ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Atila Gürhan ÇELİK

DOKTORA TEZİ

BOR KATKILI PERLİT KARIŞIMLARDAN HAFİF TUĞLA ÜRETİMİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BOR KATKILI PERLİT KARIŞIMLARDAN HAFİF TUĞLA ÜRETİMİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Atila Gürhan ÇELİK

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez …./…./2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	……	…….....
Prof. Dr. Mesut ANIL	Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	Doç. Dr. H. Murat ARSLAN
Üye	Danışman	Üye

...…….....	…….
Doç. Dr. Özen KILIÇ	Doç. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ
Üye	Üye

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu tez Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF 2009 D5

Bu tez BOREN tarafından desteklenmiştir.

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

BOR KATKILI PERLİT KARIŞIMLARDAN HAFİF TUĞLA ÜRETİMİ VE TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Atila Gürhan ÇELİK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Yıl: 2010, Sayfa: 317
Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL
: Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Doç. Dr. H. Murat ARSLAN
: Doç. Dr. Özen KILIÇ
: Doç. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ

Ülkemiz perlit ve bor madenleri üretiminde dünya lideridir. Bu yatakların ekonomik olarak işletilmesi ve katma değeri yüksek ürün haline dönüştürülmesi önem kazanmıştır. Son yıllarda perlit ve bor, yapı malzemesi üretiminde geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Genleştirilmiş perlit düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses tutma kabiliyeti, işlenebilirliği, ekonomik oluşu, bor mineralleri ise bağlayıcılık ve yangın geciktirici gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir. Çalışmaların ilk aşamasında, hammadde yataklarının jeolojisi ve petrografisi incelenmiş, deneylerde kullanılmak üzere numuneler alınmıştır. Doktora tezinin ikinci aşamasında hammadde karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon deneylerinden sonra hammaddelerin yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir olduğu belirlenerek, laboratuar çalışmalarına başlanmış ve tuğla üretimi dört ayrı reçetede gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, üretilen numunelerin içinden en iyi karışım oranı belirlenerek nihai ürün oluşturulmuştur. Dört farklı boyutta üretilen ürünlerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri ile pişme sıcaklığı, pres basıncı gibi parametreler belirlenerek optimize edilmiştir. Son aşamada ise laboratuarda üretilen ürünler üzerinde TS' ye uygun deneyler yapılarak kalite parametreleri belirlenmiş ve yapı sektöründe kullanılan eş değer ürünlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, Menderes perlitlerinden bor ve kil katkılı olarak üretilen tuğlaların, teknolojik özellikleri bakımından yapı sektöründe kullanılabilir olduğu belirlenmiştir

Anahtar Kelimeler: Perlit; Bor; Kil; Tuğla; Isı tutma; Nötron tutma

ABSTRACT

PhD THESIS

PRODUCTİON OF BORON ADDET PERLİTE MİXTURES AND LİGHTWEİGHT BUİLDİNG MATERİAL (BRİCK) FROM DETERMİNATİON OF THEİR TECHNİCAL PROPERTİES

Atila Gürhan ÇELİK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Year: 2010, Pages: 317
Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL
: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. H. Murat ARSLAN
: Assoc. Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ

Our country is the world leader in the production of perlite and boron ores. To operate these resources economically and transfer the products into high value added ones has gained importance. In recent years, perlite and boron has found widespread usage in the production of building materials. Expanded perlite is preferred due to its low unit weight, high heat and sound retention capability, workability and being economical. Besides, the boron minerals are preferred due to their binding and fire retardant properties. During the first stage of the studies, the geology and petrography of the raw materials were analyzed and samples to be used in the experiments were taken. The raw material characterization was carried out in the second stage of the PhD thesis. With the use of the characterization experiments, the use of the raw materials in the production of building materials was determined to be appropriate. After then, the laboratory studies started and brick production was carried out in four different prescriptions. At the end of the studies the final product was set by deciding the best mixture ratio the samples. The chemical, physical and mechanical properties of four different sizes of products together with the determined parameters such as process temperature and press and press pressure were optimized. At the final stage, experiments were performed according to TS and quality parameters were determined. As a result, the boron and clay added bricks produced from the Menderes perlite were approved to be used in the construction sector in terms of their technological properties.

Key words: Perlite; Boron; Clay; Brick; Heat Conductivity; Neutron Capture

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında yapmış olduğum Doktora tez çalışmasının her aşamasında beni yönlendiren ve destek veren danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yapmış olduğum Doktora çalışmasına imkan sağlayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL ve Prof. Dr. Adem ERSOY'a ve doktora tez izleme komitesinde yer alan, Sayın Doç. Dr. Hacı Murat ARSLAN'a, tez savunmamda jüri üyeliğini kabul eden, Sayın Doç. Dr. Kazım GÖRGÜLÜ ve Sayın Doç. Dr. Özen KILIÇ'a teşekkür ederim. Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim görevlileri ve öğrencilerine ayrıca teşekkür ederim.

Bu tezde tavsiyeleri ve desteklerini esirgemeyen Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü Başkanı Sayın Erk İNGER'e, Arge Koordinatörü Sayın Dr. İbrahim YAŞAR'a, Enstitü çalışma arkadaşlarıma ve deneylerde fikirlerinden faydalandığım MTA Genel Müdürü Sayın Mehmet ÜZER'e ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tezin literatür ve fikir bazlı çalışma esnasında gerek fikirlerinden gerekse eserlerinden çok defa faydalandığım, çok değerli arkadaşlarım Sayın Dr. Gaye ÇAKAL ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Araştırmalarım sırasında numune temini-üretimi ve tezin yürütülmesi esnasında büyük kolaylık gösteren, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürü Sayın Orhan YILMAZ'a, İşletmeler Dairesi Başkanı Sayın Orhan YÜNKÜL'e ve Emet İşletmesi Müdür Yardımcısı Dr. Mehmet SAVAŞ'a teşekkür ederim. Deneylerde çalışma imkanı sunan Orta Doğu Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali İhsan AROL'a, Sayın Arş. Gör. Osman SİVRİKAYA'ya ve Sayın Arş. Gör. Ahmet TEYMEN'e teşekkür ederim.

Son olarak manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli eşim Sayın Gaye İlknur ÇELİK'e, aileme, bilgisayar konusunda yardımcı olan arkadaşım Sayın Mehmet ERCAN'a ve adını burada sayamadığım değerli arkadaş ve hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XX
SİMGELER VE KISALTMALAR XXVIII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. ÇALIŞILAN MALZEMELERLE İLGİLİ BİLGİLER 27
3.1. Perlit 27
3.1.1. Perlitin Tanımı ve Genel Yapısı 27
3.1.2. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri 28
3.1.3. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi 30
3.1.4. Türkiye Perlit Yatakları 31
3.1.5. Dünya Perlit Yatakları 32
3.1.6. Perlit Üretim Miktarı 33
3.1.7. Perlit Tüketim Miktarı 33
3.1.8. Perlit Tüketim Alanları 34
3.2. Bor 36
3.2.1. Bor Elementinin Tanımı ve Genel Yapısı 36
3.2.2. Ticari Bor Mineralleri 37
3.2.3. Dünya Bor Rezervleri 39
3.2.4. Türkiye Bor Rezervleri 40
3.2.5. Bor Ürünleri Kullanım Alanları 42
3.2.6. Dünya ve Türkiye Bor Üretimi 44
3.2.6.1. Dünya Üleksit Kapasitesi ve Üretimi 46
3.2.6.2. Dünya Boraks (Tinkal) Üretimi 46

