kahve	99.10	43.90	99100
10UK-3	Görülmedi	Açık kahve	102.83	49.40	102830
10UK-ort			101.75	49.80	101750
20UK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	59	50.20	59000
20UK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	70	54.10	70000
20UK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	66	38.60	66000
20UK-ort			65	47.63	65000
5P-1	Görülmedi	Kahve	248.27	45.40	248270
5P-2	Görülmedi	Kahve	241.12	49.00	244120
5P-3	Görülmedi	Kahve	230.90	49.40	238900
5P-ort			240.09	47.93	240090
10P-1	Görülmedi	Kahve	263.08	66.80	263080
10P-2	Görülmedi	Kahve	205.24	47.70	205240
10P-3	Görülmedi	Kahve	208.50	81.60	208500

10P-ort			225.60	65.36	225600
20P-1	Görülmedi	Koyu Kahve	236.60	63.40	236600
20P-2	Görülmedi	Koyu Kahve	206.98	84.50	206980
20P-3	Görülmedi	Koyu Kahve	201.45	75.00	201450
20P-ort			215.01	74.30	215010
5TKP-1		Kırmızı	243.47	50.90	243470
5TKP-2		Kırmızı	278.01	52.50	278010
5TKP-3		Kırmızı	251.07	50.20	251070
5TKP-ort			257.52	51.20	257520
10TKP-1	Görülmedi	Koyu kırmızı	255.24	50.90	25524
10TKP-2	Görülmedi	Koyu kırmızı	197.62	52.30	19762
10TKP-3	Görülmedi	Koyu kırmızı	260.24	48.70	26024
10TKP-ort			237.70	50.63	23770
20TKP-1	Görülmedi	Koyu Kahve	163.44	42.20	16344
20TKP-2	Görülmedi	Koyu Kahve	158.90	47.70	15890
20TKP-3	Görülmedi	Koyu Kahve	160.90	42.00	16090
20TKP-ort			161.08	43.96	16108
5TK-1	Görülmedi	Donuk kahve	216.87	59.20	21687
5TK-2	Görülmedi	Donuk kahve	226.69	61.80	22669
5TK-3	Görülmedi	Donuk kahve	224.06	50.20	22406
5TK-ort			222.54	57.07	222.54
10TK-1	Görülmedi	Açık kahve	173.56	50.70	17356
10TK-2	Görülmedi	Açık kahve	180.27	50.70	18027
10TK-3	Görülmedi	Açık kahve	179.78	50.50	17978
10TK-ort			177.87	50.64	177.87
20TK-1	Görülmedi	Kırmızımsı	147.78	38.70	14778
20TK-2	Görülmedi	Kırmızımsı	152.72	41.80	15272
20TK-3	Görülmedi	Kırmızımsı	149.20	37.70	14920
20TK-ort			149.90	39.40	149.90
T-1	Görülmedi	Koyu kiremit kırmızısı	293.12	68.00	29312
T-2	Görülmedi	Koyu kiremit kırmızısı	297.82	66.80	29782
T-3	Görülmedi	Koyu kiremit kırmızısı	296.37	70.10	29637
T-ort			295.77	68.30	29577

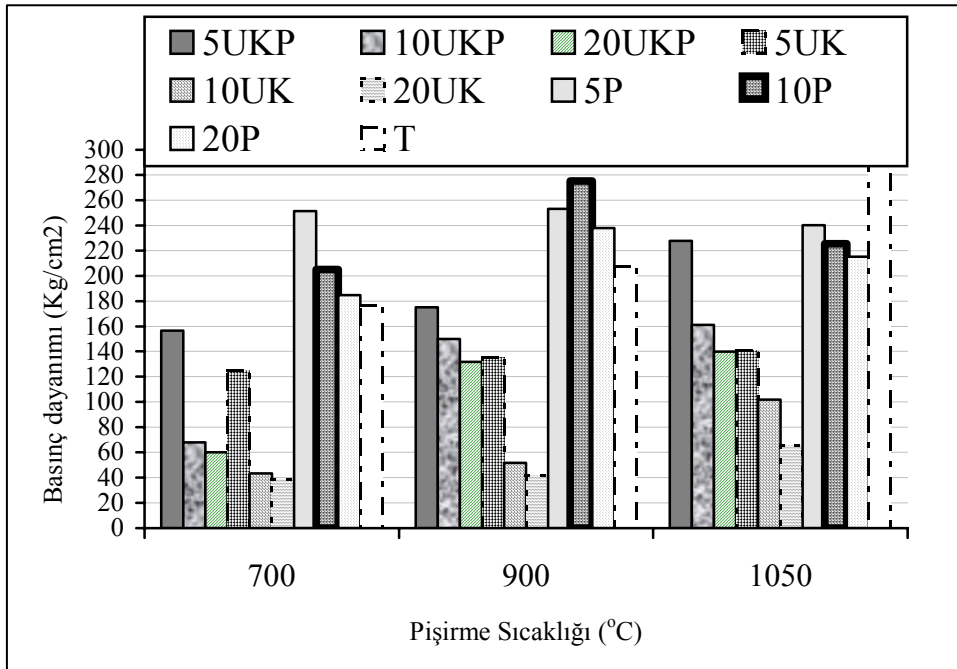
Tekstil kül katkılı numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.2’de eğilme dayanımları ise Şekil 4.3’de, uçucu kül katkılı numunelerin basınç dayanımları Şekil 4.4’de eğilme dayanımları ise Şekil 4.5’de verilmiştir. 700 °C’de pişirilen örneklerin basınç dayanımları, Şekil 4.6, 900 °C’de pişirilenlerin basınç dayanımları Şekil 4.7 ve 1050 derecede pişirilen örneklerin basınç dayanımları ise Şekil 4.8 ’te verilmiştir. 700 derece pişirilen örneklerin eğilme dayanımları, Şekil 4.9, 900 °C’de pişirilenlerin eğilme dayanımları Şekil 4.10’da ve 1050 °C’de pişirilen örneklerin eğilme dayanımları ise Şekil 4.11’de verilmiştir.



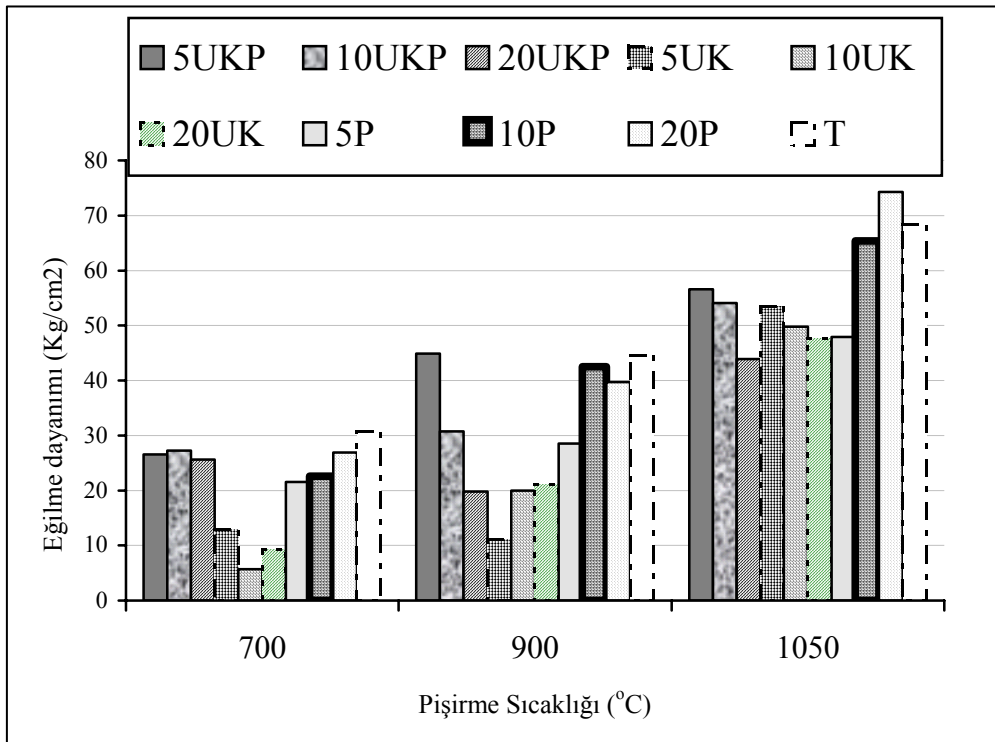
Şekil 4.2. Tekstil Fabrikası Atık Külü + Pomza, Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkılı Numunelerin Basınç Dayanımları



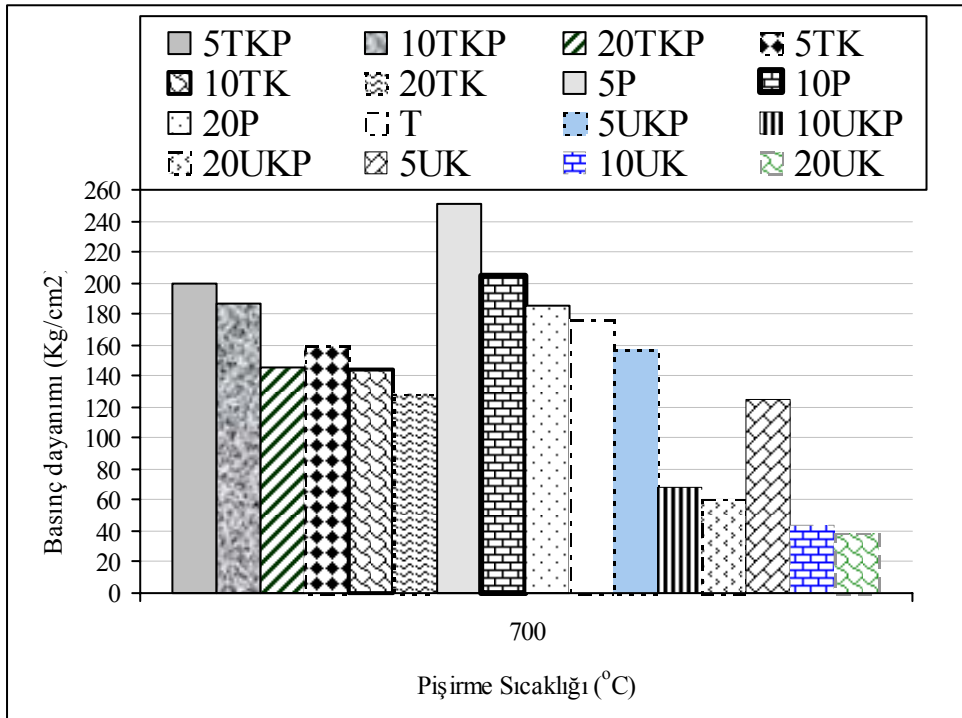
Şekil 4.3. Tekstil Fabrikası Atık Külü + Pomza, Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkıli Numunelerin Eğilme Dayanımları



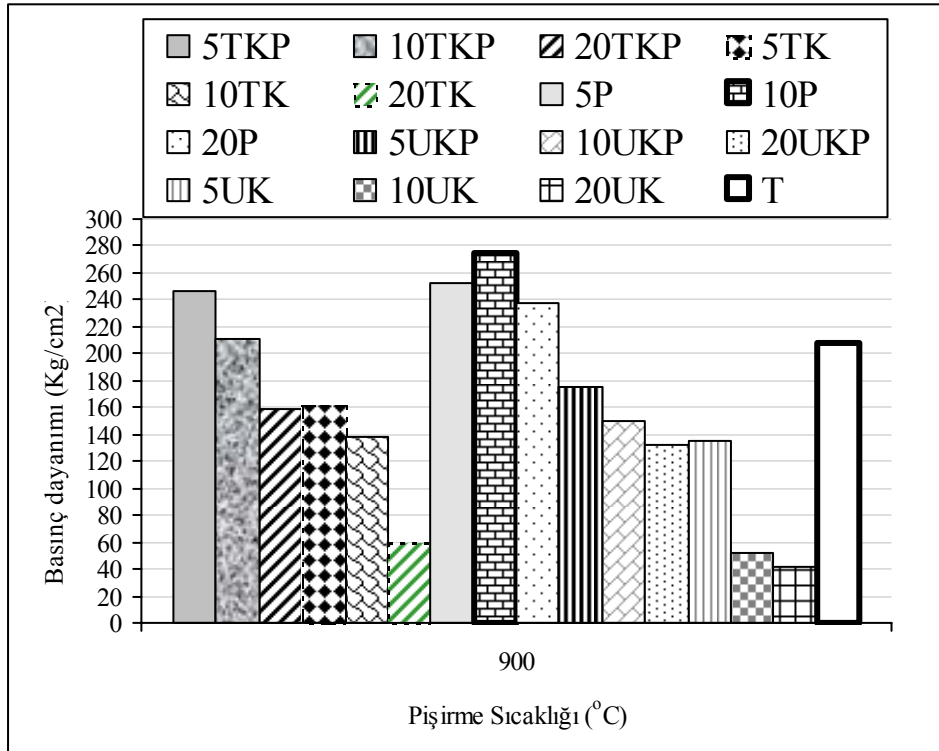
Şekil 4.4. Uçucu Kül + Pomza, Uçucu Kül ve Pomza Katkıli Numunelerin Basınç Dayanımları



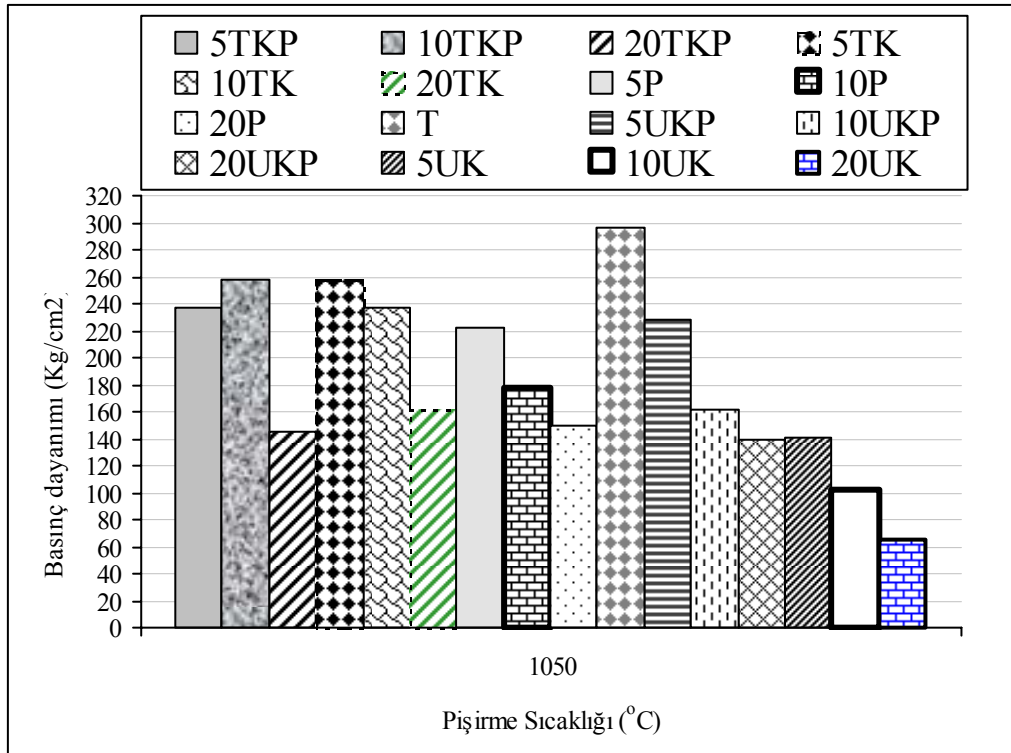
Şekil 4.5. Uçucu Kül + Pomza, Uçucu Kül ve Pomza Katkılı Numunelerin Eğilme Dayanımları



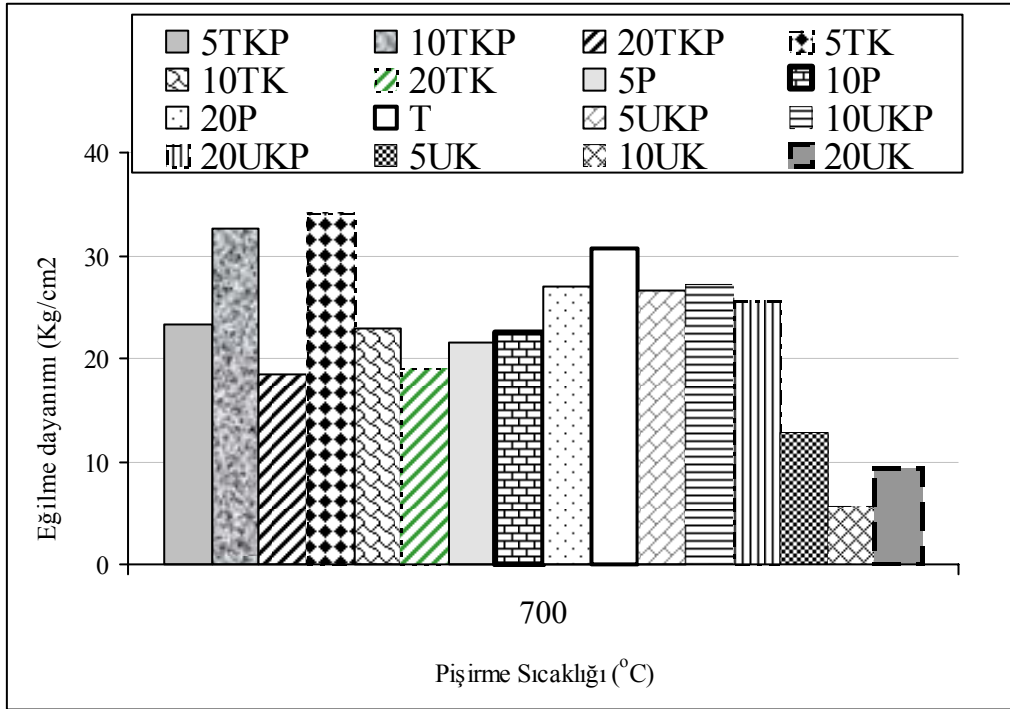
Şekil 4.6. 700 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları



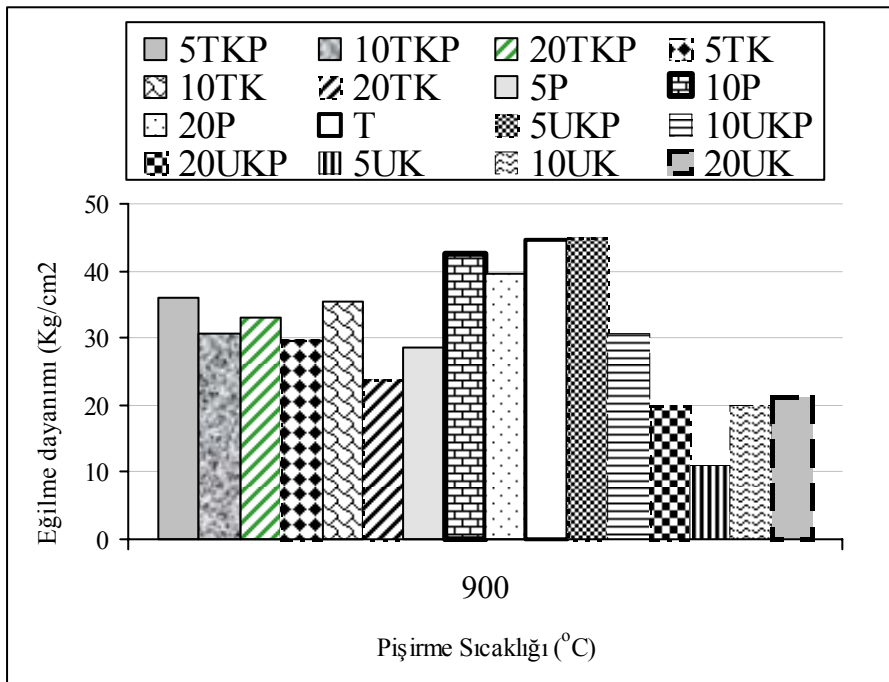
Şekil 4.7. 900 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları



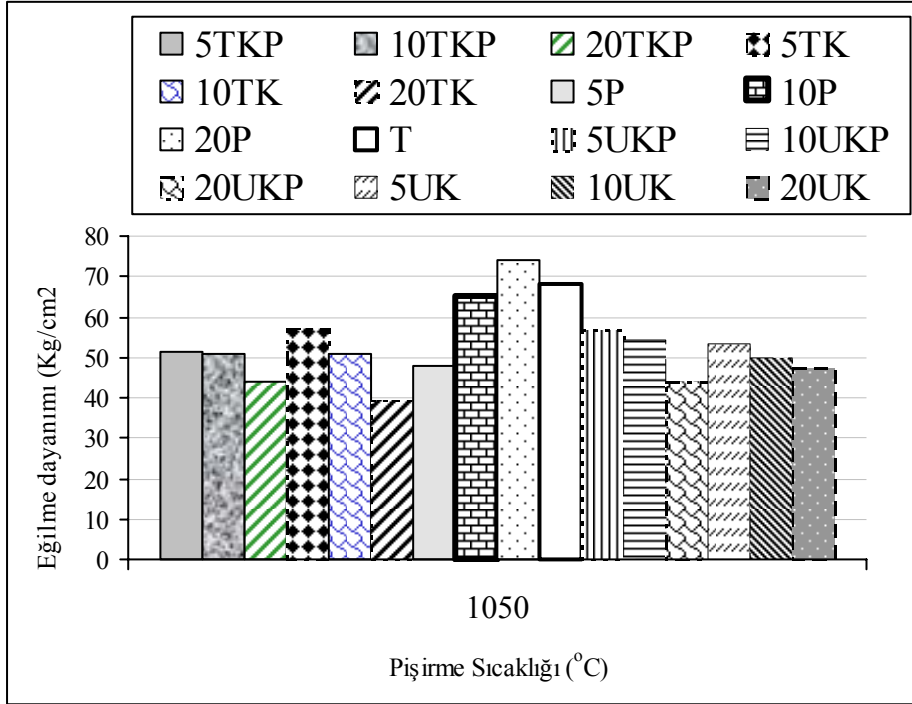
Şekil 4.8. 1050 °C de Pişirilen Örneklerin Basınç Dayanımları



Şekil 4.9. 700 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları



Şekil 4.10. 900 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları



Şekil 4.11. 1050 °C de Pişirilen Örneklerin Eğilme Dayanımları

4.2.1.3.1. Basınç Dayanımları

a-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkılı Örnekler

1-Bu grup örneklerde genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça basınç dayanımları da artmaktadır. Ancak pomza katkılı örneklerin 700 ve 900 °C sıcaklıkta pişirilmesinin daha uygun olduğu gözlenmiştir. Çünkü 1050 °C de pişirilen bu örneklerin basınç dayanımları düşmüştür. Pomzanın camsı ve kristal yapısı yüksek sıcaklıkta erimştir. Bu erimeler örnekler üzerinde de gözlenmiştir. Bu ise numunelerde kütle kaybına neden olmuş ve bu yüzden dayanım düşmüştür.

2-Genellikle yalnız pomza katkılı örneklerde %5 katkı seviyesinden sonra pomza yüzdesi arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. %5 pomza katkılı örneklerin basınç dayanımı en büyük bulunmuştur. 700 °C pişirme sıcaklığında %5, %10 ve %20 pomza katkılı örneklerin basınç dayanımları kontrol örneğinden büyük bulunmuştur. 1050 °C pişirme sıcaklığında, kontrol örneğinin basınç dayanımı en yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni yukarıda da açıklandığı gibi yüksek sıcaklıkta pomzanın erimesidir.

3-700 °C de pişirilen tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. %5 ve %10 tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerin basınç dayanımı kontrol örneğinin basınç dayanımından daha büyüktür. Oysa %20 katkı oranlarında basınç dayanımları daha düşüktür. Ancak bütün örneklerin basınç dayanımları, Standartlarımızın istediği minimum değerlerin çok üstünde bulunmuştur (Deprem yönetmeliğine göre min basınç dayanımı 50 kg/cm² olmalıdır).

4-Bütün sıcaklık seviyelerinde sadece tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Bu gruptaki örneklerin basınç dayanımları, kontrol örneğinin basınç dayanımından daha düşüktür.

b-Uçucu Kül ve Pomza Katkılı Örnekler

1-Bu grup örneklerde genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça basınç dayanımları da artmaktadır.

2-700 °C de pişirilen bu grup örneklerden %5 pomza katkılı örneğin basınç dayanımı en büyükken, %20 uçucu kül katkılı örneğin basınç dayanımı en küçük bulunmuştur. Kontrol örneğinin basınç dayanımı söz konusu örneğin basınç dayanımının yaklaşık dört katı kadardır. Ayrıca bu örnek standartlarda ön görülen minimum dayanımı sağlayamamıştır. Bu sıcaklıkta tuğla üretiminde %20 uçucu kül katılmasının uygun olmayacağı anlaşılmaktadır. Bu sıcaklıkta pişirilen uçucu kül + pomza katkılı örneklerin basınç dayanımları kontrol örneğinden daha düşük bulunmuştur. Ancak %20 uçucu kül + pomza katkılı örneğin basınç dayanımı, standartların öngördüğü minimumum basınç dayanımının üstünde değer vermiştir.

3- 900 °C pişirme sıcaklığında, uçucu kül veya uçucu kül + pomza oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Bunun nedeni örneklerdeki uçucu külün kimyasal yapısı (yüksek orandaki kireç) ve tanecik büyüklüğünün çok küçük olması şeklinde açıklanabilir. %5 uçucu kül + pomza katkılı örneğin basınç dayanımı kontrol ve %5 pomza katkılı örneğin basınç dayanımına çok farklıdır. Tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerin basınç dayanımları, uçucu kül katkılı örneklerden daha yüksek olması, daha az kireç içermesi ve daha büyük tanecik boyutu ile açıklanabilir.

4- 1050 °C' de uçucu kül veya uçucu kül + pomza oranı arttıkça basınç dayanımı düşmektedir. %5 pomza katkılı örneklerin basınç dayanımları en büyüktür.

4.2.1.3.2. Eğilme Dayanımları

a-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Pomza Katkılı Örnekler

1-Bu grup örneklerde genellikle pişirme sıcaklığı arttıkça eğilme dayanımları da artmaktadır. 700 °C de pişirilen, yalnız pomza katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı da artmıştır. Bu sıcaklıkta pişirilen örneklerden %5 tekstil fabrikası atık külü katkılı örneğinin eğilme dayanımı en büyük bulunmuştur. 900 °C de pişirilen %5 ve %10 yalnız pomza katkılı örneklerde eğilme dayanımı artarken, %20 katkılı örneklerde düşmüştür. Bu gruptaki tüm yalnız pomzalı örneklerin eğilme dayanımı kontrol örneğinin eğilme dayanımından daha düşük bulunmuştur. 1050 °C de pişirilen bu örneklerde pomza miktarı arttıkça eğilme dayanımı da artmıştır. Ancak sadece %20 katkılı örneğin eğilme dayanımı, kontrol örneğinin eğilme dayanımından daha yüksek bulunmuştur.

2- 700 °C de pişirilen tekstil fabrikası atık külü + pomza katkılı örneklerde, %10 katkılı örneklerin eğilme dayanımı en yüksek bulunurken, %20 katkılı örneğin eğilme dayanımı en düşük bulunmuştur. 900 °C de pişirilen tekstil fabrikası atık külü + pomza

katkılı örneklerin tümünün eğilme dayanımları, kontrol örneğinden daha büyük bulunmuştur. Bu gruptaki örneklerden %5 katkı örneğinin eğilme dayanımı en büyüktür. 1050 °C de pişirilen tekstil fabrikası atık külü + pomza katkı örneklerden %5 ve %10 katkı örneklerin eğilme dayanımları birbirine yakındır.

b-Uçucu Kül ve Pomza Katkılı Örnekler

1–700 °C de pişirilen, uçucu kül veya uçucu kül + pomza katkı örneklerde eğilme dayanımı ile katkı miktarı arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. Ancak sadece pomza katkı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımları da artmıştır. Bununla birlikte bu sıcaklıkta pişirilen kontrol örneğinin eğilme dayanımı en büyük bulunmuştur.

2- 900 °C de pişirilen %5 uçucu kül + pomza katkı örneğinin eğilme dayanımı en büyük bulunmuştur Bu sıcaklıkta uçucu kül oranı artarken eğilme dayanımları da artmıştır. Uçucu kül + pomza katkı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmaktadır. %5 Uçucu kül + pomza katkı örneklerin eğilme dayanımları, kontrol örneğinin eğilme dayanımından daha yüksek bulunmuştur.

3–1050 oC de pişirilen uçucu kül + pomza katkı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı da düşmektedir. Bu sıcaklıkta %20 pomza katkı örneğinin eğilme dayanımı en yüksek bulunmuştur. Bu örneğinin eğilme dayanımı, kontrol örneğinin eğilme dayanımından %10 daha büyüktür.

4.2.2. Durabilite Deney Sonuçları

4.2.2.1. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Etkisi

4.2.2.1.1. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Çözeltisinde Bekletilen Numunelerin Basınç Dayanımları

Sodyum sülfatlı ve amonyum nitrat çözeltisinde bekletilen numunelerin 6 ay sonra yapılan basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar söz konusu kimyasallar tuğla örneklerinde her hangi bir yıkıcı etki göstermemiştir. Örneklerden sadece kontrol ve %20 uçucu kül ve TFAK katkı olanların basınç dayanımlarında son derece küçük düşüşler kaydedilmiştir. Dolayısı ile 6 aylık bir sürenin söz konusu deney için yeterli olmadığını ve iki üç yıl gibi daha uzun deney sürelerine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.2.1.2. Sodyum Sülfat ve Sodyum Nitrat Çözeltisinde Bekletilen Numunelerin Kütle Kayıpları

Sodyum sülfat ortamında bekletilen tuğlaların kütle kaybı sonuçları çizelge 4.11, 4.12, 4.13 de ve PH değişimlerini gösterir çizelgeler 4.14, 4.15, ve 4.16 da gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. 700 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Toplam Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	114.95	113.73	113.02	1.93	0.02
5UKP-2	112.83	111.62	110.86	1.97	
5UKP-3	113.98	112.71	111.99	1.99	
5UKP-ort	113.92	112.69	111.95	1.97	
10UKP-1	109.31	107.73	106.86	2.45	0.02
10UKP-2	115.02	113.56	112.64	2.38	
10UKP-3	108.60	107.13	106.25	2.35	
10UKP-ort	110.98	109.47	108.59	2.39	
20UKP-1	123.47	122.52	121.94	1.53	0.01
20UKP-2	113.44	112.37	111.74	1.70	
20UKP-3	111.36	110.31	109.72	1.64	
20UKP-ort	116.09	115.07	114.46	1.63	
5UK-1	114.96	114.18	113.66	1.30	0.01
5UK-2	121.33	120.31	119.74	1.59	
5UK-3	121.10	120.25	119.72	1.38	
5UK-ort	119.13	118.25	117.71	1.42	
10UK-1	118.46	118.01	117.77	0.69	0.01
10UK-2	117.99	117.50	117.21	0.78	
10UK-3	119.18	118.78	118.53	0.65	
10UK-ort	118.54	118.10	117.84	0.70	
20UK-1	103.15	102.53	102.19	0.96	0.01
20UK-2	104.41	103.87	103.48	0.93	
20UK-3	100.76	99.99	99.64	1.12	
20UK-ort	102.77	102.13	101.77	1.01	
5P-1	122.75	122.47	122.31	0.44	0.00
5P-2	125.48	125.31	125.10	0.38	
5P-3	111.13	110.74	110.57	0.56	
5P-ort	119.79	119.51	119.32	0.46	
10P-1	129.34	127.45	126.40	2.94	0.02
10P-2	130.89	129.14	128.04	2.85	
10P-3	134.41	132.78	131.72	2.69	
10P-ort	131.55	129.79	128.72	2.83	
20P-1	119.31	118.77	118.36	0.95	0.01
20P-2	116.31	115.64	115.18	1.13	
20P-3	122.17	121.16	120.74	1.43	
20P-ort	119.26	118.52	118.09	1.17	
5TKP-1	113.85	112.93	112.39	1.46	0.01
5TKP-2	124.60	123.65	123.06	1.54	
5TKP-3	115.30	114.35	113.80	1.50	

5TKP-ort	117.92	116.98	116.42	1.50	
10TKP-1	116.07	115.14	114.67	1.40	0.01
10TKP-2	120.87	119.93	119.41	1.46	
10TKP-3	129.78	129.20	128.72	1.06	
10TKP-ort	122.24	121.42	120.93	1.31	
20TKP-1	121.67	120.17	119.39	2.28	0.02
20TKP-2	128.72	127.45	126.62	2.10	
20TKP-3	122.38	121.12	120.33	2.05	
20TKP-ort	124.26	122.91	122.12	2.14	
5TK-1	114.76	113.61	112.91	1.85	0.02
5TK-2	118.40	117.33	116.58	1.82	
5TK-3	112.15	110.77	110.06	2.09	
5TK-ort	115.10	113.90	113.19	1.92	
10TK-1	118.18	117.04	116.39	1.79	0.02
10TK-2	116.42	115.35	114.65	1.77	
10TK-3	110.68	109.47	108.81	1.87	
10TK-ort	115.09	113.95	113.28	1.81	
20TK-1	111.76	110.86	110.31	1.45	0.01
20TK-2	105.38	104.55	103.95	1.43	
20TK-3	105.17	104.06	103.50	1.67	
20TK-ort	107.44	106.49	105.92	1.52	
T-1	119.38	118.58	118.13	1.25	0.01
T-2	122.16	121.33	120.83	1.33	
T-3	123.38	122.60	122.14	1.24	
T-ort	121.64	120.84	120.36	1.28	

Çizelge 4.12. 900 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Toplam Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	110.66	109.09	108.46	2.20	0.02
5UKP-2	102.83	101.20	100.52	2.31	
5UKP-3	107.61	106.09	105.45	2.16	
5UKP-ort	107.03	105.46	104.81	2.23	
10UKP-1	103.87	102.22	101.39	2.48	0.02
10UKP-2	110.99	109.60	108.72	2.27	
10UKP-3	108.81	107.41	106.57	2.24	
10UKP-ort	107.89	106.41	105.56	2.33	
20UKP-1	109.57	107.95	106.89	2.68	0.02
20UKP-2	111.33	109.69	108.58	2.75	
20UKP-3	114.96	113.26	112.19	2.77	
20UKP-ort	111.95	110.30	109.22	2.74	
5UK-1	111.50	110.19	108.71	2.79	0.03
5UK-2	112.36	110.87	109.34	3.02	
5UK-3	109.57	108.13	106.64	2.93	
5UK-ort	111.14	109.73	108.23	2.91	
10UK-1	116.02	115.05	114.11	1.91	0.02
10UK-2	115.44	114.39	113.40	2.04	
10UK-3	114.30	113.28	112.33	1.97	
10UK-ort	115.25	114.24	113.28	1.97	
20UK-1	105.70	104.18	102.96	2.74	0.03
20UK-2	104.62	103.04	101.77	2.85	
20UK-3	101.98	100.63	99.40	2.58	
20UK-ort	104.10	102.62	101.37	2.73	
5P-1	119.68	118.42	117.39	2.29	0.02
5P-2	120.37	118.92	117.84	2.53	
5P-3	116.39	115.12	114.08	2.31	
5P-ort	118.81	117.49	116.44	2.37	
10P-1	119.31	117.76	116.73	2.58	0.02
10P-2	116.31	114.71	113.63	2.68	
10P-3	122.17	120.65	119.61	2.56	
10P-ort	119.26	117.71	116.66	2.60	
20P-1	119.80	118.24	116.94	2.86	0.02
20P-2	123.74	122.22	120.87	2.87	
20P-3	122.36	120.80	119.49	2.87	
20P-ort	121.97	120.42	119.10	2.87	
5TKP-1	111.97	110.28	109.39	2.58	0.03
5TKP-2	116.26	115.11	114.17	2.09	
5TKP-3	107.33	104.26	103.36	3.97	

5TKP-ort	111.85	109.88	108.98	2.88	
10TKP-1	108.47	106.56	105.70	2.77	0.03
10TKP-2	111.71	110.08	109.17	2.54	
10TKP-3	110.47	107.74	106.87	3.60	
10TKP-ort	110.22	108.13	107.25	2.97	
20TKP-1	126.08	125.08	124.27	1.81	0.02
20TKP-2	124.77	122.90	122.04	2.73	
20TKP-3	123.69	121.78	120.96	2.73	
20TKP-ort	124.85	123.25	122.43	2.42	
5TK-1	106.51	105.72	105.17	1.34	0.01
5TK-2	105.90	105.04	104.44	1.46	
5TK-3	114.65	114.10	113.54	1.11	
5TK-ort	109.02	108.29	107.71	1.31	
10TK-1	115.16	114.27	113.60	1.56	0.01
10TK-2	118.29	117.61	116.89	1.40	
10TK-3	114.66	113.93	113.25	1.41	
10TK-ort	116.04	115.27	114.58	1.46	
20TK-1	98.14	96.47	95.12	3.02	0.03
20TK-2	104.14	102.55	101.15	2.99	
20TK-3	100.71	99.10	97.74	2.97	
20TK-ort	101.00	99.37	98.01	2.99	
T-1	116.13	115.24	114.48	1.65	0.01
T-2	111.74	111.44	110.63	1.11	
T-3	112.15	110.82	110.05	2.10	
T-ort	113.34	112.50	111.72	1.62	

Çizelge 4.13. 1050 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Toplam Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	109.82	108.03	107.46	2.36	0.02
5UKP-2	107.66	105.92	105.30	2.36	
5UKP-3	110.4	108.45	107.87	2.53	
5UKP-ort	109.29	74.13	106.88	2.41	
10UKP-1	108.97	107.35	106.82	2.15	0.02
10UKP-2	106.7	104.91	104.33	2.37	
10UKP-3	107.01	105.26	104.72	2.29	
10UKP-ort	107.56	105.84	105.29	2.27	
20UKP-1	111.96	109.57	108.91	3.05	0.03
20UKP-2	110.86	108.93	108.22	2.64	
20UKP-3	111.36	109.28	108.61	2.75	
20UKP-ort	111.39	109.26	108.58	2.82	
5UK-1	115.74	113.85	112.62	3.12	0.03
5UK-2	113.99	112.14	110.86	3.13	
5UK-3	112.78	111.12	109.88	2.90	
5UK-ort	114.17	112.37	111.12	3.05	
10UK-1	94.74	92.82	91.54	3.20	0.03
10UK-2	95.3	93.51	92.18	3.12	
10UK-3	101.34	99.45	98.16	3.18	
10UK-ort	97.13	95.26	93.96	3.16	
20UK-1	97.74	96.09	95.01	2.73	0.03
20UK-2	105.93	104.38	103.25	2.68	
20UK-3	107.12	105.58	104.49	2.63	
20UK-ort	103.60	102.02	100.92	2.68	
5P-1	117.28	115.53	114.32	2.96	0.03
5P-2	111.78	110.11	108.85	2.93	
5P-3	112.44	110.84	109.62	2.82	
5P-ort	113.83	112.16	110.93	2.90	
10P-1	115.58	113.75	112.42	3.16	0.03
10P-2	117.87	116.07	114.69	3.18	
10P-3	117.71	115.79	114.45	3.26	
10P-ort	117.05	115.20	113.85	3.20	
20P-1	120.47	118.53	117.02	3.45	0.03
20P-2	120.81	118.70	117.14	3.67	
20P-3	120.53	118.29	116.77	3.76	
20P-ort	120.60	118.51	116.98	3.62	
5TKP-1	111.23	109.77	108.87	2.36	0.02
5TKP-2	111.03	109.33	108.38	2.65	
5TKP-3	112.32	110.66	109.75	2.57	

5TKP-ort	111.53	109.92	109.00	2.53	
10TKP-1	110.89	109.24	108.27	2.62	0.03
10TKP-2	102.07	100.28	99.26	2.81	
10TKP-3	100.93	99.21	98.23	2.70	
10TKP-ort	104.63	102.91	101.92	2.71	
20TKP-1	114.88	113.30	112.20	2.68	0.03
20TKP-2	99.94	98.24	97.09	2.85	
20TKP-3	110.41	108.87	107.76	2.65	
20TKP-ort	108.41	106.80	105.69	2.72	
5TK-1	109	107.39	106.31	2.69	0.02
5TK-2	113.42	111.86	110.73	2.69	
5TK-3	111.07	109.70	108.61	2.46	
5TK-ort	111.16	109.65	108.55	2.61	
10TK-1	106.72	105.28	104.11	2.61	0.03
10TK-2	107.71	106.16	104.94	2.77	
10TK-3	109.56	107.98	106.80	2.76	
10TK-ort	108.00	106.47	105.28	2.71	
20TK-1	96.23	94.29	92.92	3.31	0.03
20TK-2	99.85	98.16	96.74	3.11	
20TK-3	90.61	88.93	87.55	3.06	
20TK-ort	95.56	93.79	92.40	3.16	
T-1	114.78	113.56	111.45	3.33	0.03
T-2	103.99	102.96	100.80	3.19	
T-3	114.15	112.62	110.50	3.65	
T-ort	110.97	109.71	107.58	3.39	

Çizelge 4.14. 700 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P_H	3 ay sonrası P_H	6 ay sonrası P_H
5UKP	8.16	10.91	11.03
10UKP	8.04	11.06	11.24
20UKP	8.02	10.75	11.04
5UK	7.79	10.56	11.51
10UK	7.54	10.02	11.19
20UK	7.61	10.39	11.43
5P	7.89	9.68	11.16
10P	7.99	11.16	8.88
20P	7.99	10.18	11.20
5TKP	7.91	10.69	10.37
10TKP	7.88	10.56	10.90
20TKP	8.19	11.11	11.37
5TK	8.05	10.96	11.10
10TK	8.02	10.85	9.30
20TK	7.98	10.78	10.10
T	7.99	11.01	10.84

Çizelge 4.15. 900 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P_H	3 ay sonrası P_H	6 ay sonrası P_H
5UKP	8.13	10.95	9.34
10UKP	7.96	11.11	11.13
20UKP	8.05	11.15	9.06
5UK	8.21	10.88	10.88
10UK	7.68	10.59	9.46
20UK	7.75	10.95	9.05
5P	7.89	10.79	10.61
10P	8.02	10.87	10.95
20P	7.98	10.81	11.11
5TKP	7.56	10.77	10.85
10TKP	7.81	11.23	10.65
20TKP	8.11	10.8	11.04
5TK	8.16	10.62	11.33
10TK	8.02	10.66	11.18
20TK	7.78	11.08	9.06
T	7.97	10.44	10.00

Çizelge 4.16. 1050 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P _H	3 ay sonrası P _H	6 ay sonrası P _H
5UKP	7.84	11.09	9.17
10UKP	7.99	11.06	9
20UKP	7.77	11.59	9.09
5UK	7.65	10.92	9.95
10UK	8.21	11.25	8.86
20UK	8.06	10.85	10.68
5P	7.88	10.73	9.45
10P	7.95	11	8.95
20P	8.12	11.14	8.98
5TKP	7.98	10.68	9.3
10TKP	7.92	10.78	9.02
20TKP	8.01	10.54	9.05
5TK	8.08	10.58	9.18
10TK	8.1	10.41	8.6
20TK	7.91	10.79	9.79
T	7.88	10.39	9.42

Sodyum nitrat ortamında bekletilen tuğlaların kütle kaybı sonuçları çizelge 4.17, 4.18, ve 4.19 da ve P_H değişimlerini gösterir çizelgeler 4.20, 4.21 ve 4.22 de belirtilmiştir.