3.2.6.3. Dünya Kolemanit Üretimi 46
3.2.7. Türkiye Bor Ürünleri İhracatı 48
3.2.8. Türkiye'nin Dünya Bor Pazarındaki Payı 50
3.3. Kil 52
3.3.1. Kil Minerallerinin Tanımı ve Genel Yapısı 52
3.3.2. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi 53
3.3.3. Dünya Kil Rezervleri 54
3.3.4. Türkiye Kil Rezervleri 55
3.3.5. Killerin Kullanım Alanları 55
3.4. Agregalar 57
3.4.1. Agregaların Sınıflandırılması 57
3.4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri 58
3.4.2.1. Agregada Su İçeriği 58
3.4.2.2. Birim Hacim Ağırlık 60
3.4.2.3. Özgül Ağırlık 60
3.4.2.4. Kompasite 61
3.4.2.5. Su Emme 61
3.4.3. Agreganın Mekanik Özellikleri 62
3.4.3.1. Agreganın Basınç Mukavemeti 62
3.4.3.2. Agreganın Aşınma Mukavemeti 62
3.4.3.3. Agreganın Çarpma Dayanımı 63
3.4.4. Agreganın Tane Boyutu ve Dağılımı 63
3.4.5. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi 64
3.4.6. Agregada Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler 64
3.5. Bor Katkılı Yapı Malzemeleri 65
3.5.1. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosunun Özellikleri ile Klasik ve Kütle Betonlarında Kullanılabilirliği (Türk Tipi Çimento-TS13353) 65
3.5.1.1. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimnetosunun Üretimi ve Tanımı . 67
3.5.1.2. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosunun Özellikleri 68
3.5.1.3. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu Deneyleri 69
3.5.1.3.1. Çimentonun Kimyasal Analizleri 69

3.5.1.3.2. Çimentonun Fiziksel Özellikler 70
3.5.1.3.3. Çimentonun Mekanik Deneyleri 71
3.5.1.3.4. Çimentonun Hidratasyon Isısı 71
3.5.1.4. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu İle Üretilen Beton 74
3.5.1.4.1. Betonun Adyabatik Sıcaklık Artışı Deneyleri 74
3.5.1.4.2. Kütle Betonu Tasarım Deneyleri 75
3.5.1.4.3. Betonun Penetrasyon Deneyleri 77
3.5.1.5. Beton Yol Tasarımı 77
3.5.2. Bor Katkılı Bimsblok Üretimi 81
3.5.2.1. Karışım Hazırlama ve Pres ile Kalıplama 81
3.5.2.2. Numunelerin Pişirilmesi 81
3.5.2.3. Nihai Ürün 82
3.5.3. Bor Katkılı Selüloz Yünü Üretimi 83
3.5.3.1. İzolasyon Malzemesinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ... 83
3.5.4. Bor Bileşikleri Kullanarak Kompozit Malzeme Üretimi 85
3.5.4.1. Kullanılan Malzemeler 85
3.5.4.2. Örneklerin Hazırlanması 86
3.5.4.3. Yangın Geciktirici Formülasyonun Belirtilmesi 86
3.5.4.4. Kompozitlerin Hazırlanması 86
3.5.5. Bor ve Perlit Katkılı İzolasyon Liflevhası 88
3.5.5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler 88
3.5.5.2. Liflevhaların Hazırlanışı 88
3.5.5.3. Liflevhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 89
4. MATERYAL VE METOD 91
4.1. Materyal 91
4.1.1. Kullanılan Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler 91
4.1.1.1. İzmir (Menderes) Perlitleri 92
4.1.1.2. Kütahya (Emet-Espey) Kolemanit Minerali 95
4.1.1.3. Ankara (İmrahor) Kil Minerali 98
4.1.1.4. Kömür Tozu 100
4.1.1.5. Karboksi Metil Selüloz (CMC) 101

4.1.2. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar 101
4.1.2.1. Pres (Baskı) Kalıp Makinesi 103
4.1.2.2. Tuğla Kalıp ve Başlıkları 104
4.1.2.3. Mekanik Karıştırıcı 106
4.1.2.4. Numune Pişirme Etüvü 106
4.1.2.5. Ses Ölçüm Cihazları 108
4.1.2.6. Sonik Hız Test Cihazı 110
4.1.2.7. Basınç Dayanım Cihazı 111
4.1.2.8. Nokta Yükleme Aleti 112
4.1.2.9. Kare Gözlü Elekler 112
4.2. Metod 114
4.2.1. Kimyasal Analiz 117
4.2.2. Petrografik İnceleme 117
4.2.3. Fiziksel Deneyler 117
4.2.3.1. Birim Hacim Ağırlık 118
4.2.3.2. Su Emme Oranı 118
4.2.3.3. Porozite ve Boşluk Oranı 119
4.2.3.4. Özgül Ağırlık 119
4.2.4. Mekanik Deneyler 120
4.2.4.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı 120
4.2.4.2. Nokta Yük Dayanımı 121
4.2.4.3. Sonik Hız Deneyi 122
4.2.5. Kalitatif ve Yarı Kantitatif Analiz (XRD) 123
4.2.6. Termal Yöntemler 123
4.2.6.1. Termogravimetrik Yöntemler (TG) 123
4.2.6.2. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) 124
4.2.7. Özgül Yüzey Alanı Ölçümü 124
4.2.8. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) 124
4.2.9. Hammaddeler Üzerinde Yapılan İncelemeler 125
4.2.9.1. Kızdırma Kaybı 125
4.2.9.2. Agreganın İnce Madde Oranı Analizi 126

4.2.9.3. Organik Made İçeriği 126
4.2.10. Isı ve Ses İzolasyonu 127
4.2.10.1. Isı İletimi 127
4.2.10.2. Ses İletimi 128
4.2.11. Nötron Tutma (Absorbsiyon) Özelliği 129
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 131
5.1. Kullanılan Hammaddelerin Karakteristik Özellikleri 132
5.1.1. Kimyasal Analiz 132
5.1.2. Petrografik İnceleme 134
5.1.3. Kalitatif Mineralojik Analiz 137
5.1.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) 140
5.1.5. EDS (Elementel Analiz) 143
5.1.6. Porozite Ölçümleri 146
5.1.7. Yüzey Alanı Ölçümleri 148
5.1.8. TG-DTA Eğrilerinin Değerlendirilmesi 149
5.1.9. Fiziksel Özellikler 152
5.1.9.1. Birim Hacim Ağırlık (Gevşek) 152
5.1.9.2. Özgül Ağırlık 153
5.1.9.3. Su Emme 154
5.1.9.4. Kompasite (Doluluk Oranı) Tayini 155
5.2. Tuğla Üretimine Uygunluk Deneyleri 156
5.2.1. Genleşmiş Perlit Agregasının Elek Analizi 157
5.2.2. Perlit Agregasında İnce Madde Oranı Analizi 160
5.2.3. Organik Madde İçeriği 162
5.2.4. Hammaddelerin Kızdırma Kaybı Analizi 163
5.3. Tuğla Üretim Çalışmaları 165
5.3.1. Tuğla Kontrol Numunesi Üretimi 167
5.3.1.1. Su Katkı Oranı ve Pişme Sıcaklığının Belirlenmesi 169
5.3.1.2. Karboksimetilselüloz (CMC) Katkı Miktarının Belirlenmesi 173
5.3.1.3. Pres Basıncının Belirlenmesi 176