Çizelge 4.17. 700 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	117.58	117.00	116.72	0.86	0.01
5UKP-2	119.53	118.66	118.33	1.20	
5UKP-3	119.78	119.49	119.20	0.58	
5UKP-ort	118.96	118.38	118.08	0.88	
10UKP-1	110.38	106.91	105.62	4.76	0.05
10UKP-2	110.79	107.34	106.00	4.79	
10UKP-3	112.22	107.67	106.37	5.85	
10UKP-ort	111.13	107.31	106.00	5.13	
20UKP-1	120.95	116.97	114.57	6.38	0.06
20UKP-2	117.72	113.04	110.59	7.13	
20UKP-3	120.07	115.67	113.26	6.81	
20UKP-ort	119.58	115.23	112.81	6.77	
5UK-1	114.07	112.25	110.27	3.80	0.04
5UK-2	118.62	114.62	112.59	6.03	
5UK-3	125.59	124.09	122.10	3.49	
5UK-ort	119.43	116.99	114.99	4.44	
10UK-1	123.76	122.45	121.15	2.61	0.02
10UK-2	121.86	120.23	118.88	2.98	
10UK-3	118.27	116.07	114.76	3.51	
10UK-ort	121.30	119.58	118.27	3.03	
20UK-1	105.13	104.24	103.13	2.00	0.02
20UK-2	104.09	102.67	101.51	2.58	
20UK-3	106.34	104.56	103.44	2.90	
20UK-ort	105.19	103.82	102.69	2.49	
5P-1	129.32	127.52	126.09	3.23	0.03
5P-2	121.46	118.52	117.04	4.42	
5P-3	119.07	118.33	116.89	2.18	
5P-ort	123.28	121.46	120.00	3.28	
10P-1	113.14	112.01	111.10	2.04	0.02
10P-2	116.65	115.48	114.52	2.13	
10P-3	113.34	112.12	111.20	2.14	
10P-ort	114.38	113.20	112.27	2.11	
20P-1	124.12	122.91	121.86	2.26	0.02
20P-2	118.92	117.46	116.36	2.56	
20P-3	122.68	121.53	120.47	2.21	
20P-ort	121.91	120.63	119.56	2.35	
5TKP-1	117.47	115.85	115.60	1.87	0.02
5TKP-2	114.52	112.93	112.63	1.89	
5TKP-3	107.84	106.09	105.83	2.01	

5TKP-ort	113.28	111.62	111.36	1.92	
10TKP-1	126.12	124.31	123.28	2.84	0.02
10TKP-2	131.24	129.50	128.42	2.82	
10TKP-3	125.36	123.55	122.51	2.85	
10TKP-ort	127.57	125.79	124.73	2.84	
20TKP-1	120.62	118.71	117.45	3.17	0.03
20TKP-2	124.01	121.77	120.46	3.55	
20TKP-3	119.92	117.57	116.30	3.62	
20TKP-ort	121.52	119.35	118.07	3.45	
5TK-1	111.89	110.87	109.94	1.95	0.02
5TK-2	110.16	108.96	107.98	2.18	
5TK-3	117.20	114.59	113.65	3.55	
5TK-ort	113.08	111.47	110.52	2.56	
10TK-1	109.69	108.26	107.25	2.44	0.03
10TK-2	111.11	109.04	107.98	3.13	
10TK-3	107.35	105.59	104.57	2.78	
10TK-ort	109.38	107.63	106.60	2.79	
20TK-1	108.08	106.86	105.93	2.15	0.02
20TK-2	102.03	100.22	99.24	2.79	
20TK-3	100.00	98.20	97.26	2.74	
20TK-ort	103.37	101.76	100.81	2.56	
T-1	116.32	114.64	113.68	2.64	0.02
T-2	121.41	119.84	118.83	2.58	
T-3	118.19	116.48	115.51	2.68	
T-ort	118.64	116.99	116.01	2.63	

Çizelge 4.18. 900 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	111.38	111.15	110.91	0.47	0.01
5UKP-2	112.92	112.46	112.17	0.75	
5UKP-3	113.24	112.70	112.45	0.79	
5UKP-ort	112.51	112.10	111.84	0.67	
10UKP-1	107.03	105.56	105.10	1.93	0.02
10UKP-2	102.19	100.86	100.35	1.84	
10UKP-3	113.49	111.35	110.88	2.61	
10UKP-ort	107.57	105.92	105.44	2.13	
20UKP-1	108.75	107.93	107.58	1.17	0.01
20UKP-2	108.46	108.11	107.71	0.75	
20UKP-3	109.75	109.51	109.15	0.60	
20UKP-ort	108.99	108.52	108.15	0.84	
5UK-1	104.69	103.41	102.63	2.06	0.02
5UK-2	114.05	112.63	111.80	2.25	
5UK-3	115.12	113.82	113.03	2.09	
5UK-ort	111.29	109.95	109.16	2.13	
10UK-1	115.07	113.71	112.21	2.86	0.02
10UK-2	111.61	110.34	108.79	2.82	
10UK-3	120.33	119.00	117.49	2.84	
10UK-ort	115.67	114.35	112.83	2.84	
20UK-1	94.19	92.88	91.50	2.69	0.03
20UK-2	101.59	100.67	99.24	2.35	
20UK-3	99.77	98.71	97.32	2.45	
20UK-ort	98.52	97.42	96.02	2.49	
5P-1	115.06	113.92	112.06	3.00	0.03
5P-2	113.68	112.50	110.59	3.09	
5P-3	112.23	110.34	108.47	3.76	
5P-ort	113.66	112.25	110.38	3.28	
10P-1	110.10	108.54	107.24	2.86	0.03
10P-2	111.92	110.03	108.68	3.24	
10P-3	116.98	115.80	114.49	2.49	
10P-ort	113.00	111.46	110.14	2.86	
20P-1	114.47	112.41	111.65	2.82	0.03
20P-2	113.69	111.71	110.90	2.79	
20P-3	117.96	115.48	114.71	3.25	
20P-ort	115.37	113.20	112.42	2.95	
5TKP-1	115.26	113.79	113.44	1.82	0.02
5TKP-2	116.90	115.39	114.99	1.91	
5TKP-3	119.15	117.47	117.11	2.04	

5TKP-ort	117.10	115.55	115.18	1.92	
10TKP-1	118.45	117.08	115.63	2.82	0.02
10TKP-2	118.10	116.68	115.18	2.92	
10TKP-3	110.75	109.42	107.96	2.79	
10TKP-ort	115.77	114.39	112.93	2.84	
20TKP-1	112.42	111.05	109.04	3.39	0.03
20TKP-2	118.40	117.00	114.94	3.47	
20TKP-3	113.36	111.90	109.88	3.49	
20TKP-ort	114.73	113.32	111.28	3.45	
5TK-1	111.65	110.51	109.02	2.63	0.02
5TK-2	118.65	117.93	116.39	2.26	
5TK-3	111.33	110.03	108.53	2.80	
5TK-ort	113.88	112.82	111.32	2.56	
10TK-1	120.36	118.51	117.55	2.81	0.02
10TK-2	117.00	115.76	114.75	2.25	
10TK-3	112.56	110.23	109.26	3.30	
10TK-ort	116.64	114.83	113.85	2.79	
20TK-1	95.69	94.82	93.14	2.55	0.03
20TK-2	98.00	97.04	95.31	2.69	
20TK-3	102.25	101.50	99.81	2.44	
20TK-ort	98.65	97.79	96.09	2.56	
T-1	120.88	119.73	117.89	2.99	0.02
T-2	114.90	113.69	111.80	3.10	
T-3	117.80	117.10	115.25	2.55	
T-ort	117.86	116.84	114.98	2.88	

Çizelge 4.19. 1050 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki Kütle Kayıpları ve Kayıp Yüzdeleri

Tuğla türü	İlk Ağırlık (gr)	3 ay sonrası ağırlık (gr)	6 ay sonrası ağırlık (gr)	Ağırlık Kayıpları (gr)	Ağırlık Kayıpları (%)
5UKP-1	109.12	108.03	107.62	1.50	0.01
5UKP-2	110.34	108.92	108.46	1.88	
5UKP-3	107.98	107.01	106.59	1.39	
5UKP-ort	109.15	107.99	107.56	1.59	
10UKP-1	106.04	105.15	105.08	0.96	0.02
10UKP-2	108.28	104.91	104.79	3.49	
10UKP-3	107.11	105.26	105.18	1.93	
10UKP-ort	107.14	105.84	105.01	2.13	
20UKP-1	99.08	97.96	97.09	1.99	0.02
20UKP-2	108.10	107.15	106.23	1.87	
20UKP-3	113.01	112.03	111.15	1.86	
20UKP-ort	106.73	109.26	104.82	1.91	
5UK-1	112.43	111.85	111.16	1.27	0.03
5UK-2	115.05	112.14	111.40	3.65	
5UK-3	118.60	115.12	114.42	4.18	
5UK-ort	115.36	113.04	112.33	3.03	
10UK-1	97.29	96.69	94.87	2.42	0.03
10UK-2	90.42	89.13	87.26	3.16	
10UK-3	90.64	89.54	87.71	2.93	
10UK-ort	92.78	95.26	89.94	2.84	
20UK-1	100.47	99.06	97.49	2.98	0.03
20UK-2	115.08	114.02	112.40	2.68	
20UK-3	102.73	101.60	100.02	2.71	
20UK-ort	106.09	102.02	103.30	2.79	
5P-1	116.61	115.53	113.66	2.95	0.03
5P-2	112.13	110.11	108.19	3.94	
5P-3	111.91	110.84	108.96	2.95	
5P-ort	113.55	112.16	110.27	3.28	
10P-1	114.68	113.75	111.88	2.80	0.02
10P-2	117.35	116.07	114.15	3.20	
10P-3	116.48	115.79	113.91	2.57	
10P-ort	116.17	115.20	113.31	2.86	
20P-1	119.51	118.53	116.91	2.60	0.02
20P-2	119.97	118.70	117.03	2.94	
20P-3	119.96	118.29	116.66	3.30	
20P-ort	119.81	118.51	116.86	2.95	
5TKP-1	103.98	102.63	102.22	1.76	0.02
5TKP-2	102.57	101.00	100.54	2.03	
5TKP-3	110.70	109.16	108.74	1.96	

5TKP-ort	105.75	109.92	103.83	1.92	
10TKP-1	109.11	108.04	107.09	2.02	0.02
10TKP-2	110.05	109.28	108.28	1.77	
10TKP-3	106.98	106.21	105.25	1.73	
10TKP-ort	108.71	102.91	106.87	1.84	
20TKP-1	117.00	116.11	116.02	0.98	0.03
20TKP-2	111.69	108.24	108.10	3.59	
20TKP-3	114.54	108.87	108.77	5.77	
20TKP-ort	114.41	106.80	110.97	3.45	
5TK-1	108.16	107.39	106.20	1.96	0.02
5TK-2	112.69	111.86	110.62	2.07	
5TK-3	110.10	109.70	108.50	1.60	
5TK-ort	110.32	109.65	108.44	1.88	
10TK-1	106.16	105.28	104.19	1.97	0.02
10TK-2	107.25	106.16	105.02	2.23	
10TK-3	108.99	107.98	106.88	2.11	
10TK-ort	107.47	106.47	105.37	2.10	
20TK-1	95.00	94.29	93.22	1.78	0.02
20TK-2	99.69	98.16	97.04	2.65	
20TK-3	90.09	88.93	87.85	2.24	
20TK-ort	94.93	93.79	92.71	2.22	
T-1	115.00	113.56	112.61	2.39	0.03
T-2	104.52	102.96	101.96	2.56	
T-3	115.34	112.62	111.66	3.68	
T-ort	111.62	109.71	108.74	2.88	

Çizelge 4.20. 700 °C De Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P _H	3 ay sonrası P _H	6 ay sonrası P _H
5UKP	7.65	11.21	10.80
10UKP	7.83	11.18	9.55
20UKP	7.74	11.09	9.44
5UK	8.02	10.55	9.45
10UK	7.61	10.40	9.29
20UK	7.61	10.02	9.80
5P	7.89	9.68	9.01
10P	7.99	10.79	9.69
20P	7.95	11.00	9.42
5TKP	7.85	11.03	10.80
10TKP	7.88	10.56	11.40
20TKP	7.56	10.88	10.57
5TK	7.96	10.53	9.69
10TK	7.79	10.68	9.62
20TK	8.06	10.88	9.74
T	8.11	11.12	11.18

Çizelge 4.21. 900 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Nitrat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P _H	3 ay sonrası P _H	6 ay sonrası P _H
5UKP	7.95	8.29	9.37
10UKP	8.12	11.59	9.65
20UKP	7.98	10.09	8.97
5UK	7.92	11.41	9.72
10UK	7.65	11.38	11.39
20UK	7.83	11.41	10.74
5P	7.74	10.81	9.61
10P	8.02	11.67	9.52
20P	7.61	11.84	9.57
5TKP	7.61	11.67	11.07
10TKP	7.89	11.65	10.68
20TKP	7.99	11.75	10.68
5TK	8.16	11.23	9.79
10TK	8.02	11.59	9.77
20TK	7.78	10.04	9.21
T	7.97	11.07	11.86

Çizelge 4.22. 1050 °C de Pişirilen Tuğlaların Sodyum Sülfat Çözeltisinde İlk Ay, 3 Ay ve 6 Ay Bekletilme Süreleri Sonucundaki P_H Değişimleri

Tuğla türü	İlk P _H	3 ay sonrası P _H	6 ay sonrası P _H
5UKP	8.13	11.05	9.07
10UKP	7.96	10.28	9.03
20UKP	8.05	11.06	9.06
5UK	8.21	9.60	9.83
10UK	7.68	9.13	9.09
20UK	7.75	11.63	9.59
5P	7.89	10.78	9.34
10P	8.02	10.46	9.84
20P	8.16	10.75	9.11
5TKP	7.68	11.38	10.16
10TKP	8.02	7.28	10.24
20TKP	7.79	10.11	9.98
5TK	7.54	9.50	9.05
10TK	7.61	9.90	9.08
20TK	7.89	9.67	9.14
T	7.99	11.96	10.40

Düşük sıcaklıkta pişirilen örneklerin sodyum sülfat ortamında 6 ay bekletildikten sonraki kütle kayıpları, yüksek sıcaklıkta pişirilen örneklerin kütle kaybından daha yüksek bulunmuştur. Ancak genel olarak kütle kaybı %1-3 arasında değişmektedir. Sodyum nitrat ortamında bekletilen örneklerin kütle kayıpları sodyum sülfata göre daha yüksek bulunmuştur. Genel olarak 700 derecede pişirilen örneklerin kütle kayıpları birbirine yakın bulunmuştur (%2-%3). Oysa aynı sıcaklıkta pişirilen ama sodyum nitrat ortamında bekletilen örneklerin kütle kayıpları daha geniş bir aralıkta bulunmuş ve tanık örneğin kütle kaybı daha düşük bulunmuştur. 900 derecede pişirilen sodyum sülfat ortamında bekletilen örneklerde kütle kayıpları birbirine çok yakındır. Yine aynı sıcaklıkta ancak sodyum nitrat ortamında bekletilen örneklerin kütle kayıpları %1 ile %3 arasında değişmektedir. 1050 derecede pişirilen sodyum sülfat ortamında bekletilen örneklerde kütle kayıpları %1-%2 arasında ve birbirine çok yakındır. Yine aynı sıcaklıkta ancak sodyum nitrat ortamında bekletilen örneklerin kütle kayıpları %1 ile %3 arasında değişirken en yüksek kütle kaybı tanık örnekten elde edilmiştir.

4.2.3. Donma-çözülme Deney Sonuçları

Bu çalışmada tuğlaların 30 hızlı donma-çözülme çevrimi sonundaki bazı mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Çevrim sonunda tuğlaların bazıları dağılmıştır (Şekil 4.12, 4.13) bazıları ise önemli deformasyona uğramamıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.12. Donma-Çözülme Çevriminde Dağılan Tanık Numuneler



Şekil 4.13. Donma-Çözülme Çevriminde Dağılan Uçucu Kül Katkılı Numuneler



Şekil 4.14. Donma-Çözülme Çevriminde Etkilenmeyen Numuneler

Donma çözülme çevrimleri öncesinde ve sonunda basınç dayanımı ile kütle değişimi belirlenmiştir (Çizelge 4.23-4.24-4.25). Donma-çözülme sonrası basınç dayanımları Şekil 4.15'deki grafikte , kütle değişimleri ise Şekil 4.16'daki grafikte gösterilmiştir. Çevrim sonunda %20 TKP katkılı örnekler hariç önemli deformasyon gözlenmemiştir.

700 °C de en yüksek kütle kayıpları tanık tuğla ve pomza katkılı tuğlalarda olmuştur. 900 °C de tüm numunelerin minimum kütle kayıpları olmuştur ve bulunan en yüksek kütle kaybı tanık tuğlada meydana gelmiştir. 1050 °C de bulunan en yüksek kütle kayıpları yine pomza ve tanık tuğlalardır.

TS 705'de izin verilen maksimum dane kaybı % 15 iken dona dayanıklı bir tuğlanın basınç dayanımı normal koşullardaki dayanımının en az %85'i olmalıdır.

Şekil 4.16'den %5 TKP katkılı örneğin donma sonrası basınç dayanımı en yüksek bulunmuştur. 700 °C de bulunan en yüksek basınç dayanımı değeri P katkılı tuğlalara aittir. 900 °C de bulunan en yüksek basınç dayanımı değeri P ve TKP katkılı tuğlalara aittir. 1050 °C deki en yüksek basınç dayanımı ise TKP katkılı tuğlada bulunmuştur.

Katkılı numunelerin donma-çözülme sonrası basınç dayanımı kayıpları tanık tuğlaların dayanım kayıplarına oranla daha az bulunmuştur.

Çizelge 4.23. 700 °C’de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi

Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (%)	Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	%85 σ
5UKP-1	109.84	109.85		132.92	
5UKP-2	109.79	109.80		135.69	
5UKP-3	109.96	109.99		136.33	
5UKP-ort	109.86	109.88	+0.02	134.98	133.17
10UKP-1	109.16	109.19		61.22	
10UKP-2	108.97	109.03		56.81	
10UKP-3	114.78	115.11		59.33	
10UKP-ort	110.97	111.11	+0.12	59.12	57.80
20UKP-1	120.32	120.71		41.23	
20UKP-2	114.31	114.45		33.00	
20UKP-3	113.93	114.79		43.01	
20UKP-ort	116.17	116.65	+0.40	39.08	42.50
5UK-1	113.27	113.41		105.13	
5UK-2	119.20	119.67		108.32	
5UK-3	121.82	122.30		106.35	
5UK-ort	118.09	118.46	+0.30	106.60	105.91
10UK-1	120.03	Dağıldı		0	
10UK-2	121.29	Dağıldı		0	
10UK-3	124.30	Dağıldı		0	
10UK-ort	121.87	Dağıldı	0	0	36.80
20UK-1	105.26	Dağıldı		0	
20UK-2	106.28	Dağıldı		0	
20UK-3	99.73	Dağıldı		0	
20UK-ort	103.75	Dağıldı	0	0	32.58
5P-1	111.21	111.00		194.44	
5P-2	109.85	109.43		198.80	
5P-3	111.01	110.11		195.72	
5P-ort	110.69	110.18	-0.46	196.32	175.66
10P-1	119.42	118.01		241.83	
10P-2	118.77	117.87		236.67	

10P-3	120.28	118.45		238.23	
10P-ort	119.49	118.21	-1.07	238.91	213.12
20P-1	123.21	122.12		170.09	
20P-2	122.73	121.58		181.43	
20P-3	124.02	122.00		174.99	
20P-ort	123.32	121.90	-1.15	175.50	157.03
5TKP-1	116.64	116.54		189.99	
5TKP-2	116.44	116.34		177.85	
5TKP-3	116.61	116.41		187.79	
5TKP-ort	116.53	116.43	-0.08	185.20	169.27
10TKP-1	128.76	128.49		174.58	
10TKP-2	129.00	128.67		169.76	
10TKP-3	128.88	128.52		172.19	
10TKP-ort	128.88	128.56	-0.24	172.18	159.08
20TKP-1	115.09	115.38		125.87	
20TKP-2	114.99	115.24		139.90	
20TKP-3	115.43	115.76		136.83	
20TKP-ort	115.17	115.46	+0.25	134.20	123.98
5TK-1	121.98	122.13		151.89	
5TK-2	123.07	123.11		140.00	
5TK-3	122.48	122.65		142.97	
5TK-ort	122.51	122.63	+0.09	144.95	135.39
10TK-1	124.58	124.71		110.22	
10TK-2	125.21	125.48		104.19	
10TK-3	123.86	124.48		106.26	
10TK-ort	124.55	124.89	+0.27	130.78	122.16
20TK-1	103.11	103.26		121.76	
20TK-2	102.18	102.63		115.22	
20TK-3	102.66	103.60		113.99	
20TK-ort	102.65	103.16	+0.49	116.99	109.28
T-1	125.65	121.99		153.78	
T-2	123.76	120.00		157.32	
T-3	125.23	123.35		155.23	
T-ort	124.88	121.78	-2.48	155.44	150.14

Çizelge 4.24. 900 °C’de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi

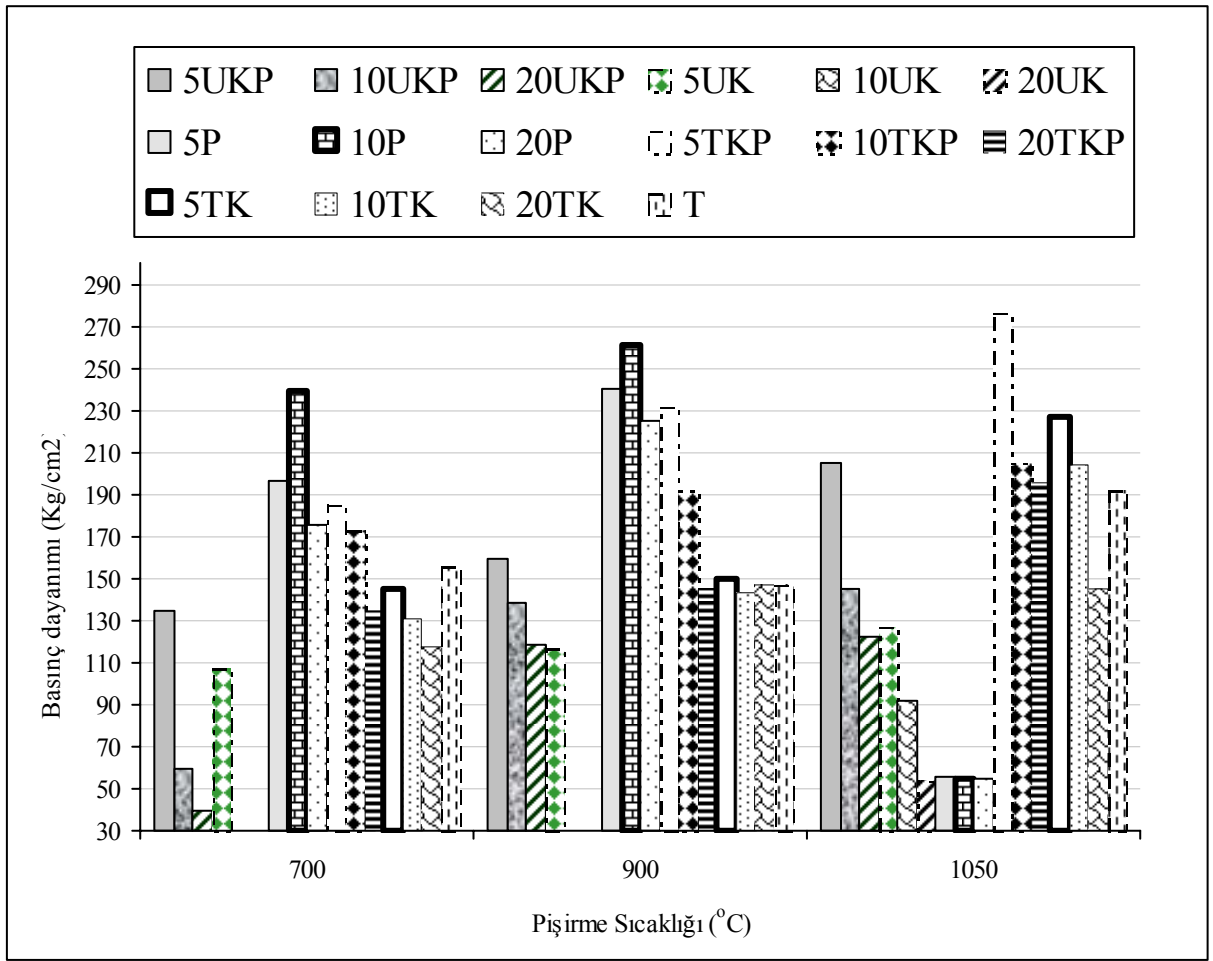
Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi (%)	Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	%85 σ
5UKP-1	106.70	106.70		161.98	
5UKP-2	108.55	108.11		162.30	
5UKP-3	108.36	108.35		153.47	
5UKP-ort	107.87	107.72	-0.14	159.25	148.75
10UKP-1	112.66	112.22		137.77	
10UKP-2	111.23	110.99		139.90	
10UKP-3	113.49	112.58		137.53	
10UKP-ort	112.46	111.93	-0.47	138.40	127.57
20UKP-1	111.21	110.88		116.82	
20UKP-2	110.44	109.71		119.90	
20UKP-3	109.79	109.02		118.48	
20UKP-ort	110.48	109.87	-0.90	118.40	112.03
5UK-1	115.27	115.03		117.81	
5UK-2	114.05	113.78		114.00	
5UK-3	113.22	113.10		116.98	
5UK-ort	114.18	113.97	-0.18	116.26	114.91
10UK-1	93.17	Dağıldı		0	
10UK-2	91.67	Dağıldı		0	
10UK-3	93.39	Dağıldı		0	
10UK-ort	92.41	Dağıldı	0	0	43.91
20UK-1	101.45	Dağıldı		0	
20UK-2	103.54	Dağıldı		0	
20UK-3	103.32	Dağıldı		0	
20UK-ort	102.77	Dağıldı	0	0	35.41
5P-1	121.14	121.04		246.80	
5P-2	120.03	119.97		237.55	
5P-3	120.27	120.19		236.88	
5P-ort	120.48	120.40	-0.07	240.41	215.10
10P-1	113.55	113.37		276.83	
10P-2	114.00	114.00		254.71	

10P-3	113.49	113.10		252.75	
10P-ort	113.68	113.49	-0.16	261.43	233.91
20P-1	119.96	119.66		217.70	
20P-2	118.77	118.59		227.80	
20P-3	121.12	121.00		228.90	
20P-ort	119.95	119.74	-0.17	224.80	202.14
5TKP-1	120.78	120.92		241.09	
5TKP-2	122.02	122.32		229.70	
5TKP-3	122.63	122.73		223.56	
5TKP-ort	121.81	121.99	+0.15	231.45	210.07
10TKP-1	125.55	125.66		194.40	
10TKP-2	126.11	126.20		188.30	
10TKP-3	125.08	125.51		193.38	
10TKP-ort	125.58	125.79	+0.16	192.02	179.36
20TKP-1	111.60	111.87		147.82	
20TKP-2	110.12	110.43		144.44	
20TKP-3	113.05	113.40		143.44	
20TKP-ort	111.59	111.90	+0.28	145.23	135.66
5TK-1	113.98	114.26		150.05	
5TK-2	114.55	114.62		142.76	
5TK-3	114.46	115.37		147.10	
5TK-ort	114.33	114.75	+0.36	146.64	136.97
10TK-1	111.32	111.62		121.61	
10TK-2	109.58	109.95		118.80	
10TK-3	109.52	110.39		115.87	
10TK-ort	110.14	110.65	+0.46	118.76	117.32
20TK-1	99.00	99.78		110.40	
20TK-2	98.27	98.94		108.12	
20TK-3	98.56	98.95		112.13	
20TK-ort	98.61	99.22	+0.62	110.21	51.00
T-1	121.66	121.64		191.27	
T-2	120.77	120.64		185.59	
T-3	120.96	120.87		188.67	
T-ort	121.13	121.05	+0.07	188.51	176.13

Çizelge 4.25. 1050 °C'de Üretilen Tuğlaların Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları ve Kütle Değişimi

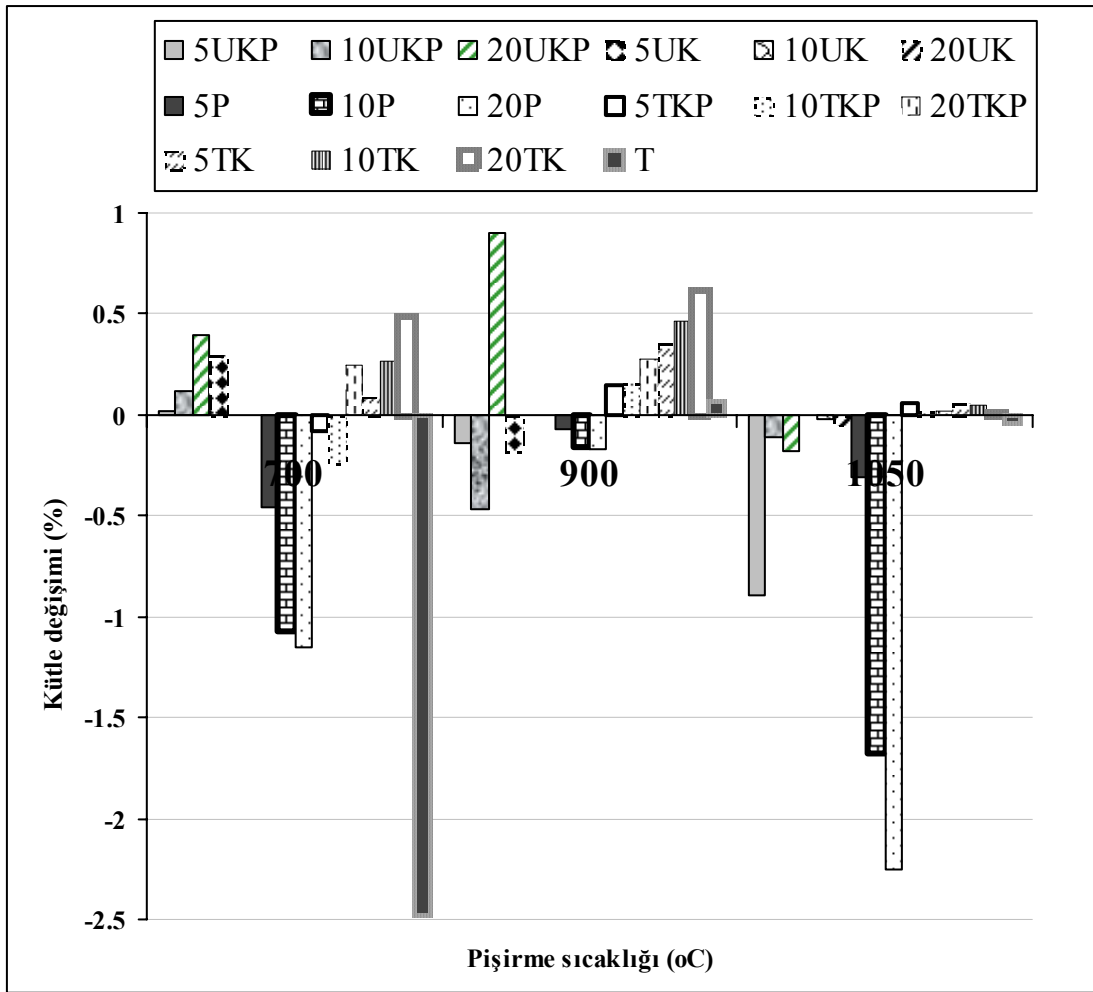
Tuğla türü	İlk Ağırlık (g)	Son Ağırlık (g)	Ağırlık değişimi((%)	Basınç Dayanımı (Kgf/cm ²)	%85 σ
5UKP-1	112.87	112.81		215.60	
5UKP-2	111.95	111.90		199.55	
5UKP-3	112.41	112.31		199.91	
5UKP-ort	112.41	112.34	-0.89	205.02	182.24
10UKP-1	104.54	104.42		155.23	
10UKP-2	105.02	105.00		140.03	
10UKP-3	103.82	103.60		139.37	
10UKP-ort	104.46	104.34	-0.11	144.99	136.94
20UKP-1	113.73	113.62		126.60	
20UKP-2	113.09	112.99		119.90	
20UKP-3	112.96	112.58		118.90	
20UKP-ort	113.26	113.06	-0.18	121.80	118.99
5UK-1	106.00	106.00		131.55	
5UK-2	107.11	107.11		124.40	
5UK-3	105.19	105.19		125.05	
5UK-ort	106.10	106.10	0	127.00	119.95
10UK-1	108.75	108.77		94.65	
10UK-2	108.99	109.00		90.00	
10UK-3	108.63	108.66		90.07	
10UK-ort	108.79	108.81	+0.02	91.57	86.48
20UK-1	105.44	105.42		55.30	
20UK-2	105.21	105.31		57.78	
20UK-3	104.71	104.78		56.72	
20UK-ort	105.12	105.17	+0.05	56.60	55.25
5P-1	113.12	112.87		255.85	
5P-2	113.67	113.43		282.00	
5P-3	112.36	111.80		290.55	
5P-ort	113.05	112.70	-0.31	276.13	249.69
10P-1	116.00	113.88		200.05	
10P-2	115.58	114.90		209.14	

10P-3	119.36	116.26		206.69	
10P-ort	116.98	115.01	-1.68	205.29	191.76
20P-1	123.76	120.43		200.01	
20P-2	122.99	120.66		188.84	
20P-3	123.09	120.44		198.12	
20P-ort	123.28	120.51	-2.25	195.65	182.75
5TKP-1	99.99	100.22		222.80	
5TKP-2	98.78	98.79		228.35	
5TKP-3	100.48	100.42		229.55	
5TKP-ort	99.75	99.81	+0.06	226.90	218.89
10TKP-1	114.88	114.89		205.41	
10TKP-2	114.00	114.00		202.38	
10TKP-3	114.68	114.73		203.88	
10TKP-ort	114.52	114.54	+0.02	203.89	202.04
20TKP-1	114.55	114.56		150.43	
20TKP-2	114.21	114.23		142.24	
20TKP-3	114.32	114.35		142.24	
20TKP-ort	114.36	114.38	+0.02	144.97	136.92
5TK-1	106.55	106.60		197.09	
5TK-2	106.01	106.03		187.70	
5TK-3	107.18	107.32		189.36	
5TK-ort	106.58	106.65	+0.06	191.38	189.16
10TK-1	113.02	113.09		160.04	
10TK-2	112.07	112.20		150.05	
10TK-3	114.84	114.79		154.15	
10TK-ort	113.31	113.36	+0.05	154.75	151.19
20TK-1	97.80	97.82		131.12	
20TK-2	96.99	96.99		129.90	
20TK-3	96.54	96.58		134.71	
20TK-ort	97.11	97.13	+0.02	130.66	127.41
T-1	121.00	120.96		266.76	
T-2	120.12	120.10		260.01	
T-3	118.88	118.80		262.93	
T-ort	120.00	119.95	-0.04	263.23	251.40



Şekil 4.15. Donma-Çözülme Sonrası Basınç Dayanımları

Standartlara göre dona dayanıklı bir tuğlanın basınç dayanımı normal koşullardaki dayanımının en az %85 'i dir. Tuğlaların birim ağırlığı azaldıkça, dayanımları azalmakta ancak su emme oranları artmaktadır. Deney sonucunda 700 santigrat derecede pişen örneklerin çoğu (uçucu kül katkılı örnekler hariç) standart değerlerin altında basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak düşük sıcaklıklarda pişirilen örneklerin yeterli sinterlemeye ulaşmadıkları ve dolayısı ile aşırı su emme değerlerinden kaynaklandığı öngörülmüştür. 900 santigrat derece sıcaklıkta pişen (uçucu kül katkılı örnekler hariç) bütün karışım serilerinde standarda belirtilen dayanım değerlerinin üzerinde bulunmuştur. 1050 santigrat derece sıcaklıkta pişen bütün karışım serilerinde standarda belirtilen dayanım değerlerinin çok üzerinde bulunmuştur.



Şekil 4.16. Donma-Çözülme Sonrası Kütle Kayıpları

Düşük piştirme sıcaklığında tanık en çok kütle kaybı göstermesine rağmen bütün örneklerin kütle kaybı standarda uygundur. Tanıktaki kütle kaybının nedeni düşük sıcaklıkta yeterli düzeyde sinterleşmenin sağlanmamış olmasıdır. Yüksek sıcaklıkta pomza katkılı örneklerin pomza bileşenlerinden bazıları eridiğinden kütle kaybı meydana gelmiş olabilir.

4.2.4. Islanma-Kuruma Çevrimlerinin Sonuçları

Afşin-Elbistan uçucu küllerinde yüksek oranda kireç (% 22,5) ve SO_3 (%12,1) bulunmaktadır. Yapılan 10 günlük ıslanma ve kuruma çevrimi sonuçlarına göre tuğla örneklerde uçucu kül katkılı ve düşük sıcaklıkta piştirilen (700) örneklerde kireçten kaynaklanan çiçeklenme gözlenmiştir (Şekil 4.17). Diğer örneklerde böyle bir gözlem yapılmamıştır.



Şekil 4.17. Islanma-Kuruma Çevrimi Sonuncunda Numunelerin Görünümü

4.2.5. Kuruma ve Pişme Prosesindeki Kütle Kayıpları

110 °C Etüv sonrası ve 700, 900 ve 1050 °C’ de pişirilen numunelerin kütle kayıpları Çizelge 4.26-4.27-4.28 ile Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 110 °C deki etüv sonrası kütle kaybı en az %5 TK katkılı numunede gözlenirken (%10) en çok kütle kaybı UK katkılı numunelerde (%16 civarında) gözlenmiştir. 700 ve 900 °C pişirilen numunelerdeki kütle kayıpları değerlendirildiğinde; UK katkılı numuneler en fazla kütle kaybı gösterirken, 1050 °C de pomza katkılı numuneler en fazla kütle kaybı göstermiştir. Bu durum daha önce açıklandığı gibi pomzanın yüksek sıcaklıkta erimesi ile açıklanmaktadır.

Çizelge 4.26. 700 °C'de Üretilen Tuğlaların 110 °C Etüv Sonrası ve 700 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları

Tuğla türü	Kalıp sonrası plastik numune ağırlığı (g)	110 °C Etüv sonrası numune ağırlığı (g)	700 °C'de numune ağırlığı (g)	110 °C'de ağırlık kaybı (%)	700 °C'de ağırlık kaybı (%)
5UKP-1	132.77	115.50	99.76		
5UKP-2	134.44	117.12	100.96		
5UKP-3	133.53	116.10	100.81		
5UKP-ort	133.58	116.24	100.51	12.98	13.53
10UKP-1	136.91	117.56	101.77		
10UKP-2	139.45	120.34	103.81		
10UKP-3	138.87	120.42	102.58		
10UKP-ort	138.41	119.44	102.72	13.70	13.99
20UKP-1	135.50	115.79	97.88		
20UKP-2	137.23	116.02	99.90		
20UKP-3	140.37	117.99	101.41		
20UKP-ort	137.70	116.60	99.73	15.32	14.47
5UK-1	143.39	122.05	102.21		
5UK-2	141.94	119.22	100.13		
5UK-3	140.88	120.41	101.83		
5UK-ort	142.07	120.56	101.39	15.14	15.90
10UK-1	136.89	114.76	95.69		
10UK-2	134.47	113.07	94.13		
10UK-3	139.10	116.93	96.50		
10UK-ort	136.82	114.92	95.44	16.00	16.95
20UK-1	133.87	111.79	91.07		
20UK-2	134.91	112.59	91.44		
20UK-3	136.79	115.58	94.48		
20UK-ort	135.19	113.32	92.33	16.17	18.52
5P-1	142.70	124.61	109.73		
5P-2	144.93	126.01	112.05		
5P-3	144.76	129.00	111.34		
5P-ort	144.13	126.54	111.04	12.20	12.24
10P-1	155.65	136.70	121.79		

10P-2	151.31	133.62	119.50		
10P-3	154.05	135.40	120.48		
10P-ort	153.67	135.24	120.59	11.99	10.83
20P-1	145.58	129.60	117.45		
20P-2	150.14	133.94	121.12		
20P-3	149.93	132.10	121.13		
20P-ort	148.55	131.88	119.96	11.22	9.03
5TKP-1	138.90	123.16	107.70		
5TKP-2	133.47	118.90	104.63		
5TKP-3	132.99	118.18	103.87		
5TKP-ort	135.12	120.08	105.40	11.13	12.22
10TKP-1	139.98	123.36	107.44		
10TKP-2	144.64	128.00	111.11		
10TKP-3	140.66	125.23	109.29		
10TKP-ort	141.76	125.53	109.28	11.44	12.94
20TKP-1	143.58	126.87	110.45		
20TKP-2	139.89	122.27	106.59		
20TKP-3	139.74	124.12	107.20		
20TKP-ort	141.07	124.42	108.08	11.80	13.13
5TK-1	127.57	115.47	100.18		
5TK-2	132.20	119.56	104.43		
5TK-3	132.60	116.33	101.39		
5TK-ort	130.79	117.12	102.00	10.45	12.91
10TK-1	141.22	124.83	107.02		
10TK-2	137.88	122.00	105.44		
10TK-3	135.29	119.59	104.10		
10TK-ort	138.13	122.14	105.52	11.57	13.60
20TK-1	146.59	128.08	110.04		
20TK-2	144.23	126.41	108.13		
20TK-3	144.27	127.71	108.77		
20TK-ort	145.03	127.40	108.98	12.15	14.45
T-1	142.22	126.47	109.42		
T-2	141.19	125.58	108.13		
T-3	142.98	127.57	110.17		
T-ort	142.13	126.54	109.24	10.96	13.67

Çizelge 4.27. 900 °C'de Üretilen Tuğlaların 110 °C Etüv Sonrası ve 900 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları

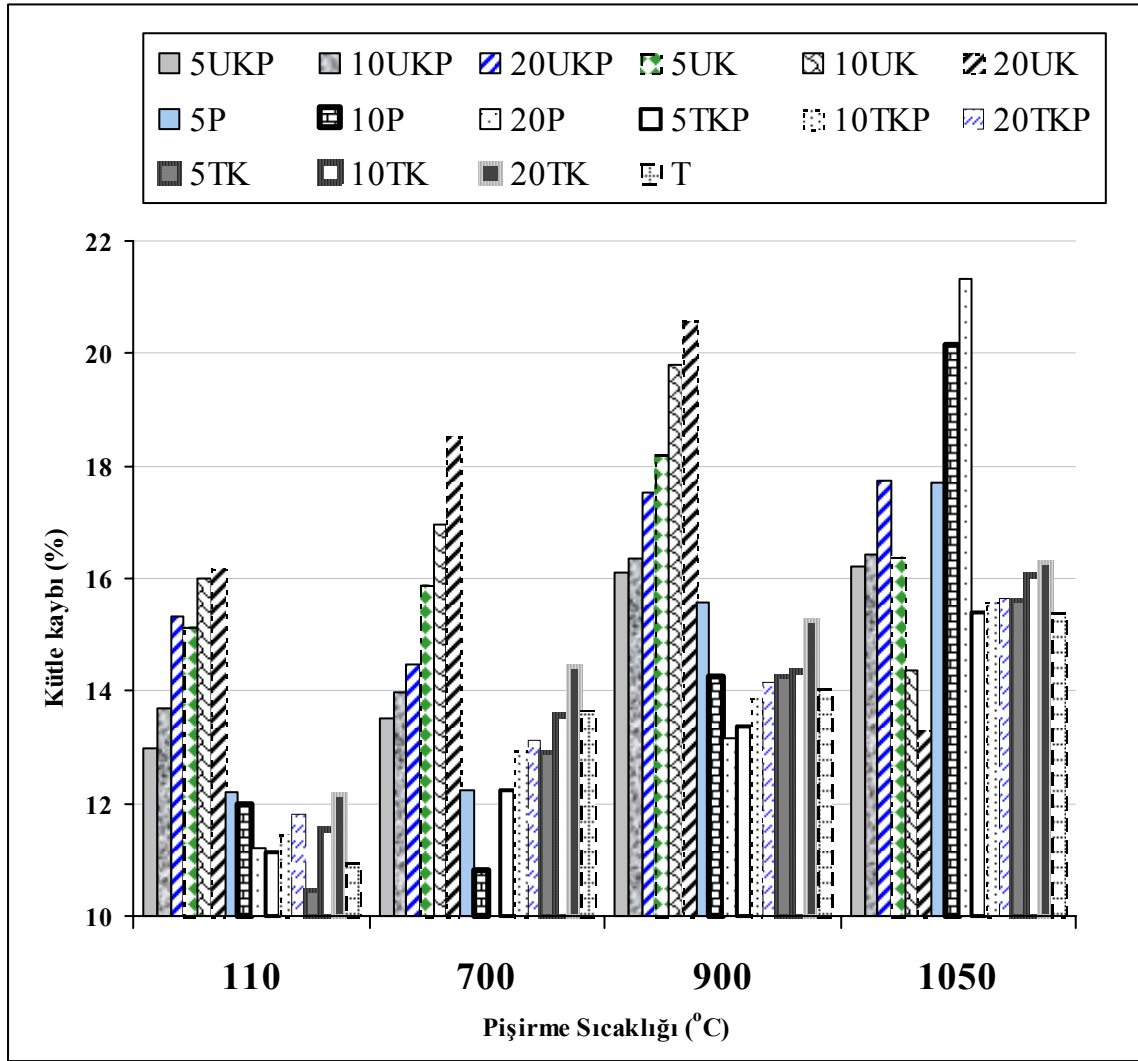
Tuğla türü	Kalıp sonrası plastik numune ağırlığı (g)	110 °C Etüv sonrası numune ağırlığı (g)	900 °C'de numune ağırlığı (g)	110 °C ağırlık kaybı (%)	900 °C'de ağırlık kaybı (%)
5UKP-1	136.55	119.08	99.25		
5UKP-2	131.18	113.99	96.63		
5UKP-3	133.67	116.19	97.10		
-5UKP-ort	133.80	116.42	97.66	12.99	16.11
10UKP-1	136.68	117.02	98.80		
10UKP-2	138.22	119.03	100.12		
10UKP-3	143.27	122.81	101.17		
10UKP-ort	139.39	119.62	100.03	14.18	16.37
20UKP-1	127.70	107.89	88.56		
20UKP-2	130.09	109.73	90.08		
20UKP-3	131.91	111.78	92.98		
20UKP-ort	129.90	109.80	90.54	15.47	17.54
5UK-1	137.47	116.83	95.77		
5UK-2	139.99	118.41	97.23		
5UK-3	139.45	117.26	95.36		
5UK-ort	138.97	117.50	96.12	15.45	18.19
10UK-1	127.80	107.22	86.65		
10UK-2	125.10	105.50	84.70		
10UK-3	126.12	106.60	84.76		
10UK-ort	126.34	106.44	85.37	15.75	19.79
20UK-1	131.31	110.22	88.03		
20UK-2	130.01	108.85	87.98		
20UK-3	126.76	106.04	82.17		
20UK-ort	129.39	108.37	86.06	16.24	20.58
5P-1	152.20	133.88	112.67		
5P-2	149.90	130.95	111.00		
5P-3	148.20	128.68	109.93		
5P-ort	150.10	131.71	111.20	12.25	15.57
10P-1	141.09	124.10	107.43		

10P-2	139.55	122.90	105.77		
10P-3	140.71	124.01	104.86		
10P-ort	140.45	123.67	106.02	11.94	14.27
20P-1	144.80	127.09	110.99		
20P-2	144.12	127.51	110.62		
20P-3	145.09	127.66	110.34		
20P-ort	144.67	127.42	110.65	11.92	13.16
5TKP-1	134.60	119.66	103.19		
5TKP-2	133.24	117.80	101.00		
5TKP-3	130.89	115.82	101.78		
5TKP-ort	132.91	117.76	101.99	11.39	13.39
10TKP-1	144.09	127.70	109.94		
10TKP-2	142.20	124.99	108.30		
10TKP-3	142.71	127.14	108.88		
10TKP-ort	143.00	126.61	109.04	11.46	13.87
20TKP-1	139.73	122.05	105.01		
20TKP-2	137.84	120.90	104.37		
20TKP-3	137.45	121.01	103.10		
20TKP-ort	138.34	121.32	104.16	12.30	14.14
5TK-1	144.46	127.88	109.51		
5TK-2	140.55	124.40	106.88		
5TK-3	142.37	128.39	109.95		
5TK-ort	142.46	126.89	108.78	10.92	14.27
10TK-1	137.01	121.34	104.09		
10TK-2	136.22	120.99	103.27		
10TK-3	138.49	122.02	104.64		
10TK-ort	137.24	121.45	104.00	11.50	14.36
20TK-1	136.67	119.90	101.66		
20TK-2	134.40	118.57	101.00		
20TK-3	135.55	119.77	100.82		
20TK-ort	135.54	119.39	101.16	11.91	15.26
T-1	139.95	124.78	107.33		
T-2	141.22	126.36	108.44		
T-3	142.61	127.07	109.31		
T-ort	141.26	126.07	108.36	10.75	14.04

Çizelge 4.28. 1050 °C'de Üretilen Tuğlaların 110 °C Etüv Sonrası ve 1050 °C'de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları

Tuğla türü	Kalıp sonrası plastik numune ağırlığı (g)	110 °C Etüv sonrası numune ağırlığı (g)	1050 °C'de numune ağırlığı (g)	110 °C ağırlık kaybı (%)	1050 °C'de ağırlık kaybı (%)
5UKP-1	136.56	117.70	98.50		
5UKP-2	134.02	116.11	97.66		
5UKP-3	132.08	115.99	96.97		
5UKP-ort	134.22	116.60	97.71	13.12	16.20
10UKP-1	133.99	115.44	96.60		
10UKP-2	136.10	117.24	98.15		
10UKP-3	135.99	117.42	97.81		
10UKP-ort	135.33	116.70	97.52	13.77	16.43
20UKP-1	129.69	110.31	91.00		
20UKP-2	125.38	107.41	90.15		
20UKP-3	130.19	111.11	89.33		
20UKP-ort	128.42	109.61	90.16	14.64	17.74
5UK-1	155.54	136.89	114.00		
5UK-2	152.20	134.40	113.58		
5UK-3	153.33	134.91	112.08		
5UK-ort	153.69	135.40	113.22	11.90	16.38
10UK-1	141.09	125.83	107.29		
10UK-2	139.42	124.12	106.18		
10UK-3	138.20	122.49	105.43		
10UK-ort	139.57	124.14	106.30	11.05	14.37
20UK-1	145.88	130.14	113.44		
20UK-2	143.11	128.37	112.03		
20UK-3	145.17	130.08	111.46		
20UK-ort	144.72	129.53	112.31	10.49	13.29
5P-1	133.83	113.90	93.79		
5P-2	134.40	114.40	94.50		
5P-3	134.28	114.96	94.13		
5P-ort	134.17	114.42	94.14	14.72	17.72
10P-1	130.09	109.98	87.66		

10P-2	127.80	108.24	86.61		
10P-3	131.03	110.82	88.50		
10P-ort	129.64	109.68	87.59	15.39	20.14
20P-1	127.34	106.81	83.00		
20P-2	124.40	104.88	82.07		
20P-3	123.26	103.82	83.12		
20P-ort	125.00	105.17	82.73	15.86	21.33
5TKP-1	142.18	126.42	104.49		
5TKP-2	140.71	123.87	104.76		
5TKP-3	139.81	123.06	106.62		
5TKP-ort	140.90	124.45	105.29	11.67	15.39
10TKP-1	143.88	126.60	106.84		
10TKP-2	145.83	127.80	107.13		
10TKP-3	145.02	127.05	108.08		
10TKP-ort	144.91	127.15	107.35	12.25	15.57
20TKP-1	145.61	127.51	107.95		
20TKP-2	144.00	127.87	107.59		
20TKP-3	149.47	129.82	109.45		
20TKP-ort	146.36	128.40	108.33	12.27	15.63
5TK-1	136.68	121.06	102.00		
5TK-2	134.21	119.77	101.06		
5TK-3	135.76	120.85	102.13		
5TK-ort	135.55	120.56	101.73	11.05	15.61
10TK-1	136.58	121.89	102.10		
10TK-2	137.76	122.02	102.76		
10TK-3	139.39	122.66	102.82		
10TK-ort	137.91	122.19	102.56	11.23	16.06
20TK-1	137.00	121.77	101.65		
20TK-2	135.99	120.06	101.12		
20TK-3	139.96	122.58	102.21		
20TK-ort	137.65	121.47	101.66	11.75	16.30
T-1	139.90	125.78	106.23		
T-2	137.84	123.63	105.11		
T-3	140.67	126.61	106.72		
T-ort	139.47	125.34	106.02	10.13	15.41



Şekil 4.18. Tuğların 110 °C Etüv Sonrası ve 700, 900, 1050 °C’de Pişirildikten Sonraki Numunelerin Kütle Kayıpları

4.2.6. Ultrasonik Ses Geçişi

Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi, ASTM C 597 standardına uygun olarak yapılmıştır. Betonun içerisinden geçen P dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur (Yazıcıoğlu ve Bozkurt, 2006).

Ancak, P dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, P dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Yada betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça P dalganın hızı daha küçük olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Farklı sıcaklıklarda, farklı oranlardaki katkı maddeleri ihtiva eden ve katkısız örneğe ait ultrasonik ses geçiş hızları Çizelge 4.29.' da verilmiştir.

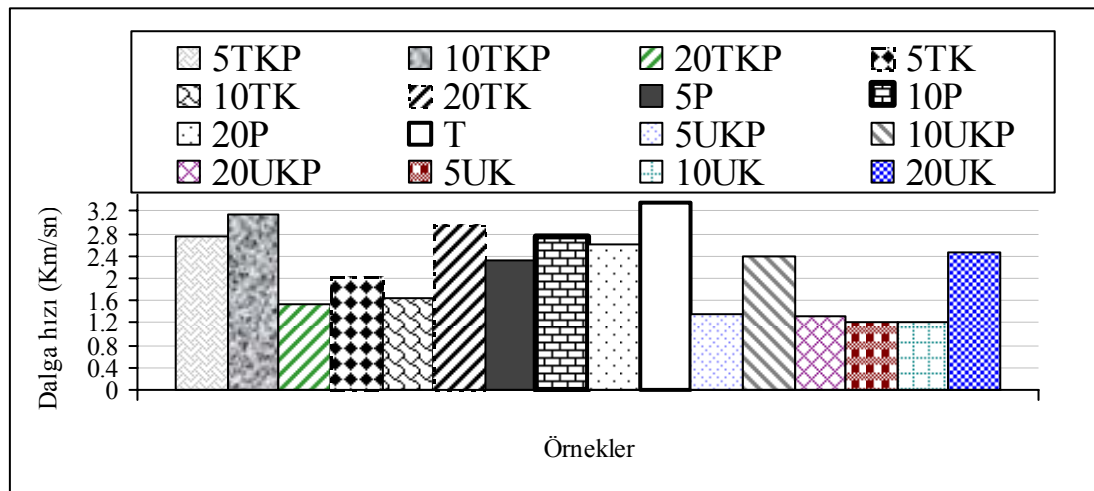
Şekil 4.19~4.21 incelendiğinde tekstil fabrikası külü ve pomza katkılı serilerinin boşluk hacminin diğer serilere göre daha az olduğu söylenebilir. Bu TFAK ve BP parçacıklarının, kütleyi doldurma kapasitesinin yüksek olması ile açıklanabilir. Bu durum yüksek sıcaklıkta pişirilen pomza katkılı örnekler için geçerli değildir. Zira bu sıcaklıkta pişirilen örneklerin basınç dayanımları da düşük bulunmuştur. Yani basınç dayanımı ile ultrasonik ses geçişleri paralellik göstermektedir.

Şekil 4.19~4.21'den de anlaşıldığı gibi pişirme sıcaklığı arttıkça dalga geçiş hızı da artmaktadır. Bu sonuçlar basınç dayanım sonuçlarını desteklemektedir. Ultrasonik ses geçiş deneyi sonuçları incelendiğinde tuğla serilerinin ses üstü dalga geçiş hızlarından nasıl bir dayanım özelliği sergileyeceği konusunda genel bir yargıya varılamamaktadır. Zira kontrol örneğinin ultrasonik ses geçiş hızları artarken basınç dayanımları artmaktadır. Oysa örneğin pomza katkılı örneklerde bu durum her örnek için doğru değildir. Kimi katkılı örneklerde ise TFAK ve P katkısının boşlukları doldurma sıkıştırılmaya olumlu katkısı sayesinde TFAK ve BP katkılı tuğlaların ultrasonik ses geçiş hızları tanık örneğine göre daha düşük çıkmıştır.

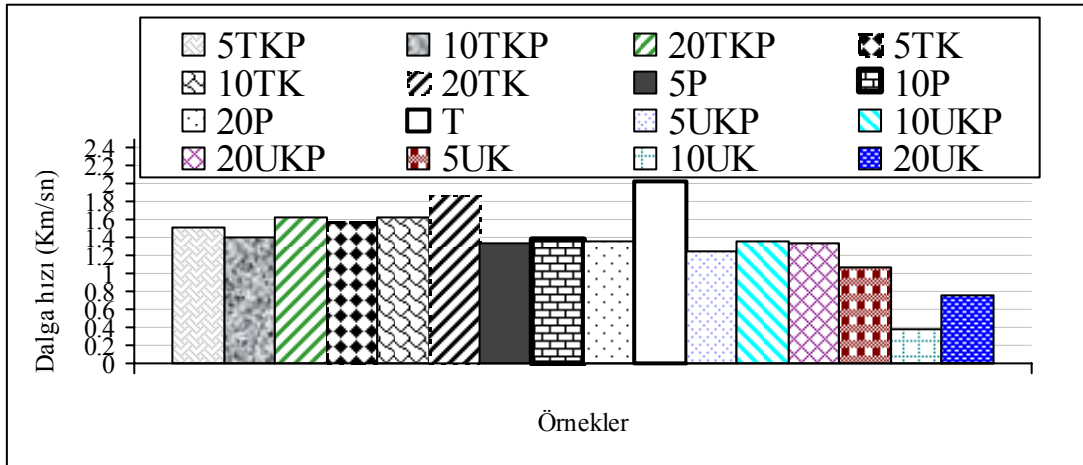
Çizelge 4.29. Ultrasonik Ses Geçiş Hızları

Tuğla Türü	700 ° C de Pişirilen Örneklerden Ses Geçiş Süresi	700 ° C de Pişirilen 50 mm.lik Kesitten Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (Km / μ . sn)	900 ° C de Pişirilen Örneklerden Ses Geçiş Süresi	900 ° C de Pişirilen 50 mm.lik Kesitten Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (Km/ μ . sn)	1050 ° C de Pişirilen Örneklerden Ses Geçiş Süresi	1050 ° C de Pişirilen 50 mm.lik Kesitten Ultrasonik Ses Geçiş Hızı (Km/ μ . sn)
5UKP-1	44.20		41.80		37.10	
5UKP-2	44.70		37.80		34.50	
5UKP-3	45.10		40.70		40.30	
5UKP-ort	44.67	1.12	40.10	1.25	37.30	1.34
10UKP-1	54.00		36.60		20.50	
10UKP-2	53.80		36.00		20.60	
10UKP-3	53.60		36.40		21.10	
10UKP-ort	53.80	0.93	36.30	1.37	20.73	2.41
20UKP-1	59.00		37.40		37.30	
20UKP-2	59.90		37.00		37.70	
20UKP-3	56.90		37.00		37.70	
20UKP-ort	58.60	0.85	37.13	1.35	37.56	1.33
5UK-1	47.20		46.60		44.00	
5UK-2	48.30		45.30		39.70	
5UK-3	49.00		45.80		41.60	
5UK-ort	48.17	1.04	45.90	1.08	41.77	1.20
10UK-1	100.10		127.00		38.90	
10UK-2	93.20		136.00		40.90	
10UK-3	102.90		135.00		41.80	
10UK-ort	98.73	0.51	132.66	0.37	40.53	1.23
20UK-1	52.70		73.70		19.90	
20UK-2	53.20		64.50		18.80	
20UK-3	52.80		63.10		22.50	
20UK-ort	52.90	0.95	67.10	0.75	20.40	2.45
5P-1	45.00		36.90		20.90	
5P-2	45.30		36.50		21.50	
5P-3	44.50		37.90		22.00	
5P-ort	44.93	1.11	37.10	1.35	21.47	2.33
10P-1	35.50		34.30		17.50	
10P-2	38.00		36.50		17.80	
10P-3	40.60		37.50		18.90	
10P-ort	38.03	1.31	36.10	1.39	18.07	2.77
20P-1	36.20		34.30		18.00	
20P-2	35.80		37.40		20.60	
20P-3	37.20		38.60		18.60	
20P-ort	36.40	1.37	36.76	1.36	19.07	2.62
5TKP-1	35.70		32.00		18.20	
5TKP-2	35.90		31.60		18.20	
5TKP-3	34.90		35.50		18.30	

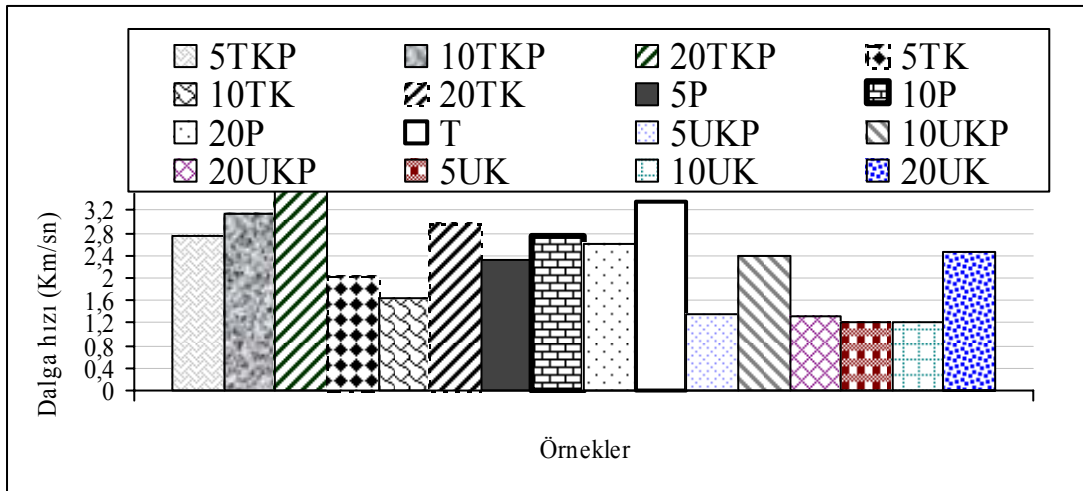
5TKP-ort	35.50	1.41	33.03	1.51	18.23	2.74
10TKP-1	37.80		34.80		16.00	
10TKP-2	42.50		35.00		15.90	
10TKP-3	41.10		37.10		15.90	
10TKP-ort	40.47	1.24	35.63	1.40	15.93	3.14
20TKP-1	32.10		30.20		14.20	
20TKP-2	33.30		28.10		13.20	
20TKP-3	32.00		34.30		14.20	
20TKP-ort	32.47	1.54	30.86	1.62	13.87	3.61
5TK-1	37.60		26.20		25.20	
5TK-2	42.90		39.70		23.20	
5TK-3	38.20		28.40		25.00	
5TK-ort	39.57	1.26	31.43	1.59	24.47	2.04
10TK-1	32.80		32.00		14.40	
10TK-2	32.80		30.70		13.90	
10TK-3	32.10		28.90		14.80	
10TK-ort	32.57	1.54	30.53	1.64	14.30	3.49
20TK-1	34.90		26.20		16.80	
20TK-2	38.10		26.20		17.80	
20TK-3	36.00		27.30		15.90	
20TK-ort	36.33	1.37	26.57	1.88	16.83	2.97
T-1	30.00		24.30		15.40	
T-2	31.20		24.60		14.30	
T-3	32.10		24.70		15.00	
T-ort	31.10	1.61	24.53	2.03	14.90	3.36



Şekil 4.19 700 °C de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları



Şekil 4.20. 900 C° de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları

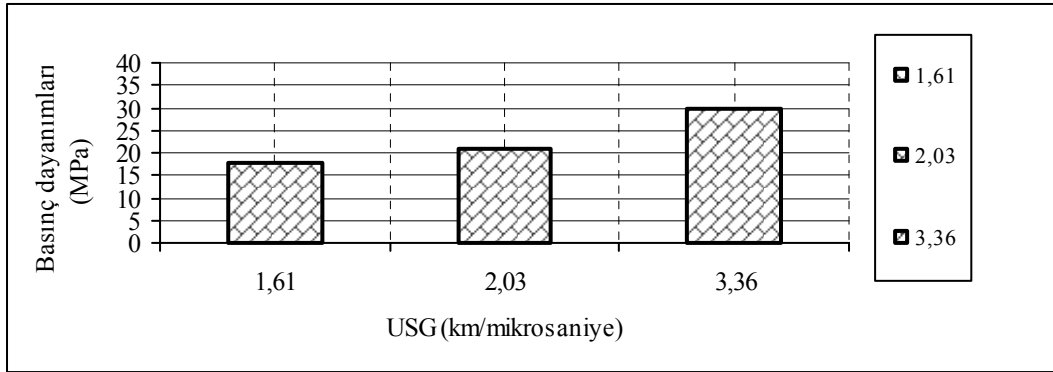


Şekil 4.21. 1050 C° de Pişirilen Örneklerden Geçen Ultrasonik Ses Hızları

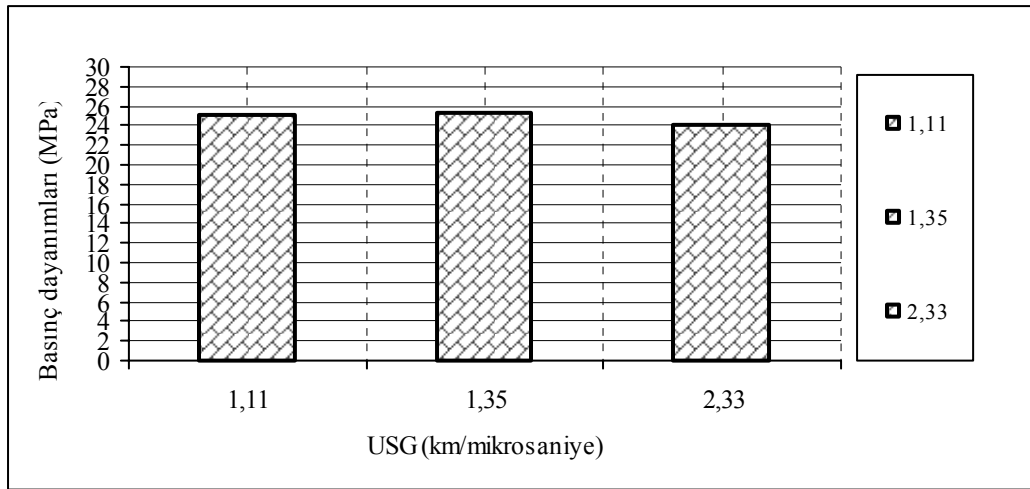
Şekil 4.22’de tank örneğinin basınç dayanımları ve ultrasonik ses geçirgenlik değerleri arasındaki ilişki verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi dayanım değerleri arttıkça ultrasonik ses geçirgenlik hızı da artmaktadır. Dalga numune içerisinde ne kadar az boşluğa rastlarsa, o kadar kısa sürede ilerler, böylece o numunenin ultrasonik ses geçirgenlik hızı da yüksek olur. Bu durum Şekil 4.23’ de verilen P grubu örnekler için geçerli olmazken Şekil 4.26 ve 4.27’de verilen TKP grubu örnekler için kimi zaman geçerli olmaktadır. Genel olarak kontrol örneğinden ses geçiş hızı katkılı örneklerden daha fazladır. Bu da TFAK ve BP nin boşluklu yapısına işaret etmektedir.