5.3.1.4. Kontrol Tuğlasının Mineralojik ve Termal Analizleri 182
5.3.2. Bor Katkılı Tuğlaların Üretimi 184
5.3.2.1. Bor Katkılı Tuğlaların Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları 188
5.3.2.2. Bor Katkılı Tuğlaların Basma Dayanımı Deney Bulguları 190
3.2.2.3. Bor Katkılı Tuğlaların Sonik Hız Deney Bulguları 192
3.2.2.4. Bor Katkılı Tuğlaların Su Emme Deney Bulguları 194
3.2.2.5. Bor Katkılı Tuğlaların Porozite Deney Bulguları 196
5.3.2.6. Bor Katkılı Tuğlaların Minerolojik ve Termal Analizleri 198
5.3.3. Kil Katkılı Tuğlaların Üretimi 201
5.3.3.1. Kil Katkılı Tuğlaların Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları 203
5.3.3.2. Kil Katkılı Tuğlaların Basma Dayanımı Deney Bulguları 205
5.3.3.3. Kil Katkılı Tuğlaların Sonik Hız Deney Bulguları 207
5.3.3.4. Kil Katkılı Tuğlaların Su Emme Deney Bulguları 209
5.3.3.5. Kil Katkılı Tuğlaların Porozite Deney Bulguları 211
5.3.3.6. Kil Katkılı Tuğlaların Minerolojik ve Termal Analizleri . 213
5.4. Bor ve Kil Katkılı Tuğlaların Kontrol Numunesi ile Karşılaştırılması 216
5.5. Nihai Ürün Üretimi 226
5.5.1. Tuğla Karışım Oranının Belirlenmesi 227
5.5.2. 50x100x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi 229
5.5.3. 100x150x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi 240
5.5.4. 100x200x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi 249
5.5.5. 100x250x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi 259
5.5.6. Nihai Tuğlanın Minerolojik ve Termal Analizleri 269
5.5.7. Farklı Boyutta Üretilen Tuğlaların Karşılaştırılması 273
5.5.8. Nihai Tuğla İleri Teknoloji Deneyleri 281
5.5.8.1. Isı Kapasitesi Ölçüm Deneyleri 281
5.5.8.2. Nötron Geçirgenlik Deneyleri 282
5.5.9. Nihai Tuğla Kalite Faktörü Analizi 283
5.5.10. Yapı Malzemelerinin Karşılaştırmalı Analizi 288

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 291
KAYNAKLAR 307
ÖZGEÇMİŞ 317

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Perlitlerin fiziksel özellikleri 29
Çizelge 3.2. Perlitlerin genel kimyasal özellikleri 29
Çizelge 3.3. Türkiye perlit rezervlerinin sağılımı 32
Çizelge 3.4. Dünya perlit rezervleri 32
Çizelge 3.5. Dünya perlit üretim miktarları 33
Çizelge 3.6. Bor elementinin fiziksel özellikleri 36
Çizelge 3.7. Ticari öneme sahip bor mineralleri 38
Çizelge 3.8. Ticari öneme sahip rafine bor bileşikleri 39
Çizelge 3.9. Dünya bor rezervleri ve kaynakları 39
Çizelge 3.10. Türkiye bor rezervleri 41
Çizelge 3.11. Konsantre ve rafine bor ürünleri kurulu kapasiteler 41
Çizelge 3.12. İşletmeler bazında yıllara göre konsantre ve rafine bor üretimi 42
Çizelge 3.13. Konsantre ve rafine bor bileşiklerinin kullanım alanları 43
Çizelge 3.14. Özel bor kimyasalları için kullanım alanları 43
Çizelge 3.15. 1995-2006 Yılları arasında dünya üleksit üretimi 46
Çizelge 3.16. 1995-2006 Yılları arasında dünya boraks üretimi 46
Çizelge 3.17. 1995-2006 Yılları arasında dünya kolemanit üretimi 47
Çizelge 3.18. Türkiye'nin yıllar itibariyle dünya bor pazarındaki payı 50
Çizelge 3.19. Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimi 52
Çizelge 3.20. Killerin fiziksel özellikleri 53
Çizelge 3.21. Dünya seramik ve tuğla kili rezervleri 54
Çizelge 3.22. Türkiye'de başlıca kil üretim bölgelerinin rezervleri 55
Çizelge 3.23. Killerin sektörel kullanım alanları 56
Çizelge 3.24. Türkiye 2010-1014 kil üretim projeksiyonu ve ihracatı 56
Çizelge 3.25. Her iki fabrikada üretilen BAB çimentosunun kimyasal analiz deney sonuçları 70
Çizelge 3.26. Göltaş çimento fabrikası ürünü BAB çimentosunun fiziksel özellikleri 70

Çizelge 3.27. Denizli ve Göltaş BAB ve CEM 42,5 R çimentosundan elde edilen basınç dayanımı gelişimleri 71
Çizelge 3.28. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları 76
Çizelge 3.29. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları 76
Çizelge 3.30. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük elastisite modülü değerleri 76
Çizelge 3.31. Ermenek Barajı BAB çimentosu, BAB+%20 uçucu kül ve CEM I 42,5+%35 uçucu kül ile yapılan betonların 7, 28 ve tahmini 90 günlük basınç dayanım değerleri 77
Çizelge 3.32. BAB çimentosu ile farklı dozajlarda yapılan betonların 90 günlük klorür iyonları penetrasyon direnci değerleri 77
Çizelge 3.33. Isparta-Burdur karayolu BAB ve CEM 42,5R çimentosu ile tasarlanan betonlara ait basınç ve eğilme dayanımı değerleri 80
Çizelge 3.31. Selülozik izolasyon malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri ... 83
Çizelge 3.31. Çalışmalarda kullanılan altı adet liflevha karışımı 89
Çizelge 3.32. Üretilen liflevhaların fiziksel özellikleri 89
Çizelge 3.33. Üretilen liflevhaların mekanik özellikleri 89
Çizelge 5.1. Genleştirilmiş perlitlerinin kimyasal analiz sonuçları 132
Çizelge 5.2. Emet kolemanit mineralinin kimyasal analiz sonuçları 133
Çizelge 5.3. İmrahor kil minerallerinin kimyasal analiz sonuçları 133
Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kömür tozunun kimyasal analiz sonuçları 133
Çizelge 5.5. CMC (Karboksimetilselüloz) bağlayıcısının analiz sonuçları 134
Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan hammaddelerin kalitatif mineralojik analiz sonuçları 137
Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan malzemelerin elementsel analiz sonuçları ... 143
Çizelge 5.8. Deneylerde kullanılan malzemelerin porozite ölçüm sonuçları 147
Çizelge 5.9. Deneylerde kullanılan malzemelerin yüzey alanı ölçümleri 148
Çizelge 5.10. Hammaddelerin farklı sıcaklıkta birim hacim ağırlık değerleri 153
Çizelge 5.11. Hammaddelerin farklı sıcaklıkta özgül ağırlık değerleri 154

Çizelge 5.12. Hammaddelerin farklı sıcaklıklarda su emme değerleri 155
Çizelge 5.13. Hammaddelerin farklı sıcaklıklarda kompasite değerleri..... 156
Çizelge 5.14. TS 1114 EN 13055-1'de verilen hafif agregaların granülometrik özellikleri 157
Çizelge 5.15. Tuğla üretiminde kullanılan agregalar için elek analizi sınır değerleri..... 158
Çizelge 5.16. Menderes genleşmiş perlitinin elek analiz değerleri 159
Çizelge 5.17. Yapı malzemesi üretiminde kullanılan agregalarda ince madde oranı sınır değerleri 161
Çizelge 5.18. Menderes perlit agregasının ince malzeme miktarları..... 162
Çizelge 5.19. Tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin kızdırma kaybı sonuçları 164
Çizelge 5.20. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık değişim (BHA) değerleri..... 170
Çizelge 5.21. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişim değerleri 171
Çizelge 5.22. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve sonik hız değişim değerleri 172
Çizelge 5.23. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık (BHA) değişim değerleri 174
Çizelge 5.24. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişim değerleri 175
Çizelge 5.25. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre birim hacim ağırlık (BHA) değişim değerleri..... 177
Çizelge 5.26. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre basınç dayanımı değişim değerleri 178
Çizelge 5.27. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre sonik hız değişim değerleri..... 179
Çizelge 5.28. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre su emme değişim değerleri..... 180