Ultrasonik testleri de dayanım sonuçlarını desteklemiştir. TFAK ve BP tuğla içerisinde azalttığı hava boşluğu yüzünden basınç dayanımlar artarken yüksek sıcaklıkta pişirilen pomzalı örneklerinin pomza bileşenlerinin erimesiyle oluşan boşluklar yüzünden Ultrasonik ses geçirgenlik hızını da düşmüştür. Yani TFAK ve BP (700 ve 900 C°’ye kadar) boşluk doldurucu etkisi sayesinde tank örneklerden daha yüksek USG hızına

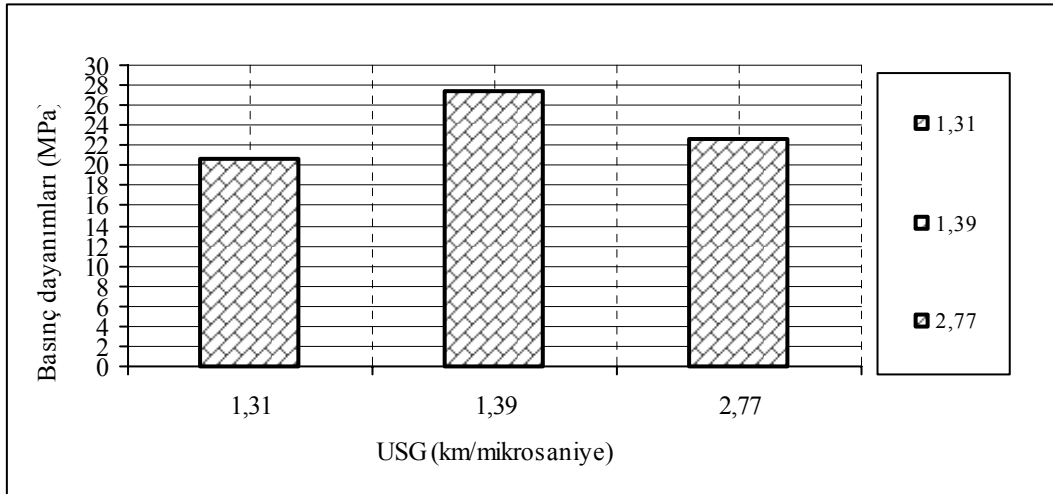
sahiptir. TK grup örneklerin basınç dayanımı-Ultrasonik ses geçiş hızları ilişkileri şekil 4.28–4.31 arasında verilmiştir. Bu grup örneklerde de basınç dayanımı ile Ultrasonik ses geçiş hızları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 4.32–4.37 arasında UK ve UKP örneklerinin basınç dayanımı-Ultrasonik ses geçiş hızları ilişkileri verilmektedir. Bu grup örneklerinde basınç dayanımı ile Ultrasonik ses geçiş hızları arasında somut bir ilişki gözlenmemiştir. Bunun nedeni katkıların farklı olmasıyla açıklanabilir.



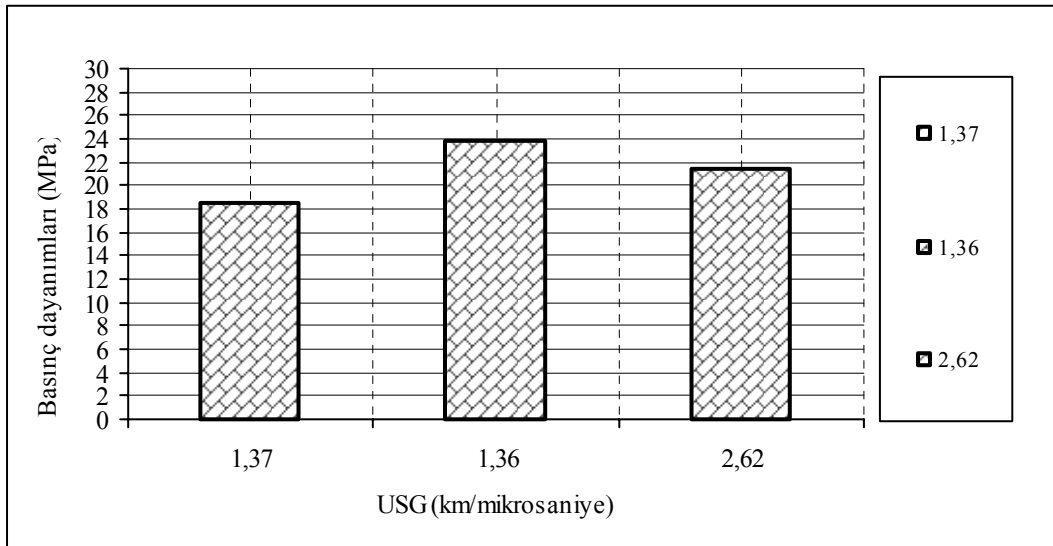
Şekil 4.22. Tanık Örneğin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



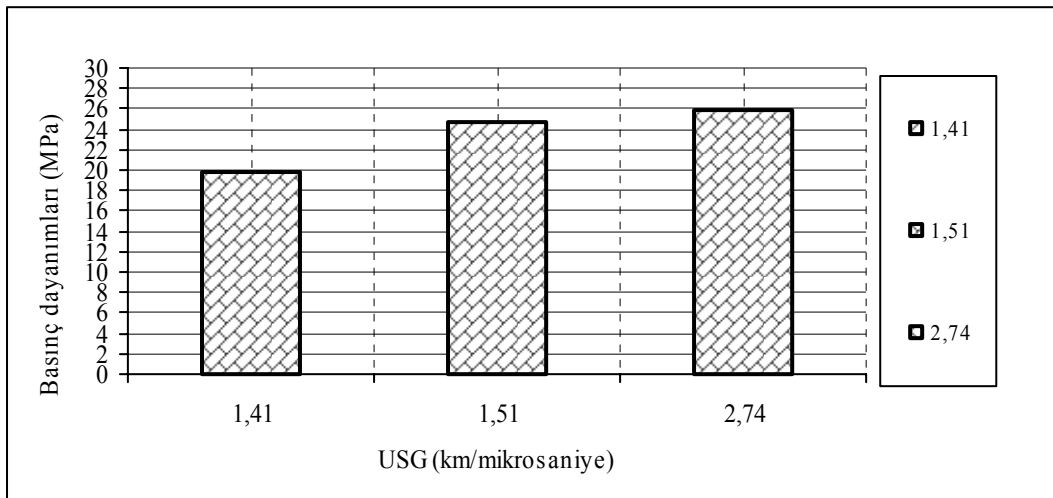
Şekil 4.23. 5P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



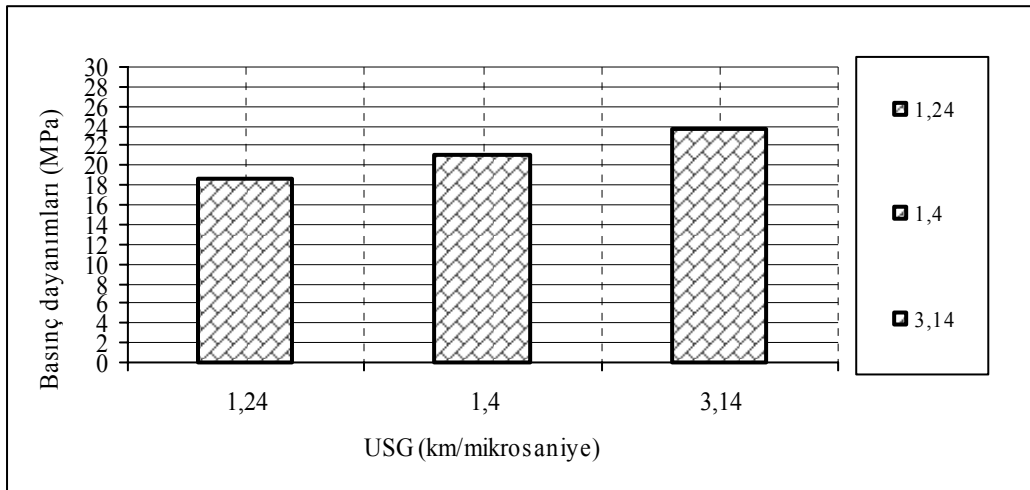
Şekil 4.24. 10P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



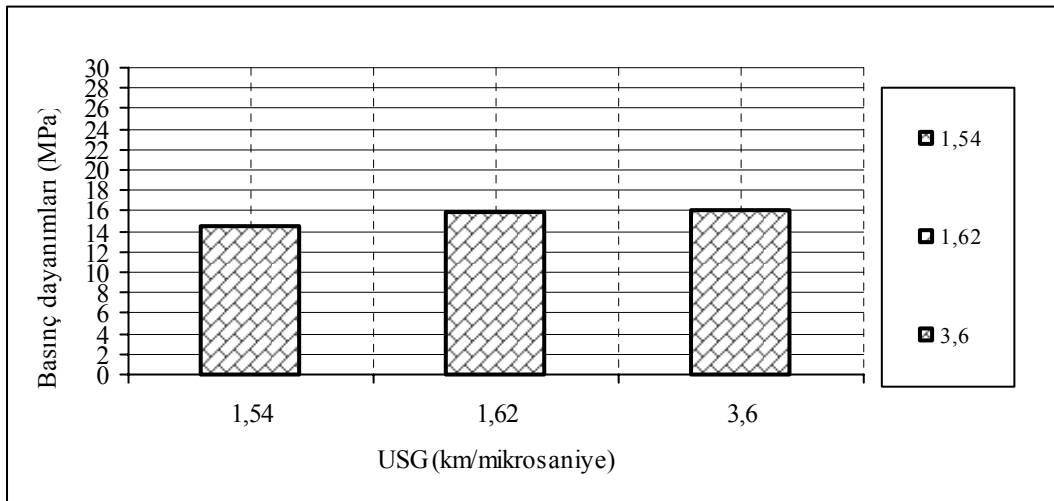
Şekil 4.25. 20P Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



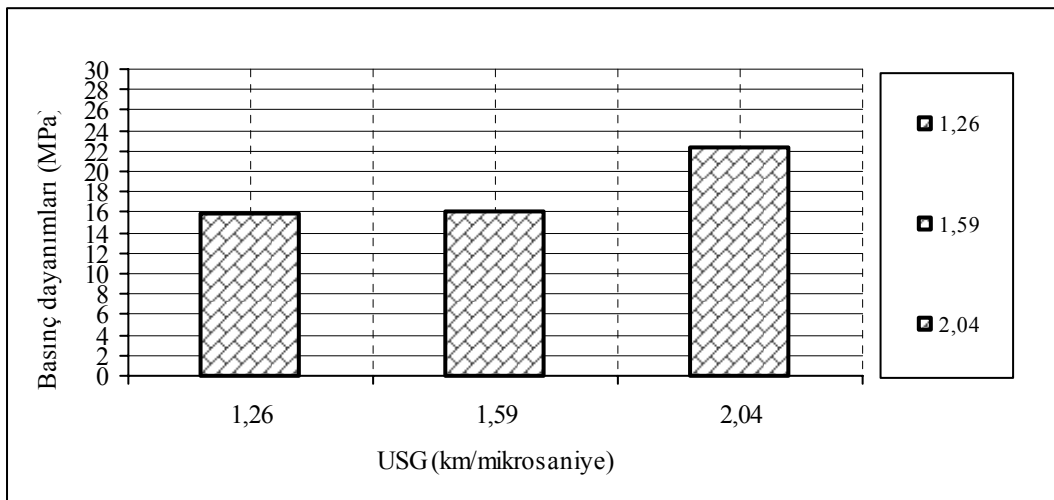
Şekil 4.26. 5TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



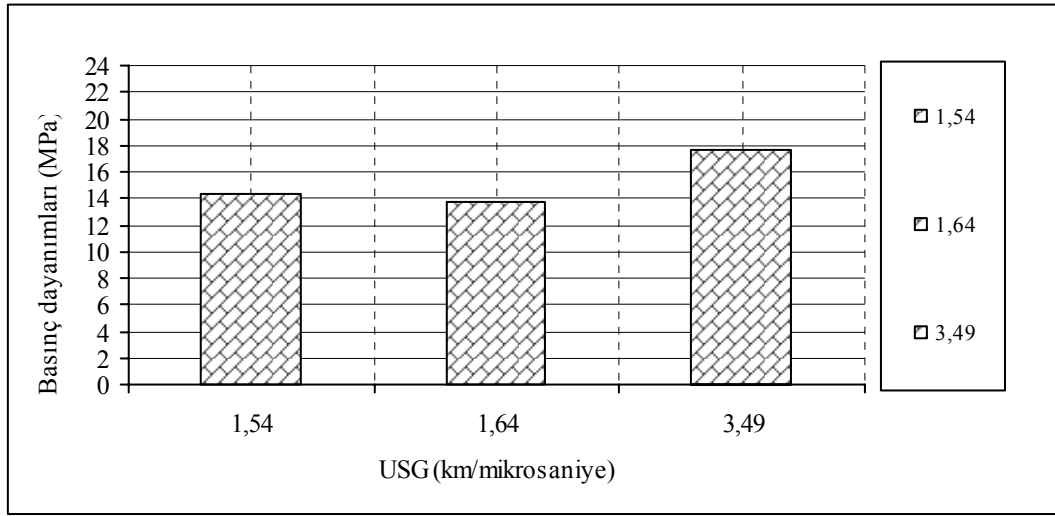
Şekil 4.27. 10TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



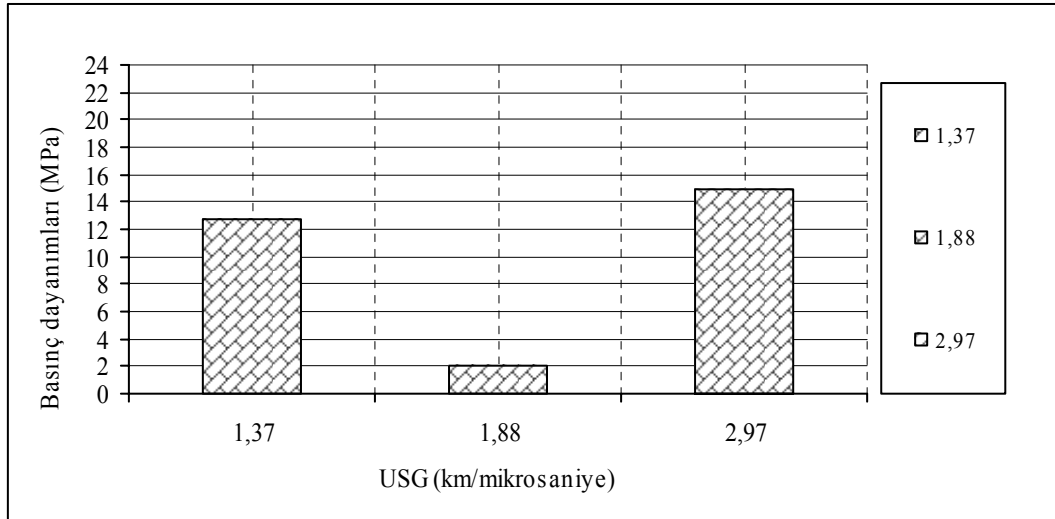
Şekil 4.28. 20TKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



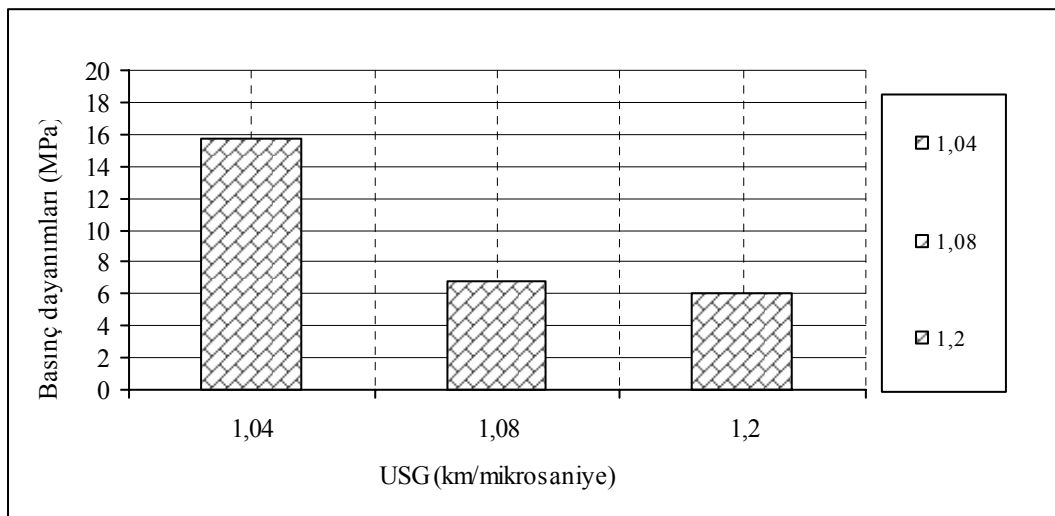
Şekil 4.29. 5TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



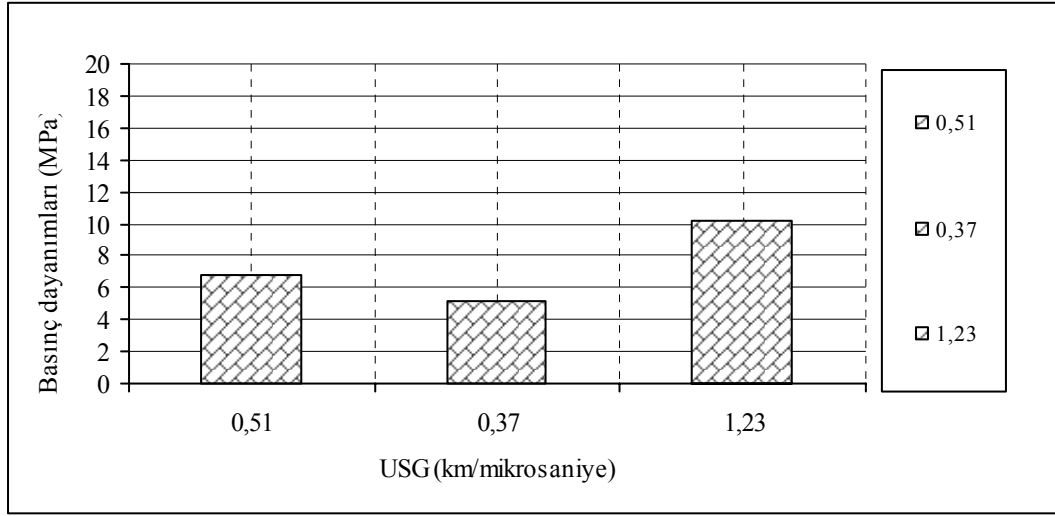
Şekil 4.30. 10TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



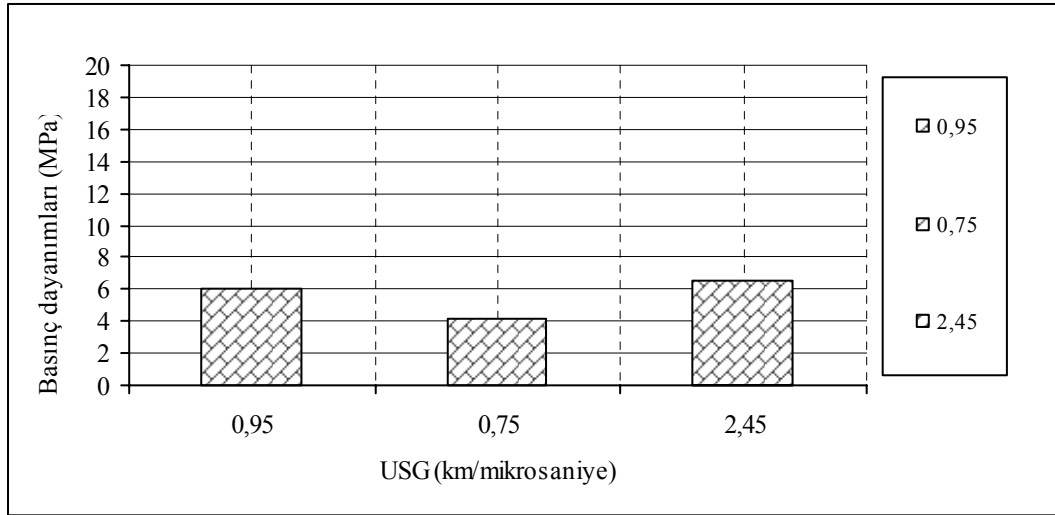
Şekil 4.31. 20TK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



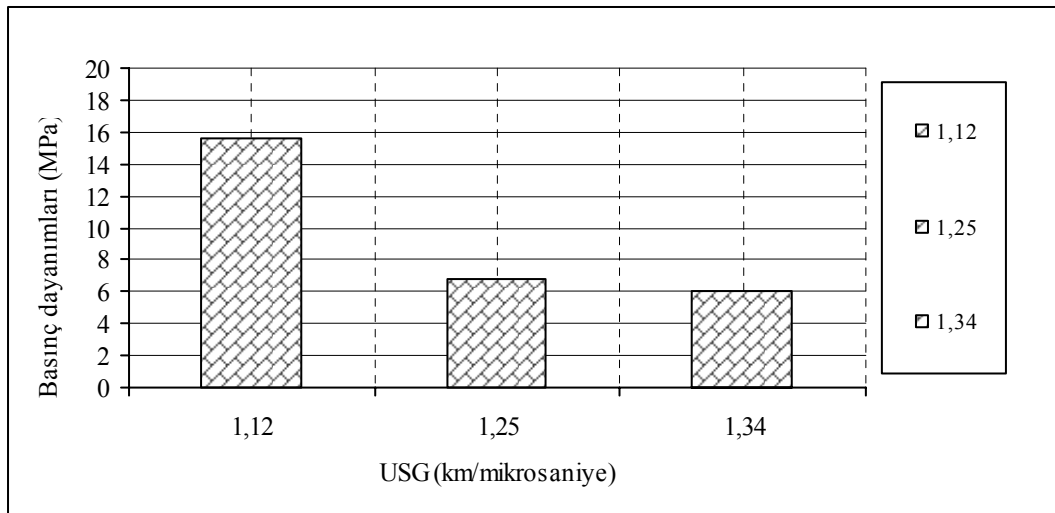
Şekil 4.32. 5UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



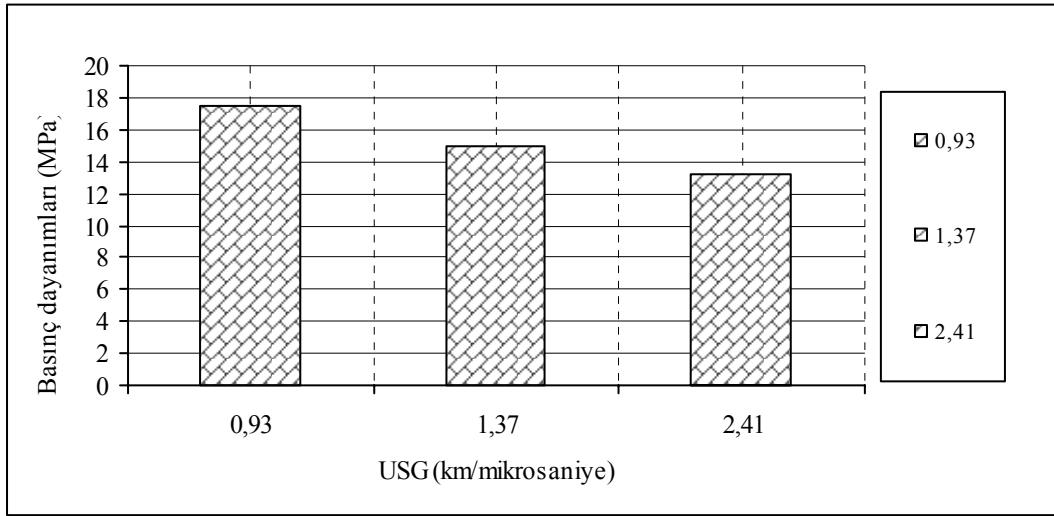
Şekil 4.33. 10UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



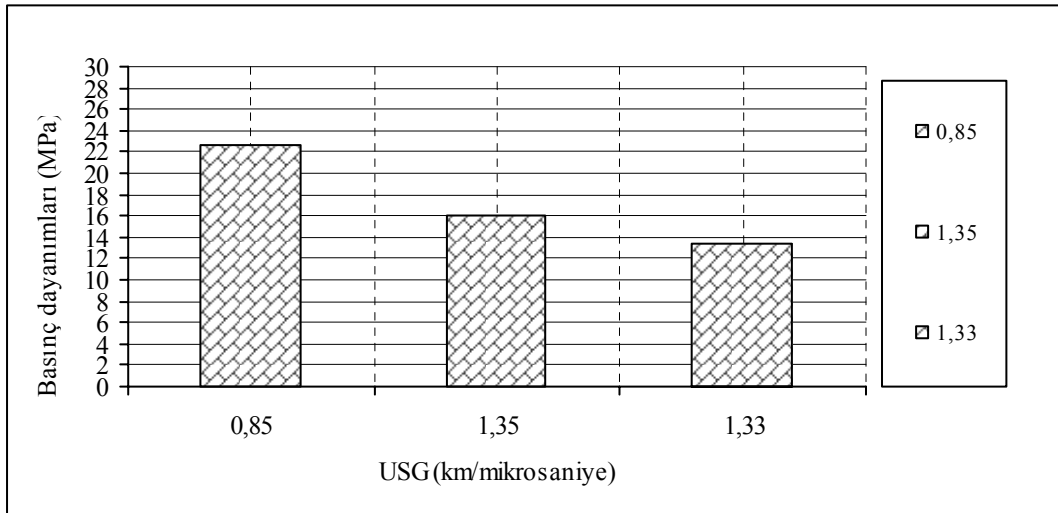
Şekil 4.34. 20UK Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



Şekil 4.35. 5UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi



Şekil 4.36. 10UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi

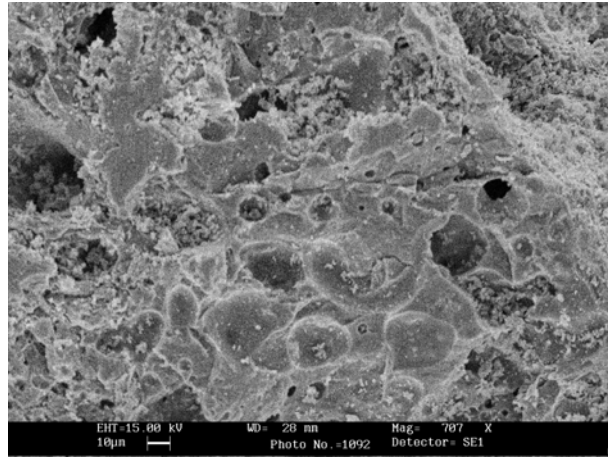


Şekil 4.37. 20UKP Örneğinin Basınç Dayanımı-Ultrasonik Ses Geçiş Hızları İlişkisi

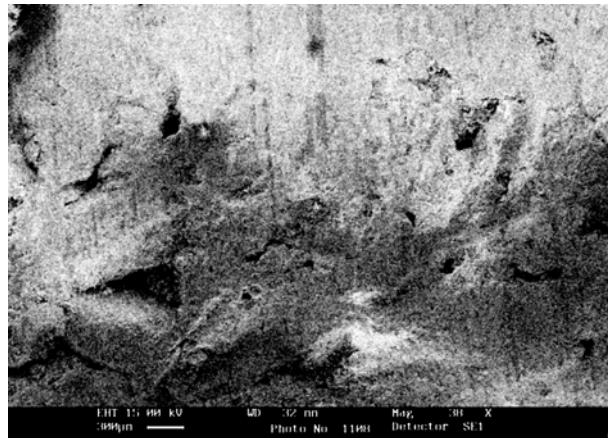
Su emme değerleri ile Ultrasonik ses geçirgenlik hızları arasında da genellikle bir ilişki gözükmemektedir. Yani su emme oranı fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşüktür. Bu da bu örneklerdeki boşlukların daha fazla olduğunu yapılarını açıklamaktadır. Bu sonuçları da SEM resimleri desteklemektedir. Sadece yüksek sıcaklıkta pişirilen pomza katkılı örneklerde söz konusu ilişki görülmemektedir. Zaten bu örneklerin basınç dayanımları da düşük bulunmuştur.

4.2.7. Mikroyapı (SEM) İncelemesi

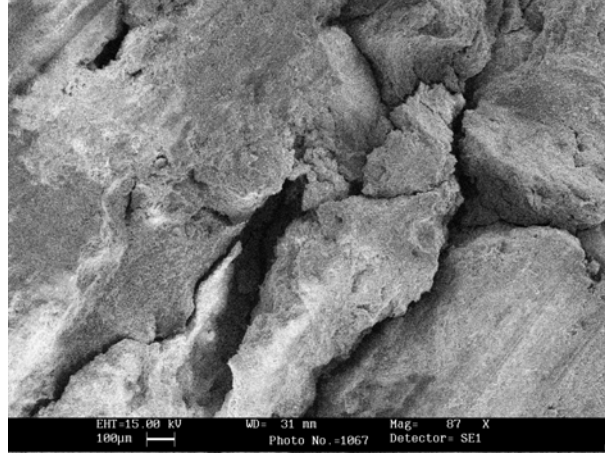
Seçilmiş örnekler üzerinde yapılan elektron mikroskop taramasının görüntüleri Şekil 4.38-4.45 arasında verilmiştir. Genellikle tanıklara ait resimlerde özellikle yüksek sıcaklıkta önemli boyutta deformasyon gözlenmiştir. Pomza katkılı örneklerde özellikle 1050 santigrat derecede yüksek sıcaklık yüzünden pomza bileşenleri erimiştir. Bu sonuçlar bu örneklerin mekanik dayanımlarının düşük olmasının nedeni olarak açıklanmıştır. Söz konusu resimler yapılan yorumları desteklemektedir. Resimler, ideal pişirme sıcaklığının 900 santigrat olabileceğini göstermektedir.



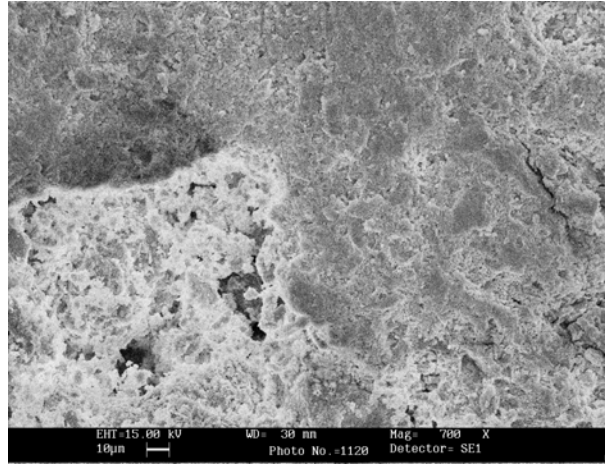
Şekil 4.38. 700 °C ‘de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü



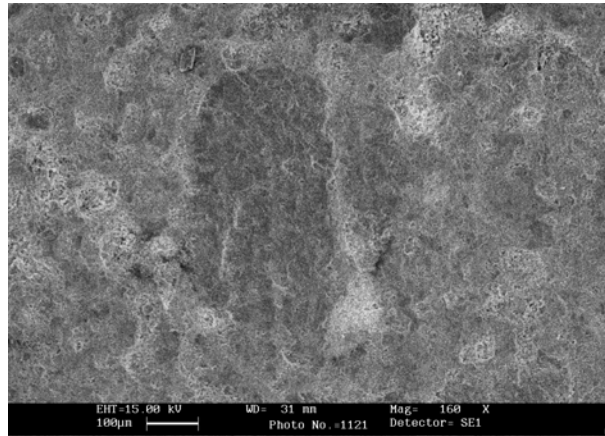
Şekil 4.39. 900 °C ‘de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü



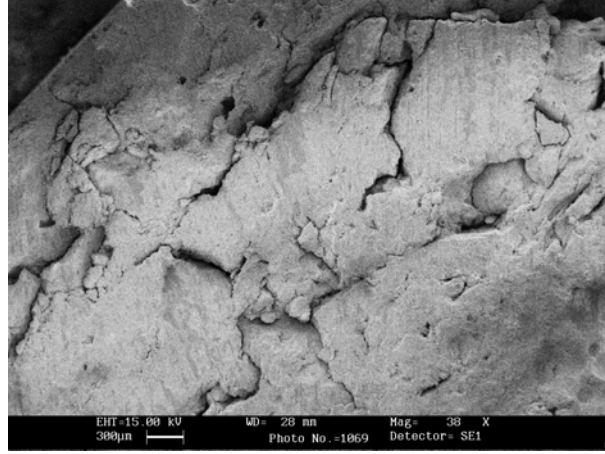
Şekil 4.40. 1050 °C ‘de Pişirilen Tanık Örneğin SEM Görüntüsü



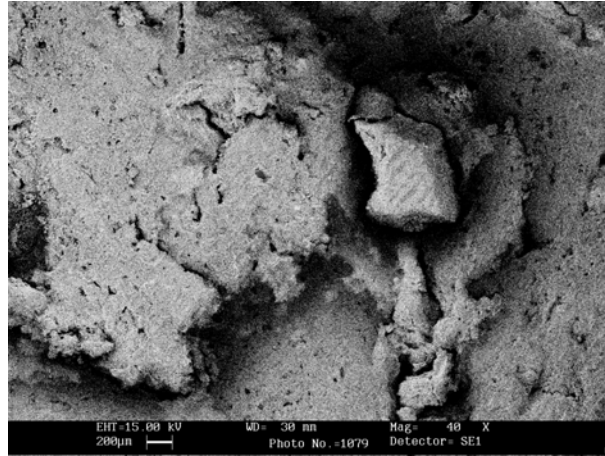
Şekil 4.41. 700 °C ‘de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü



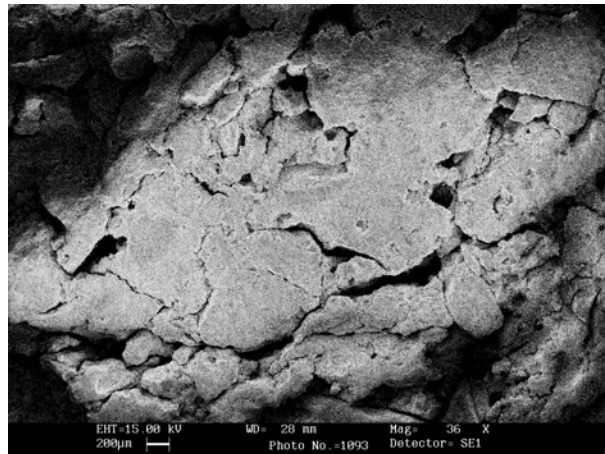
Şekil 4.42. 900 °C ‘de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü



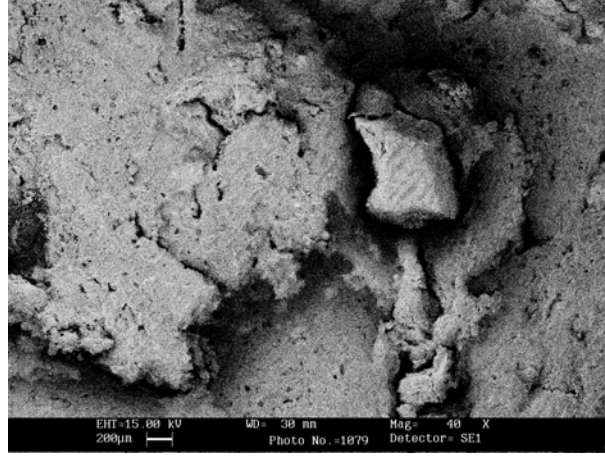
Şekil 4.43. 1050 °C ‘de Pişirilen 5P Örneğin SEM Görüntüsü



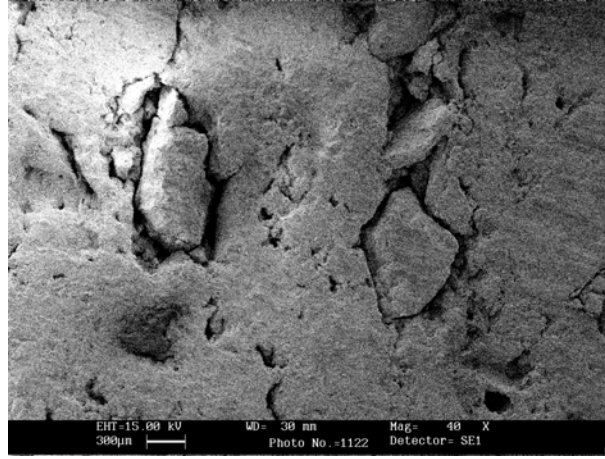
Şekil 4.44. 700 °C ‘de Pişirilen 5TK Örneğin SEM Görüntüsü



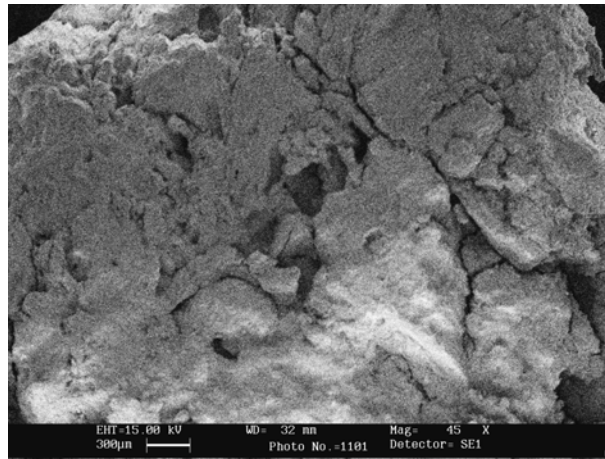
Şekil 4.45. 900 °C ‘de Pişirilen 5TK Örneğin SEM Görüntüsü



Şekil 4.46. 1050 °C ‘de Pişirilen 5UK Örneğın SEM Görüntüsü



Şekil 4.47. 900 °C ‘de Pişirilen 5UKP Örneğın SEM Görüntüsü



Şekil 4.48. 900 °C ‘de Pişirilen 5TKP Örneğın SEM Görüntüsü

Şekil 4.38’de birkaç tane gözenek ve küremsi kil mineraller dağınık olarak yer almış ve tam sinterleşme sağlanamadığı gözlenmiştir. Oysa Şekil 4.39’ da daha az sayıda gözenek ve daha sıkı bir yapıdan söz edilebilir. Şekil 4.40’da ise önemli ayrışma yüzeyleri ve çatlaklar oluşmuştur. Şekil 4.41’de tam sinterleşmemiş bir yapı görülmekte ve pomza bileşenleri rasgele dağılmış durumdadır. %5 pomza katkılı örneğe ait resim Şekil 4.42’de görülmektedir. Bu sıcaklık örneğin yeterli sinterleşmesini sağlamış ve sıkı bir yapı elde edilmiştir. Şekil 4.43’de yüksek sıcaklıkta pomza bileşenlerinin erimesi ile kristal yapıların bozulduğu ve yapısal çatlakların oluştuğu görülmektedir. Şekil 4.44’de %5 TFAK katkılı örneğin SEM görüntüsünde yeterli sinterleşmenin sağlanmaması yüzünden kül taneleri tam oryente olamamıştır. Şekil 4.45’te ise daha sıkı bir yapı göze çarpmakta ve yarı deforme olmuş bir kesit görülmektedir.

Mikro yapı fotoğraflarından, artan sıcaklıkla birlikte yeni fazların oluştuğu veya oluşan fazların boyutlarının arttığı görülmektedir. Değişik kristallerin şekil olarak da farklılaştığı gözlenmiştir. 700 °C’de oldukça gevşek bir yapı gözlenirken, artan sıcaklıkla birlikte sistemde çubuksu yapılar oluştuğu, özellikle 900 °C’de sinterlenmenin sağlandığı gözlenebilmektedir. Ancak 1050 °C’de özellikle pomzalı örneklerde pomza bileşenlerinin bu sıcaklıkta erimesi yüzünden önemli boşlukların oluştuğu gözlenmiştir. Özellikle 900 °C’de nanometre boyutlarında kristallerin oluştuğu gözlenmiş ve bunlar geniş yüzey alanlarının oluşması ile açıklanabilmektedir.

1050°C’de yeterli düzeyde basınç dayanımına ulaşamaması yüksek sıcaklıkta eriyen minerallerin neden olduğu söylenebilir. Yani oluşan boşluklar yüzünden dayanım düşmüştür. Bu sıcaklıkta katkısız ve TFAK katkılı örneklerde yoğunluğun daha yüksek olması ve hem eğilme hem de basınç dayanımlarının yüksek olması resimlerle de desteklenmektedir. Ayrıca söz konusu yüksek sıcaklıkta pişirilen pomzalı örneklerin Ultrasonik ses geçiş hızları da düşük seviyede kalması bu bilgileri desteklemektedir. Özellikle 900°C’de pişirilen TFAK ve BP katkılı örneklerde çok iyi sinterlenme sağlandığı ve bölgesel boşlukların oluşmadığı görülmektedir.