Çizelge 5.29. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre porozite değişim değerleri 181
Çizelge 5.30. Bor katkılı tuğlaların agrega, su ve bağlayıcı karışım oranları 184
Çizelge 5.31. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri 188
Çizelge 5.32. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanım değerleri 190
Çizelge 5.33. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değerleri..... 192
Çizelge 5.34. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değerleri..... 194
Çizelge 5.35. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değerleri 196
Çizelge 5.36. Kil katkılı tuğlaların agrega, su ve bağlayıcı karışım oranları 201
Çizelge 5.37. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri..... 203
Çizelge 5.38. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanım değerleri..... 205
Çizelge 5.39. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değerleri 207
Çizelge 5.40. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değerleri 209
Çizelge 5.41. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değerleri 211
Çizelge 5.42. Tuğlaların sıcaklık-birim hacim ağırlık (BHA) deney sonuçlarının karşılaştırılması..... 217
Çizelge 5.43. Tuğlaların sıcaklık-basma dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması 219
Çizelge 5.44. Tuğlaların sıcaklık-sonik hız deney sonuçlarının karşılaştırılması . 221
Çizelge 5.45. Tuğlaların sıcaklık-su emme deney sonuçlarının karşılaştırılması . 223
Çizelge 5.46. Tuğlaların sıcaklık-porozite deney sonuçlarının karşılaştırılması . 225

Çizelge 5.47. Nihai tuğla karışım oranları 228
Çizelge 5.48. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık (BHA) değerleri 231
Çizelge 5.49. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri 232
Çizelge 5.50. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri 233
Çizelge 5.51. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri 234
Çizelge 5.52. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri 235
Çizelge 5.53. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri 236
Çizelge 5.54. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri 237
Çizelge 5.55. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri 238
Çizelge 5.56. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri 241
Çizelge 5.57. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri 242
Çizelge 5.58. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri 243
Çizelge 5.59. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri 244
Çizelge 5.60. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri 245
Çizelge 5.61. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri 246
Çizelge 5.62. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri 247

Çizelge 5.63. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri 248
Çizelge 5.64. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri 251
Çizelge 5.65. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri 252
Çizelge 5.66. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri 253
Çizelge 5.67. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri 254
Çizelge 5.68. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri 255
Çizelge 5.69. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri 256
Çizelge 5.70. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri 257
Çizelge 5.71. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri 258
Çizelge 5.72. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri 261
Çizelge 5.73. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri 262
Çizelge 5.74. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri 263
Çizelge 5.75. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri 264
Çizelge 5.76. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri 265
Çizelge 5.77. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri 266

Çizelge 5.78. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri 267
Çizelge 5.79. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri 268
Çizelge 5.80. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması 273
Çizelge 5.81. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması 274
Çizelge 5.82. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanım değerlerinin karşılaştırılması 275
Çizelge 5.83. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı sonik hız geçiş değerlerinin karşılaştırılması 276
Çizelge 5.84. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı su emme değerlerinin karşılaştırılması 277
Çizelge 5.85. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı porozite değerlerinin karşılaştırılması 278
Çizelge 5.86. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayı değerlerinin karşılaştırılması 279
Çizelge 5.87. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerlerinin karşılaştırılması 280
Çizelge 5.88. Nihai tuğlaların nötron geçirgenlik değerleri 282
Çizelge 5.89. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri 283
Çizelge 5.90. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri 284
Çizelge 5.91. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri 285
Çizelge 5.92. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri 286
Çizelge 5.93. Tuğla, sandviç tuğla, gazbeton, bimsblok ve perlit tuğlaların teknik analizlerinin karşılaştırılması 288

Çizelge 5.94. Tuğla, sandviç tuğla, gazbeton, bimsblok ve perlit tuğlaların ağırlık analizlerinin karşılaştırılması 289

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Perlitin üç hali, a; ham, b; kırılmış-öğütülmüş, c; genleştirilmiş..... 28
Şekil 3.2. Kolemanit mineralinin genel görüntüsü..... 38
Şekil 3.3. Ülkeler bazında dünya B_2O_3 üretimi..... 45
Şekil 3.4. 2012 yılı B_2O_3 bazında tahmini dünya bor minerali üretimi 45
Şekil 3.5. Türkiye'de yıllara göre kolemanit konsantresi üretim miktarı 47
Şekil 3.6. Türkiye bor ürünleri ihracat değerleri..... 48
Şekil 3.7. Emet İşletme Müdürlüğü borik asit fabrikasında üretim 49
Şekil 3.8. Agrega tanelerinin içerdikleri su durumu 59
Şekil 3.9. BAB çimentosu hidratasyon hızının portland ve uçucu küllü çimento ile karşılaştırılması 73
Şekil 3.10. Dört farklı incelikte Göltaş BAB ve portland çimentolarının toplam hidratasyon ısılarının karşılaştırılması 73
Şekil 3.11. Üç farklı bağlayıcı ile yapılan beton blokların adyabatik sıcaklık artışı 75
Şekil 3.12. Isparta-Burdur karayolunun beton dökümü için hazırlanması 78
Şekil 3.13. Beton harcının dökümü..... 78
Şekil 3.14. Finişer makinesiyle beton yol yapımı..... 79
Şekil 3.15. Beton yolun genel görüntüsü 79
Şekil 3.16. Nihai bimsblok üretimi 82
Şekil 3.17. Bor katkılı selüloz yünü 84
Şekil 3.18. Selüloz yünü çatı uygulaması 84
Şekil 3.19. Üretilen odun-plastik kompozitlerin görüntüsü..... 87
Şekil 3.20. Kontrol ve yangın geciktirici ile oluşan görüntü 87
Şekil 4.1. Menderes Cumaovası perlit yatakları yer bulduru haritası..... 92
Şekil 4.2. Menderes (Cumaovası) perlit yatakları cevher zuhurları..... 93
Şekil 4.3. Menderes (Cumaovası) genleştirme fırınının genel görünümü 94
Şekil 4.4. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmış genleştirilmiş perlit agregası . 94
Şekil 4.5. Emet-Espey bor yatağı yer bulduru haritası 95
Şekil 4.6. Emet-Espey Açık Ocak İşletmesi üretim hattı ve örtü tabakası 97

Şekil 4.7. Emet-Espey Ocağı kolemanit yığınları 97
Şekil 4.8. Kolemanit yığınlarından numune temini 98
Şekil 4.9. İmrahor kil yatakları yer bulduru haritası 99
Şekil 4.10. İmrahor bölgesinden kil numunesi temini 100
Şekil 4.11. Katkı malzemesi olarak kullanılan 1mm'lik elekten geçirilmiş kömür tozu 101
Şekil 4.12. Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan CMC (karboksimetilselüloz)... 102
Şekil 4.13. Pres kalıp makinesi 104
Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan çelikten imal kalıplar 105
Şekil 4.15. Deneylerde kullanılan çelikten imal başlıklar..... 105
Şekil 4.16. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mekanik karıştırıcı 106
Şekil 4.17. Deneylerde kullanılan numune pişirme etüvü 107
Şekil 4.18. Amfi ve ses sinyal üreticisi 108
Şekil 4.19. Perlit tuğla yerleştirilmiş ses ölçüm haznesi 109
Şekil 4.20. Sonik hız test cihazı 110
Şekil 4.21. Basınç dayanım cihazı 111
Şekil 4.22. Nokta yükleme aleti 112
Şekil 4.23. Kare göz açıklı elekler 113
Şekil 4.24. Tuğla üretim prosesi akım şeması..... 116
Şekil 4.25. Nokta yük dayanımı belirlenen numunelerin kesit görünümü..... 121
Şekil 5.1. Menderes perlit örnekleri içersinde yer alan opal ve kuvars kristalleri ... 135
Şekil 5.2. Espey kolemanit örneklerinin ince kesit görünümü..... 136
Şekil 5.3. İmrahor kil örneklerinin ince kesit görünümü 136
Şekil 5.4. Menderes perlitlerine ait X-ışını difraktometre analiz sonucu 138
Şekil 5.5. Emet borlarına ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları..... 138
Şekil 5.6. İmrahor killerine ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları (glukollu) .. 139
Şekil 5.7. İmrahor killerine ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları (normal) 139
Şekil 5.8. Kömür tozlarına ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları 140
Şekil 5.9. Menderes perlit SEM görüntüsü 141
Şekil 5.10. Menderes perlit SEM görüntüsü 141
Şekil 5.11. Emet bor SEM görüntüsü 141

Şekil 5.12. Emet bor SEM görüntüsü 141
Şekil 5.13. İmrahor kilin SEM görüntüsü 142
Şekil 5.14. İmrahor kilin SEM görüntüsü 142
Şekil 5.15. Kömür tozu 142
Şekil 5.16. Kömür tozu 142
Şekil 5.17. Menderes perlit numunelerinin EDS analizi 144
Şekil 5.18. Emet kolemanit numunelerinin EDS analizi 144
Şekil 5.19. İmrahor kil numunelerinin EDS analizi 145
Şekil 5.20. Kömür tozu numunelerinin EDS analizi 145
Şekil 5.21. Menderes perlit örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri 151
Şekil 5.22. Emet Kolemanit örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri 151
Şekil 5.23. İmrahor kil örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri 152
Şekil 5.24. Kare delikli eleklerde tuğla ve beton agregası granülometri eğrisi 158
Şekil.5.25. Genleştirilmiş Menderes perlit agregasının granülometri eğrisi 160
Şekil 5.26. Mekanik karıştırıcıda hazırlanan tuğla hammaddesi 168
Şekil 5.27. Karışım malzemesinin 5x10x10 cm kalıplarda preslenmesi 168
Şekil 5.28. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve BHA değişimi 170
Şekil 5.29. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve basınç dayanımı değişimi 171
Şekil 5.30. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve sonik hız değişimi 172
Şekil 5.31. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık (BHA) değişimi 174
Şekil 5.32. Kontrol tuğlasının CMC miktarına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişimi 175
Şekil 5.33. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre birim hacim ağırlık (BHA) değişimi 177

Şekil 5.34. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre basınç dayanımı değişimi 178
Şekil 5.35. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre sonik hız değişimi 179
Şekil 5.36. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre su emme değişimi 180
Şekil 5.37. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre porozite değişimi 181
Şekil 5.38. Kontrol tuğlasının farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri .. 182
Şekil 5.39. Kontrol tuğlasına ait X-raydifraktometre analiz sonuçları 183
Şekil 5.40. Hazırlanan karışımların 5x10x10 cm kalıplara yerleştirilmesi 185
Şekil 5.41. Bor katkılı perlit tuğlaların üretimi 186
Şekil 5.42. Bor katkılı olarak üretilen tuğlaların genel görünümü 186
Şekil 5.43. Farklı karışımlarda üretilen tuğlaların farklı sıcaklıklarda pişirilmesi .. 187
Şekil 5.44. Farklı oranlarda bor katkısı ile pişirilen tuğlaların görünümü 187
Şekil 5.45. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen tuğlaların birim hacim ağırlığı değişimi 189
Şekil 5.46. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanımı değişim grafiği 191
Şekil 5.47. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değişim grafiği 193
Şekil 5.48. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değişim grafiği 195
Şekil 5.49. Farklık kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değişim grafiği 197
Şekil 5.50. Kolemanit katkılı tuğlaların farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri 198
Şekil 5.51. Kolemanit katkılı tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi 199
Şekil 5.52. Kolemanit katkılı tuğlaların X-ray difraktometre analiz sonuçları 200
Şekil 5.53. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların pişme öncesi görünümü 202
Şekil 5.54. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların pişirilmesi 202
Şekil 5.55. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değişimi 204

Şekil 5.56. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanımı değişim grafiği 206
Şekil 5.57. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değişim grafiği 208
Şekil 5.58. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değişim grafiği 210
Şekil 5.59. Farklık kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değişim grafiği 212
Şekil 5.60. Kil katkılı tuğlaların farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri 213
Şekil 5.61. Kil katkılı tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi 214
Şekil 5.62. Kil katkılı tuğlaların X-ray difraktometre analiz sonuçları 215
Şekil 5.63. Tuğlaların sıcaklık-birim hacim ağırlık değişimi karşılaştırma grafiği 217
Şekil 5.64. Tuğlaların sıcaklık-basma dayanımı değişimi karşılaştırma grafiği 219
Şekil 5.65. Tuğlaların sıcaklık-sonik hız değişimi karşılaştırma grafiği 221
Şekil 5.66. Tuğlaların sıcaklık-su emme değişimi karşılaştırma grafiği 223
Şekil 5.67. Tuğlaların sıcaklık-porozite değişimi karşılaştırma grafiği 225
Şekil 5.68. Farklı boyutda üretilen tuğlaların genel görünümü 229
Şekil 5.69. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi 230
Şekil 5.70. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık (BHA) değişim grafiği 231
Şekil 5.71. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği 232
Şekil 5.72. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği 233
Şekil 5.73. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği 234
Şekil 5.74. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği 235
Şekil 5.75. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği 236
Şekil 5.76. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği 237

Şekil 5.77. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği 238
Şekil 5.78. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi..... 240
Şekil 5.79. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği 241
Şekil 5.80. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği 242
Şekil 5.81. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği 243
Şekil 5.82. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği... 244
Şekil 5.83. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği ... 245
Şekil 5.84. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği 246
Şekil 5.85. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği 247
Şekil 5.86. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği 248
Şekil 5.87. 100x200x100 mm tuğla üretiminde kullanılan kalıp ve başlık..... 250
Şekil 5.88. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi..... 250
Şekil 5.89. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği 251
Şekil 5.90. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği 252
Şekil 5.91. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği 253
Şekil 5.92. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği... 254
Şekil 5.93. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği ... 255
Şekil 5.94. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği 256
Şekil 5.95. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği 257
Şekil 5.96. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği 258

Şekil 5.97. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi..... 260
Şekil 5.98. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği 261
Şekil 5.99. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği 262
Şekil 5.100. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği 263
Şekil 5.101. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği 264
Şekil 5.102. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği 265
Şekil 5.103. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği 266
Şekil 5.104. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği 267
Şekil 5.105. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği 268
Şekil 5.106. Nihai Tuğlanın 400°C pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri 270
Şekil 5.107. Nihai tuğlanın 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi 271
Şekil 5.108. Nihai tuğlalalara ait X-ray difraktometre analiz sonuçları 272
Şekil 5.109. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-birim hacim ağırlık değişim 274
Şekil 5.110. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-basınç dayanımı değişim grafiği 275
Şekil 5.111. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-nokta yük değişim grafiği ... 276
Şekil 5.112. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-sonik hız değişim grafiği..... 277
Şekil 5.113. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-su emme değişim grafiği 278
Şekil 5.114. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-porozite değişim grafiği 279
Şekil 5.115. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-ısı iletim katsayı değişim grafiği 280