Genel değerlendirme yapılacak olursa, doğal olarak yüksek sıcaklık tuğla maliyetini artırmanın yanında pomza katkılı örneklerin dayanımlarını da düşürmektedir. Bu durumda 700 °C de pişirilen örneklerin dayanımlarının düşük olduğu dikkate alındığında hem ekonomi hem de dayanım açısından en uygun pişirme sıcaklığı 900 °C dir. Katkı türü dikkate alındığında tekstil fabrikaları atık külü ile ve pomza ile üretilen (%5-%10) örnekler daha iyi mühendislik özelliği gösterdiğinden ve şehirdeki atık bu malzemenin ekonomik bir değeri olmadığından maliyetleri artırmayacaktır. Ayrıca nakliye girdileri de azalacağından 900 °C de tuğla üretiminde pomzayla birlikte kullanılması optimum çözüm olarak görülmektedir

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırmanın sonuçlarına göre aynı fabrikada katkısız üretilen tuğlalardaki zayıflık %6.5 iken bu oran %10 uçucu kül ve %10 pomza kullanılarak üretilen tuğlalarda %2.3 seviyesine inmiş ve bu gelişme çok ciddi ekonomi sağlayacağından ilgili fabrikayı da son derece mutlu etmiştir. Tuğla üretimindeki malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ve pişirme sıcaklığı tuğlanın kalitesini etkilemektedir.

Pomza ve uçucu külün tuğla üretiminde kullanılmasının esas amacı demir oksit oranının yüksek olmasıdır. Ancak özellikle uçucu kül içeriğindeki kalsiyum oksit fazlalığı da olumsuz etkileyeceğinden uygun oranın belirlenmesi gerekir. Ülkemizin giderek daha hızlı gelişmesine paralel olarak büyümesi gereken sektörlerin başında da yapı malzemeleri sektörü gelmektedir. Özellikle tuğla üretiminde artan taleplerin karşılanabilmesi için yeni tesislerin açılması ve mevcut tesislerin de kapasite artırımına gitmesi gerekmektedir. Bunlarla birlikte yeni hammadde yataklarının araştırılması ve tuğla kalitesinin artırılmasını sağlayacak katkıların araştırılması gerekir. Bu aşamada yapılan ön denemeler özellikle tuğla zayıflığının azalacağını göstermektedir.

Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1-Pomza katkılı tuğla numunelerin su emme değerleri katkısız tuğlanın su emme değerinden düşüktür. Numuneler içinde, sadece uçucu kül katkılı numuneler, katkısız tuğlaya göre bünyelerine %32 oranında daha fazla su almıştır. Pomza katkılı örneklerin su emme değerleri %18 in altında kalmıştır. Pomza katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça su emme değerleri de düşmüştür.

2-Katkılı tuğla numunelerin, birim hacim ağırlıkları katkısız tuğlaya göre fazladır. Pomza katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça birim hacim ağırlık artarken, tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerde düşmüştür.

3-Çalışmadan elde edilen bulgulara göre, üretilen tuğlaların istenilen basınç dayanımı özelliklerini taşıdığı anlaşılmaktadır. Üretilen tuğlaların basınç dayanımlarının TSE'nin belirlemiş olduğu minimum basınç dayanımı olan 50 kg/cm^2 yi karşıladığı görülmüştür. Ancak %20 uçucu kül katkılı örneklerin basınç dayanımları standardın altında bulunmuştur.

4- %5 pomza oranında en yüksek dayanım elde edilmiştir.

5- Numunelerin pişme sıcaklığının artırılmasıyla basınç ve eğilme dayanımları, dona dayanıklılığı ve su emme oranının arttığı görülmektedir. Ancak tekstil fabrikası atık külü katkılı örneklerde pişirme sıcaklığı arttıkça su emme oranı azalmıştır. Aynı zamanda pişme sıcaklığı arttığı tuğla örneklerinin rengi kahverengiden kırmızımsıya doğru bir değişim göstermektedir.

6-110 °C'de elde edilen kuruma küçülme değerleri (uçucu kül katkılı örnekler hariç) standardın altındadır. Bütün örneklerin su emme değeri %18 in altında kalmıştır. Bütün pişme sıcaklıklarında örneklerin pişme küçülme değerleri standarda uygundur.

7- Katkılı tuğla numunelerin basınç ve eğilme dayanımları, katkısız tuğlanın basınç dayanımına göre yüksektir. %5 ve %10 TAK ve BP katkılu tuğlaların dayanımlarında önemli ölçüde artış gözlenmiştir. Pişme sıcaklığının artırılmasıyla basınç ve eğilme dayanımı ile dona dayanıklılığın arttığı, kuruma ve pişme küçülme ve su emme oranının azaldığı görülmüştür.

8- Genellikle tanıklara ait resimlerde özellikle yüksek sıcaklıkta önemli boyutta deformasyon gözlenmiştir. Aynı durum pomza katkılu örneklerde özellikle 1050 santigrat derecede yüksek sıcaklık yüzünden pomza bileşenleri erimiştir. Bu sonuçlar bu örneklerin mekanik dayanımlarının düşük olmasının nedeni olarak açıklanmıştır. Söz konusu resimler yapılan yorumları desteklemektedir. Resimler, ideal pişirme sıcaklığının 900 santigrat olabileceğini göstermektedir.

9- Su emme değerleri fazla olan örneklerin Ultrasonik ses geçirgenlik hızları daha düşüktür. Bu da bu örneklerdeki boşlukların daha fazla olduğunu yapısını açıklamaktadır. Bu sonuçları da SEM resimleri desteklemektedir.

10-Ultrasonik ses geçiş hızları ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki gözlenmiştir. Bu durum daha boşluksuz tuğlaların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Elektron mikroskop taramalarının resimleri de bu bulguları desteklemektedir.

11- Sodyum sülfatlı ve sodyum nitrat çözeltinde bekletilen numunelerin 6 ay sonra yapılan basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar söz konusu kimyasallar tuğla örneklerinde herhangi bir yıkıcı etki göstermemiş ve sadece kontrol ve %20 uçucu kül ve TFAK katkılu olanların basınç dayanımlarında önemsiz düşüşler kaydedilmiştir. Dolayısı ile 6 aylık bir sürenin söz konusu deney için yeterli olmadığını göstermektedir.

12- Düşük sıcaklıkta pişirilen örneklerin sodyum sülfat ortamında 6 ay bekletildikten sonraki kütle kayıpları, yüksek sıcaklıkta pişirilen örneklerin kütle kaybından daha yüksek bulunmuştur. Kütle kaybı %1-3 arasında değişmektedir. Sodyum nitrat ortamında bekletilen örneklerin kütle kayıpları sodyum sülfata göre daha yüksek bulunmuştur.

Sonuç olarak katkılu tuğla örneklerinin mekanik dayanımları daha yüksek ve durabilite özellikleri katkısız tuğla örneklerinden daha iyi bulunmuştur. %5 pomza katkılu örneklerin basınç ve eğilme dayanımları en yüksektir. Sonuç olarak % 5- %10 arasında tekstil fabrikası atık külü ve pomza birlikte veya farklı kombinasyonlarıyla uygun nitelikte tuğla üretilebileceği anlaşılmaktadır. Çalışmanın yürütülmesi aşamasında bile bölgede bulunan birkaç tuğla fabrikası söz konusu tekstil fabrikalarının atık küllerini tuğla üretiminde kullanmaya başlamıştır. Böylece bölgede bulunan ve çevre kirliliğine de sebep olan küller ekonomiye kazandırılmıştır.

KAYNAKLAR

AKMAN, S., 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü Basımevi, 18-24, İstanbul.

AKMAN, S., 1994. Traslı Çimento Nedir? Ne Değildir? TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını. Panel, s:55, Ankara.

AKSOĞAN, O., BİNİCİ, H., GÖRÜR, E.B., 2005. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Deniz Yapılarında Kullanılmasının Beton Durabilitesi Açısından Avantajları. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, cilt: 20, sayı: 2, sf: 59-65. Adana.

ALEV, B., 1987. Seramik Sanayi Açısından Batı Anadolu Tüflerinin Önemi, Seramik Teknik Kongre ve Sergisi, 7-18, Ankara.

ANDERSON, M., J., 1983. The Benefication Of Power Station Coal And Its Use In Heavy Clay Ceramics, Trans., J. Birit. Ceram. Soc. Vol.82, no:2, pp.50-55.

ASTM C 597, 1994. Standart Test Method For Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book for ASTM Standarts.

ATAK, S., MUDÜROĞLU, M., 1999. Tuğla Kiremit Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, 3. End.Hammd. Semp., 56-66, İzmir.

BAGUR, M.G., 2000. "Ultrasound And Mechanical Tests Combined With ANOVA To Evaulate Brick Quality". Department of Mineralogy and Ppetrology, University of Granada, p.401-406, Spain.

BARADAN B., YAZICI H., ÜN H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 176s. İzmir.

- BEKAR, M., KARCI, M., ŞAHİN, M., LEYLEK, E., 2005. Pomza Agregalı Hazır Hafif Sıva ve Harçların Priz Sürelerinin Belirlenmesi Üzerine Teknik Bir Analiz, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 133 s., Denizli.
- BİNİCİ, H., 2002. PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana.
- BİNİCİ H., ZENGİN H., ZENGİN G., YAŞARER F., 2008. The Use Of Pumice As a Coating For The Reinforcement Of Steel Against Corrosion And Concrete Abrasions, *Corrosion Science* (in press).
- BUDAK A., 2003. Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Bitirme Tezi, Afyon.
- CEYLAN, H, SARAÇ, M, S, 2005. Kayseri Pomzasından Elde Edilen Hafif Betonun Tek Eksenli Basınç Dayanım Karakteristiği. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 15-17, 127s, Denizli.
- CHIH-HUANG W., 2003. "Utilization Of Sludge As Brick Materials". Department of Civil Engineering, I-Shou University, Ta-Hsu Hsiang, Kaohsiung County 840, ROC p.680-685, Taiwan.
- CUSTODÍO-GARCÍA, E., 2004. "Solar Conduction Heat Transfer In Fired Clay Bricks". Universidad Jua´Rez Auto´Noma De Tabasco, DACB, Cunduaca´n, p169-178, Tabasco 86680, Mexico.
- ÇELİK, M.Y., 1995. Endüstriyel Hammaddeler: Afyon Kocatepe Üniversitesi, 5-15 Afyon.

- ÇİCEK, T., TANRIVERDİ, M., 2006. "Lime Based Steam Autoclaved Fly Ash Bricks". Dokuz Eylul University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering, p. 1295-1300, 35160 Buca, Izmir, Turkey.
- DEMİR, İ., 2003. "Reuse Of Waste Bricks In The Production Line". P.1-5, Afyon Kocatepe University, Faculty Of Technical Education, A.N.S. Campus, 03100 Afyonkarahisar, Turkey.
- DEMİR, İ., 2007. "Effect Of Organic Residues Addition On The Technological Bricks Containing Perlite". Department Of Civil Engineering, Eskişehir Osmangazi University, P. 3540-3546, Batı Meşelik, 26480 Eskişehir, Turkey.
- DJANGANG, C.N. 2007. "Refractory Ceramics From Clays of Mayouom and Mvan in Cameroon". Laboratory of Physico-Chemistry of Mineral Materials, University of Yaounde I, p.1-9, P.O. Box. 812 Yaounde, Cameroon.
- DÖNMEZ, S., 1993. Yapı Bilgisi 3. (Çeviri) Yüksek Öğretim Kurulu Yayını, s. 149-173, Ankara.
- DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri 2, Devlet Planlama Teşkilatı, Yayınları, 2612-ÖİK:623, Ankara.
- ERDOĞAN, T.Y., 2003. Beton, METU Press Publishing Company, Ankara.
- ERDOĞAN, T.Y., 1993. "Atık Hammaddelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanılması, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler El Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- EKMEKYAPAR, T. VE ÖRÜNG, I., 1993. İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No: 145, s. 22-36, Erzurum.

- ERKOYUN, H., 2005. Pomzanın Türkiyedeki Yeri ve Önemi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Sf.2, Isparta.
- FRANCO, L., NOLÌ, A., GIROLAMO, P.D., ERCOLANÌ, M., 2000. "Concrete Strength And Durability Of Prototype Tetrapods And Dolosse: Results Of Field And Laboratory Tests", Coastal Engineering, 40, p 207-219.
- GÖRÇİZ, G. 2000. Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi. TUKDER yay. 2000' li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar İçin Tuğla-Kiremit Paneli, 24 Ocak 2000, Ankara.
- GÖRÇİZ, G., 2000. Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi, TUKDER yay. Yıl: 3, Sayı:9, Sayfa: 26-32, Manisa.
- GÖRÜR, E.,B., 2007. Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş.
- GRAHL, L. C., 2001. Materials Handbook, Ceramic Industry, Vol. 151, No: 1, 35-36, London.
- GRIMSHA, W., 1971. "The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials", Wiley-Interscience, New York.
- GÜLŞEN, H., 2004. Bazaltik Pomzanın Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

GÜNDÜZ L, SARIŞIK A, TOZAÇAN B, UĞUR İ, ÇANKIRAN O, 1998. Pomza Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları, Isparta.

GÜZEL G.A, 2003. Pomza Katkılı Tuğla Üretimi Ve Bu Tuğlaların Mekanik Ve Boşluk Oranlarının İncelenmesi, Doktora tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 237 sayfa, İstanbul.

HASSAN H., DARWEESH, M., 2000. “Building Materials From Siliceous Clay And Low Grade Dolomite Rocks”. Refractories, Ceramics And Building Materials Department, National Research Centre, Dokki, Cairo, , S.45-50, Egypt.

HİÇYILMAZ, C., ALTUN, N.E., 2005.Pomzanın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılma Olanaklarındaki Son Gelişmelerin ve Koşullarının Değerlendirilmesi. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 15-17, 159s, Denizli.

KAVAS, T., 2005. “Use Of Boron Waste As A Fluxing Agent İn Production Of Red Mud Brick”. Afyon Kocatepe University, Ceramic Engineering Department, P. 1779-178, 03200 Afyon, Turkey.

KELLING G., KAPUR S., SAKARYA N., AKCA E., KARAMAN C., SAKARYA B., 2000. Basaltic Tephra: Potential New Resource For Ceramic İndustry, Brit Ceram Trans, 129–36.

KILIÇ, A.M., 2003. Ş.Koçhisar (Ankara) Civarındaki Killerin Tuğla-Kiremit Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği, 11. Ulusal Kil Sempozyum, s. 258-262, İzmir.

KILINÇ E., AKSA Y., AKAR A., KAYA E. ve YAŞAR E., 2004. İzmir-Menderes Yöresi Asidik Pomzanın Tuğla Olarak Değerlendirilmesi, 5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Türkiye.

- KILIÇKALE, F., M., 1999. Çeşitli Puzolonların Puzolonik Aktivitesi ve Bu Puzolonlarla Üretilen Harçların Dayanımı, İMO Teknik Dergi, Cilt 10, Sayı 2.
- KOCATAŞKIN, F. 1975. Yapı Malzemesi Bilimi (Özellikler ve Deneyler). Arpaz Matbaası, İstanbul.
- KOÇU, N., 2005. İnşaat Sektöründe Puzolanik Aktiviteye Sahip Tüflerin Kullanılması ve Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Sf.89, Denizli.
- KOÇU, N., DERELİ, M., 2005. Yapılarda Pomzanın Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Sf.95, Denizli.
- KÖKTÜRK, U., 1993. Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Yayın No:205, 250-266, İzmir.
- KÖKTÜRK, U., 2002. Endüstriyel Hammaddeler, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları, s. 250-255.
- LİNGLİNG, XU., 2004. "Study On Fired Bricks With Replacing Clay By Fly Ash İn High Volume Ratio". Department of Materials, Nanjing University of Technology, p. 243-247, Nanjing 210009, PR China.
- NEVİLLE, A., M., 1988. Properties Of Concrete, Longman&Technical U.K. s. 52-54.
- ÖNER A, YILDIZ R., 2003. Betonun İç ve Dış Ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış, Teknik Bülten, Kocaeli.

ÖNEŞ, A. 1988. İnşaat Malzeme Bilgisi. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları:1094, Ders Kitabı:315, s. 67-75, Ankara.

ÖRÜNG, I., OKUROĞLU, M., YAGANOĞLU, A.V., ŞAHİN S., 1997. Erzurum'da Üretilen Harman Tuğlasının Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniv. Ziraat fak. Der., 28(4), s. 576-583, Erzurum.

ÖZÇELİK, N. 1975. İnşaat Bilgisi. İstanbul Üniv. Orman Fak. Yayın No: 211, İstanbul.

ÖZTÜRK, A., Ç., 2001, Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, S. 38-43, Edirne.

PFA DATA BOOK, 1967. "Bricks and Other Structural Ceramics"¹, Cent. Elec. Gen. Board, England.

PFA DATA BOOK, 1974. "Sintered PFA as a Lightweight Aggregate", Cent. Elec. Gen. Board, England.

POSTACIOĞLU, B., 1987. Bağlayıcı Maddeler, Beton, Cilt 1, 175 S, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

RHADES, D., 1957. "Clay and Glazes for the Potter", Isaac Pitman and Sons Ltd., London.

SABOYA, F., 2006. "The Use Of The Powder Marble By-Product To Enhance The Properties Of Brick Ceramic". State University of Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Department of Civil Engineering, Av. Alberto Lamego 2000, p.1950-1960, CCT Campos, 28013-600 Rio de Janeiro, Brazil.

- SARIİZ, K., NUHOĞLU, İ., 1992. Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, Anadolu Üniversitesi Yayını, 200-211, Eskişehir.
- SİNGH, I. B., 2006. "Thermal Treatment Of Toxic Metals Of Industrial Hazardous Wastes With Fly Ash And Clay". Regional Research Laboratory, Council of Scientific and Industrial Research, p.215-222, Hoshangabad Road, Bhopal 462026, India
- ŞAHİN, S. 2001. Türkiye’de Tuğla ve Kiremit Sanayinin Genel Görünümü ve Çorum İli Örneği. Gazi Üniv. Eğitim fakültesi Der. Cilt 21, Sayı 2, s. 19-41, Ankara.
- ŞİŞMAN VE ARKADAŞLARI, 2006. Tekirdağ Yöresinde Üretilen ve Tarımsal Yapılarda Yaygın Olarak Kullanılan Tuğlanın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Trakya Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tekirdağ.
- TEMİZ, H., 1997. Uçucu Kül ve Silis Dumanının Birlikte Katıldığı Harcın Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, S 4-49, Elazığ.
- TOKYAY, M., ÇETİN, B., 1991. "Preslenmiş Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlaların Dayanım ve Su Emme Özellikleri", Teknik Dergi, TMMOB İnş. Müh. Odası Yayını, Cilt 2, pp. 385-394, İstanbul, Turkey.
- TOPÇU, İ., B., 2006. Agregaların Mekanik Özellikleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Beton, Yayın No.2, Sf.26, Eskişehir.
- TOPÇU, İ., B., ALTUN, F., ARI, K., 2005. Kayseri Yöresi Hafif Agrega Özellikleri ve Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Sf.167, Denizli.

TS 705, 1985. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli Tuğlalar.

TS 3260, 1978. Beton Yüzey Sertliği Yolu ile Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini Kuralı.

TS 3449, 1980. Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini.

TS 4377, 1985. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Düşey Delikli, Hafif Tuğlalar.

TS 4790, 1986. Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu.

TÜRKER, P., ERDOĞAN, B., KATNAÇ, F. ve YEĞİNOBALI, A. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri; TÇMB/ ARGE/ YO3.O3, Ağustos 2004, Ankara.

UĞURLU, A., ÖZDEMİR, M., TOPÇU, İ.B, 2004. “Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi”, II. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, ss. 407-417, Eskişehir.

UZ, B., 1997. İmraniye-Hamatepe (Erzin-Hatay) Civarındaki Bazaltik Pomzaların Petrografik ve Teknolojik Etüdü, 1. Isparta Pomza Semp, 153-161, Isparta.

UZ, V., ERDİNÇ, M.E., IŞIK, İ., 2005. Asidik ve Bazik Karakterli Pomzaların Kiremit Bünyelerine Etkileri. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Denizli.

UZ, V., ERDİNÇ, M.E., IŞIK, İ., UZ, B., 2005. Pomza Katkılı Hafif Kiremit Üretimi Çalışmaları. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, sf:183, Denizli.

- ÜNAL O, UYGUNOĞLU T, 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı, 18-17 Aralık.
- ÜZER, M. VE TOLA, 1987. Tuğla Kiremit Topraklarında Kuruma Problemleri ve Elektrolit İlavesinin Kurumaya Etkisi, Seramik Teknik Kongresi, 185-187, Ankara.
- WHITE, S., C., 1990. Characterization Of Fly Ash From Coal-Fired Power Plants, J. Mater. Sci. Vol.25, No.12, Pp. 5215-5219.
- YAMAN, C., 1996. Ders Notları, Ytü, Kimya Metallurji Fakültesi, İstanbul, Turkey.
- YAZICIOĞLU, S., BOZKURT, N., 2006. Pomza Taşı İle Elde Edilen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 15-17, 153s, Denizli.
- YAZICIOĞLU, S., 2005. DEMİREL, B., Elazığ Yöresi Pomzasının Katkı Maddesi Olarak Betonda Kullanılabilirliği Araştırılması. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 245s, Denizli.
- YAZICIOĞLU S. VE BOZKURT N., 2006. Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der, 675-680.
- YILMAZ K.,1988. Yapı Malzemesi Beton Teknolojisi, Ankara.
- YÜKSEL, A.N. VE ŞİŞMAN, C.B., 2003. Tarımsal İnşaat. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Genel Yayın No:278, Ders Kitabı No:36, Tekirdağ.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1995 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı ve bu eğitimini 1999 yılında tamamladı. 2005 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. 2000 yılından beri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde çalışmaktadır.