Şekil 5.116. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-ses geçiş kaybı değişim grafiği 281
Şekil 5.117. Nihai tuğlaların ısı kapasite deney sonuçları 282
Şekil 5.118. 50x100x100 mm tuğlaların kalite analizi 284
Şekil 5.119. 100x150x100 mm tuğlaların kalite analizi 285
Şekil 5.120. 100x200x100 mm tuğlaların kalite analizi 286
Şekil 5.121. 100x250x100 mm tuğlaların kalite analizi 287

SİMGELER VE KISALTMALAR

BOREN	: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü
TÇMB	: Türk Çimento Müstahsilleri Birliği
TSE-TS	: Türk Standartları Enstitüsü
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
GKA	: Gazbeton Kırık Atıkları
OKM	: Organik Katkı Maddesi
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
BAB	: Borlu Aktif Belit Çimentosu
LTW	: Litre Ağırlığı
ÖİK	: Özel İhtisas Komisyonu
CMC	: Karboksimetilselülöz
İYTE	: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
PÇ	: Portland Çimentosu
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OPK	: Odun Plastik Kompozitleri
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Poletilen
PP	: Polipropilen
BB	: Borlu Bileşikler
ÇANAEM	: Çekmece Nükleer Eğitim ve Araştırma Merkezi
XRD	: Mineralojik Analiz
XRF	: Kimyasal analiz
SEM	: Görüntülü Analiz
TG-DTA	: Termal Analiz
EDS	: Elementel Analiz
Cp	: Isı Yeteneği

BET	: Yüzey Alanı Ölçümü
atm	: Atmosfer Basıncı
EA	: Elek Analizi
KN	: Kontrol Numunesi
MGP	: Menderes Genleşmiş Perlit
EK	: Emet Kolemanit
İK	: İmrahor Kil
NÜ	: Nihai Ürün

1. GİRİŞ

Türkiye, gerek yeraltı gerekse yerüstü kaynakları bakımından oldukça zengin bir coğrafik yapıya sahiptir. Ülkemizi ilerki zamanlarda sıkıntıya sokacak hammadde ihtiyacı doğuracak problemlerle karşılaşmamak için yeraltı kaynaklarımızın korunması ve en rasyonel biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada, özellikle bor mineralleri ve perlit yatakları gibi stratejik öneme sahip yeraltı kaynaklarımızın daha dikkatli bir şekilde kullanılarak ülke ekonomisine kazandırılması zorunlu milli bir görev olarak algılanmalıdır. Dünya üretiminde lider olduğumuz bor ve perlit yataklarının ekonomik olarak işletilmesi ve ürün haline getirilmesi önem kazanmaktadır.

İnşaat sektöründe, geleneksel ağır inşaat malzemeleri (kum, çakıl, yapıtaşları vs) yanında, gittikçe artan oranda hafif inşaat malzemeleri kullanılmaktadır. Bu oran Almanya için 1/25, Japonya için 1/32, ABD için 1/70 iken Türkiye için ancak 1/300 civarındadır. Bütün dünyada yaklaşık olarak 12,1 milyar ton ağır malzeme ve buna karşılık 100 milyon ton kadarda hafif malzeme tüketildiği tahmin edilmektedir (Seyhan, 1993).

Beton ve sıva yapımında tüketilen kum, çakıl ve kırma taştan daha hafif olan malzemelere “hafif agregalar” denir. Bu malzemeler ya doğal halleri ile hafiftirler (pomza, diyatomit) veya yapay olarak uygun hale getirilirler (perlit, vermikülit, kil, şeyl). Yan ürün olarak elde edilen bazı malzemelerde ayni özelliği taşıyabilir (kül, curuf, uçucu kül). Büyük ölçüde inşaat sektöründe bu tip malzemelerin kullanılmasıyla taşıyıcı elemanlara gelen yükler azaltılır, ısı ve ses yalıtımı, don ve kimyasal etkilere karşı direnç sağlanır. Volkanik kökenli hafif agregalar puzzolanik özellikte olduğundan bunlarla üretilen betonların mukavemeti artar (Okucu,1992).

Kaya mühendisliği biliminde kaydedilen hızlı gelişmelerin paralelinde, bazı kaya kütlesi türlerinin farklı endüstri alanlarında kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerinin kullanımı gerek depreme karşı yüksek bir mukavemet sağlaması gerekse diğer kayaç türlerine göre mühendislik özelliklerinin uygun olması, bu tür kayaçların kullanımını arttırmaktadır. İnsanoğlu eski çağlardan beri kayaçları barınma, iş ve diğer sosyal

faaliyetlerin oluşturulabileceği bir çok mekanın yapılmasında ana yapı malzemesi olarak kullanmıştır. Zamanla yüksek binaların temel üzerinde oluşturduğu statik yükler, ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve önlem amaçlı zorunlulukların artması ile birlikte hafif kaya malzemelerinin kullanımı artmaktadır. Yapı ve kaplama sektöründe ana hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmış olan hafif kayaçların kendilerine has bazı özellikleri dikkate alınarak, yapı endüstrisinde konfor amaçlı ana malzeme olarak sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür kayaçların genellikle doğal gözenekli ve hafif kayaç oluşumları olduğu bilinmektedir (Erdoğan, 2007).

Yapılarda ısı yalıtımını sağlayan başlıca etken, kullanılan yapı malzemesi ve malzemenin ısısal özelliğidir. Bu özelliği sağladığından dolayı, inşaat sektöründeki uygulamalarda genleştirilmiş perlit ve gözenekli pomzaların ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılması giderek artmaktadır. Ayni şekilde içersinde yaşanılan belirli ölçülerde sınırlandırılmış kapalı mekanlar da akustik yönden konfor sağlamak için, malzeme ve yapı düzeni ile ilgili olarak iki önemli etken vardır. Birincisi sesin yansıması veya yankı, diğeri ise ses iletimi veya bunun tersi olan ses yalıtımıdır (Gündüz, 2001).

Bu tez çalışmasın amacı, genleştirilmiş perlit (ana hammadde) ve kil-bor minerallerinin (doğal bağlayıcı) kullanıldığı düşük birim hacim ağırlığa ve yüksek mukavemete sahip yapı malzemesi üretilebilirliğinin araştırılmasıdır.

Tezin başlangıcında hammadde yataklarına gidilerek, homojen ve araziyi temsil edecek şekilde örnekler alınmış (her bir yataktan 200 kg) ve bu örnekler üzerinde analizler yapılarak karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda ana hammadde olarak kullanılan perlitlerin ve doğal bağlayıcı olarak kullanılan kolemanit, kil ve kömür tozunun mineralojik, jeolojik, kimyasal, fiziksel, XRD (x-ışını difraktometresi), SEM (Taramalı Elektron Mikroskop), TG (Termogravimetrik Yöntemler), DTA (Diferansiyel Termal Analiz), özgül yüzey alanı ölçümü ve kızdırma kaybı deneyleri yapılmıştır.

Tezin ilk aşamasında, hammadde yataklarının jeolojisi ve petrografisi incelenmiş, deneylerde kullanılmak üzere (araziyi temsil edecek şekil ve yeterli

miktarda) numuneler alınmış ve hammadde üretim yöntemleri hakkında bilgiler toplanmıştır.

Doktora tezinin ikinci aşamasında hammadde karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon deneylerinden sonra hammaddelerin yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir olduğu belirlenerek laboratuar çalışmalarına başlanmış ve tuğla üretimi (kontrol numunesi, kolemanit katkılı, kil katkılı ve nihai ürün) 4 ayrı reçetede gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde Emet-Espey kolemanit mineralleri (%32-36 B_2O_3), Menderes-Cumaovası genleştirilmiş perlitleri (0,2-4 mm), diğer doğal bağlayıcı olarak Ankara (İmrahor) kil ve katkı malzemesi olarak kömür tozu kullanılmıştır. Bu çalışmada kolemanit mineralinin kullanılması, bor mineralleri içersinde Ca ihtiva eden ve Ca'nın bağlayıcı özelliğe sahip olmasından dolayı kaynaklanmıştır. Genleştirilmiş perlit ve doğal bağlayıcı kullanarak 4 adet ana karışım grubu elde edilmiştir. Bu karışım grupları farklı reçetelerde üretilerek, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C 'de pişirilmiş ve optimum sıcaklık belirlenmiştir. Pişirilmiş ürünler üzerinde TS' ye ve uluslararası standartlara göre kimyasal, fiziksel ve mekanik testler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir. Çalışmalar sonucunda, üretilen numunelerin içerisinden en iyi karışım oranı (nihai ürün), boyutlandırma, mekanik mukavemet, pişme, optimum pres basınç değeri gibi parametreler belirlenerek optimize edilmiştir.

Bu amaçla, yapılan denemeler neticesinde elde edilen parametreler kullanılarak nihai ürün üretim çalışmalarına geçilmiştir. Nihai ürünler farklı boyutlarda (50x100x100 mm, 100x150x100 mm, 100x200x100 mm ve 100x250x100 mm) üretilmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek şekillendirilmiştir. Daha sonra tuğlaların 2-7-14-28-90 gün sonunda kimyasal, fiziksel, mekanik, ısı ve ses özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, tuğlaların cp testi (ısı tutma) ve nötron tutma özelliği gibi teknolojik deneylerde gerçekleştirilmiştir.

Son aşamada ise laboratuarda üretilen ürünler üzerinde TS'ye uygun deneyler yapılarak kalite parametreleri belirlenmiş ve yapı sektöründe kullanılan eş değer ürünlerle karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye'deki yapı malzemesi olarak kullanılan kökeni farklı kum, çakıl, çimento, alçı, kireç, perlit ve pomza vb. hammaddelerden üretilen beton, tuğla, bims, gaz beton ve izotuğla gibi hafif yapı malzemelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Ülkemizin deprem kuşağında yeralması ve önlem amaçlı zorunlulukların artması ile birlikte hafif kaya malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır. Yapı ve inşaat sektöründe ana hammadde olarak değerlendirilmeye başlanmış olan hafif kayaçların kendilerine has bazı özellikleri dikkate alınarak sektörde komfor amaçlı ana malzeme olarak sıkça kullanılmaya başlamıştır. Bu tür kayaçlar genellikle doğal gözenekli ve hafif kayaç oluşumları olduğu bilinmektedir.

Bu amaçla, ülkemizde inşaat endüstrisinde hafif yapı malzemeleri üretimi üzerine yapılan bilimsel çalışmalar ve araştırmalar giderek artmaktadır. Ayrıca, dünyada ve ülkemizde yapı malzemesi üretiminde bağlayıcı olarak bor ve kil minerallerinin kullanıldığı bir çok çalışma tespit edilmiştir. 1970' li yıllarda başlayan çalışmalar, günümüze kadar artarak devam etmiştir. Yapılan çalışmalarda perlitin ana hammadde, bor ve kil minerallerinin bağlayıcı olarak kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Aşağıda kaynak araştırması yapılan çalışmalarda, yapı malzemesi üretim yöntemleri, karışım oranları ve üretimde kullanılan hammadde ve bağlayıcı özellikleri hakkındaki bulgulara yer verilmiştir.

Attenborough (1983), duvar paneli üretim çalışmalarında ağırlıkça %27 perlit, %3 fiberglas ve %70 kil kullanmıştır. Üretilen panellerin basınç dayanım değerleri 3,2 Mpa, birim hacim ağırlık değeri 950kg/m^3, porozite oranı %69 ve ısı iletim katsayısı 0,21 W/mK olarak belirlemişlerdir.

Ma (1992), çalışmasında yüksek alüminalı çimentoyu, dört farklı sodyum fosfatı ve bir kalsiyum fosfat katkısını malzeme olarak kullanmıştır. Örnekleri eğilme dayanımı deneyinden önce oda sıcaklığında 10 ay kür etmiştir. Örneklerin su-çimento oranı 0,17-0,20 yüksek alüminalı çimentoya fosfat katkısını ise %10, %25 ve %40

olarak belirlemiştir. Yüksek alümina çimento harç örnekleri, katkısız örneklerden daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. En yüksek eğilme dayanımı 14 Mpa ile yüksek alüminalı çimentonun 7. gün küründen sonra meydana gelmiştir. Sonuç olarak, yüksek alüminalı çimentoya fosfat katılmasıyla yüksek dayanım elde edildiği belirlenmiştir. Sodyum fosfat ve kalsiyum fosfat mekanik özellikler üzerinde farklı etkiler göstermiştir. Uzun kür süresinde yüksek dayanım elde etmek için düşük su-çimento oranı gerekmektedir. Eğilme dayanımındaki artışı gözenek boyutundaki ve porozite deki azalmaya bağlamıştır.

Köktürk (1993), perlit ve bor katkılı betonların en belirgin özellikleri hafifliği ve düşük ısı iletkenliği değeridir. Perlit betonun birim ağırlığı 320-640 kg/m^3 ve ısı iletkenlik değeri 0.07–0.12 W/mK arasında olduğunu bulmuşlardır.

Çobanlı (1993), genleştirilmiş perlit, kil ve %10 bor atığı kullanarak üretilen panellerin yüksek ısı yalıtımları ile hafif yapı malzemeleri olmaları yanında kuruma sırasında rötre ve yoğunluk artışı olmaması, yangına ve dona dayanımının yüksek oluşu, kolay üretilmesi gibi olumlu özelliklerinin olduğu belirtilmiştir.

Rayment ve Majumdar (1994), çalışmalarında iki çeşit yüksek alüminalı çimento klinkerini ve yüksek fırın cürufunu malzeme olarak kullanmıştır. %50 yüksek alüminalı çimento ve %50 yüksek fırın cürufu, tanı çapı 5-10 mm iki çeşit agrega içeren 10x10 cm küp beton örnekler hazırlamıştır. Küp beton örnekler su altında 20 ve 38°C' de 5 yıl kür edilmiştir. SEM cihazları kullanılarak örneklerin mikro analizini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak örneklerin su içindeki kürden sonra Ca, Al, Si ve Fe elementleri ağırlıklı bir yapıya sahip olduğunu belirlemiştir.

Low ve Beadoin (1994), yaptıkları çalışmalarda yüksek alüminalı çimentoyu, doğal volastonit liflerini ve silis dumanını malzeme olarak kullanmıştır. Bu malzemelerle iki gurupta örnekler hazırlanmıştır. İlk gurupta yüksek alümina çimentodan referans örnekleri, ikinci guruptakiler ise %95 yüksek alüminalı çimento+ %5 Silis dumanı ve hacmen yedi değişik oranda volastonit lif katkısı içeren örnekler hazırlanmıştır. 0,35 su-çimento oranında hazırlanan referans çimentolu harçların 1. Gün eğilme dayanımını 6,82Mpa, 28. Gün eğilme dayanımını ise 11,7 Mpa olarak belirlemiştir. %2-15 arasında volastonit katkılı çimentolu harç örneklerinin 1. Gün eğilme dayanımları 7,81-14,89Mpa arasında ve 28.gün eğilme dayanımları 12,92-

20,17Mpa arasında çıkmıştır. Sonuç olarak, referans örneklerine göre katkılı çimento harç örneklerinin eğilme dayanımındaki artışı, volastonit mikro lif katkısı ve bu katkının yoğunluğuna bağlamıştır.

Sönmez ve Yorulmaz (1995), kırka boraks işletmesi tesislerinden oluşan kil atıklarının tuğla hammaddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan çalışmaların sonucunda, kırka atık killeri ile tuğla yapımında kullanılan hammaddenin uygun oranda karışımlarının, tuğla yapımında kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Ayberk (1995), perlitin yapı gereci olarak kullanımını araştırmıştır. Perlit, yalıtım ve yangına dayanım özellikleri ile yapılarda çeşitli biçimlerde kullanılmaktadır. Gevşek dolgu olarak döşemelerde, çift katmanlı dış duvarlarda, yalıtım betonu olarak zemin kat ve çatı döşemelerinde, sıva agregası olarak iç ve dış duvarlarda, tavan sıvasında ve blok ve levha biçiminde duvar gövdesi olarak kullanılır. Yapı gereci olarak perlit, yapıya az yük vermesi, alan kazandırması ve yakıt tasarrufu sağlaması ile yapı maliyetini olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir.

Padfield (1999), yaptığı çalışmalarda, hafif yapı malzemesi üretiminde perlit, kil ve bentonit karışımından mükemmel şekil alan malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemelerin boyut küçülmesi %8 ve basınç dayanımı değerleri 2 Mpa belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kil, perlit yüzeylerine homojen şekilde yayılarak mukavemet artışı sağlamaktadır.

Puertas ve ark. (1999), Deneylerinde portland çimentosu ve alüminyum atığını malzeme olarak kullanmıştır. Portlandit ve atık arasındaki kimyasal reaksiyonları ve kum yerine atık içeren harçların fiziksel ve mekanik davranışlarını ve atık bileşimini incelemiştir. Katkısız harç örneklerini, 0,54 su-çimento oranında ve katkılı harç örneklerini 0,73 su-çimento oranında hazırlamıştır. Atık içeren örneklerin priz başlangıcı 294 dk, priz sonu 355 dk iken katkısız örneklerin priz başlangıcı 179 dk, priz sonu 204 dk bulmuştur. Priz hızlanmamış aksine yavaşlamıştır. Atık içeren örneklerin bütün kür sürelerinde eğilme ve basınç dayanımı katkısız harç örneklerinden daha küçük çıkmıştır. Atık içeren örneklerin toplam porozitesi bütün kür sürelerinde katkısız örneklerinkinden daha yüksektir. Sonuç olarak, farklı su-çimento oranında hazırlanmış örnekleri karşılaştırarak, atık içeren harç örneklerinin,

katkısız örneklerden, bütün kür sürelerinde daha düşük dayanım ve daha yüksek porozite gösterdiğinin belirtmiştir.

Shi ve ark. (2000), bağlayıcı olarak portland çimentosunu, mineralojik atık olarak cam tozu ve uçucu kül seçmiştir. Portland çimentosu, uçucu kül ve farklı inceliklere sahip olan cam tozlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Uçucu kül ve cam tozlarının morfolojisini SEM cihazında, inceliklerini özgül yüzey ve tane boyutu dağılımı metoduyla belirlemiştir. Portland çimentolu kontrol örneklerinin su-çimento oranı 0,485 olarak belirleyip diğer karışımların su-çimento oranını belirlerken yayılma tablasında 110±5 yayılma sağlayan su miktarı kullanılmıştır. Bu sırada ince taneli karışımların su miktarını arttırdığını gözlemlemiştir. Sonuç olarak, ince öğütülmüş cam tozlarının gerek özgül yüzey gerekse puzolanik aktivite indeksinin portland çimentosundan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Basınç dayanımındaki artışın kür sıcaklığına bağlı olduğunuda vurgulamıştır. Portland çimentosu yerine cam tozu katılmasının alkali agrega reaksiyonunu azalttığını belirtmiştir.

Demir (2001), Afyon bölgesindeki kil hammaddesine, katkısız olarak tuğla kilinden, tuğla kiline ağırlıkça %20 oranında -1 mm pomza kumu, ağırlıkça %30 oranında -1 mm tane boyutunda pomza kumu, ağırlıkça %30 oranında (-3+2 mm) tane boyutunda pomza kumu ve ağırlıkça %30 oranında (-5+3 mm) tane boyutunda pomza kumu katılarak, ekstrüzyon yöntemi ile yeterli sayıda deney numunesi üretilmiştir. Üretilen farklı serideki örnekler, 900 $^{\circ}$C'de 6 saat pişirilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda pomzanın yapı sektöründe kullanılabileceği saptanmıştır. Ayrıca, tuğlanın birim hacim ağırlığındaki düşme belirlenmiş, hafif ve yalıtım değerine sahip yapı malzemesi üretiminde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Bütün serilerde basınç dayanımı değerlerinin standartlarda verilen değerleri karşıladığı belirlenmiştir.

Özdemir (2002), yaptığı çalışmalarda bazı yapı malzemelerinin kapiler su emme potansiyellerini araştırmıştır. Deneyler sonucunda, gözenekli hafif yapı malzemelerinde kapiler su emmelerin daha fazla, yoğun doğal malzemelerde ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Gözenek oranı fazla olan gaz beton ve bims betonda fazla su emme, betonda ise düşük su emme tespit edilmiştir. Gaz beton ağırlıkça ortalama

%73, bims beton %18,3, betonda %6,3 ve andezitik tüfte %4,07 düzeylerinde kapiler su emme tespit edilmiştir.

Aras (2002), sıcaklığın ve karışım oranlarının pişme rengini nasıl etkilediklerini belirlemek amacıyla yaptığı araştırmada, demir ve titan oranları %1-2,5 arasında değişen kaolinitçe zengin iki westerwald kilinin karışımlarında preslenen bünyelerin 1000-1250°C'de pişme renklerini ölçmüştür. Elde edilen sonuçlar illit bakımından zengin kilde 950°C' den sonra kil yapısına bağlı demirin serbestleşmesiyle renk tonlarının arttığını ve maksimum renk tonunun 1000°C'de oluştuğunu, kaolinitçe zengin kilde ise maksimum renk tonu ve renk berraklığının illit bakımından zengin kile oranla daha yüksek sıcaklıkta oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca, killerin pişme sırasında sinterleşmesi arttıkça renk şiddeti de artar.

Targan (2002), kolemanit ve tinkal atıklarının uçucu kül, doğal puzolan ve taban külü ile birlikte çimentoya katıldığında çimento priz süresinin geciktiğini bulmuşlardır.

Ceylan ve Ebeoğlugil (2002), çalışmada hafif ve ısı yalıtımı yüksek yapı tuğlası üretimi, kil ve genleştirilmiş perlit katkıları ile araştırılmıştır. Kil bümye içersindeki perlit oranı ağırlıkça %5-35 arasında değişmektedir. Karışımlar tek eksenli pres ile 150 kg/cm^2 basınç altında şekillendirilmiş ve doğal ortamda kurutulmuştur. Malzemelerin pişirilmesi endüstriyel ölçekli kamara fırınlarında 950°C sıcaklık altında yapılmıştır. Tuğla bileşiminde bulunan perlit oranı %35 olduğunda ısıl iletkenliği 0,12W/mK ve birim hacim ağırlığı 508 gr/cm^3 olan tuğlalar üretilmiştir.

Boncukoğlu ve ark. (2003), tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan atıkların çimentoya %1 oranında katılmasıyla yüksek basınç dayanımı elde edildiği, birincil atığın %5, ikincil atığın %10 oranında katılması durumunda ise çimento norm dayanımlarından daha yüksek dayanımlar elde edildiğini bulmuşlardır.

Özdemir ve Öztürk (2003), tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan 1. ve 2. kil pestili atığının klinkere değişik oranlarda katılarak atığın çimentodaki fiziksel ve kimyasal etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmada %1 atık kullanılması halinde yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Atık miktarının %5 oranında kullanılması halinde ise çimento norm dayanımlarından daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir.

Demirbağ ve Gül (2003), perlit, çimento, silika toz, uçucu kül karışımlarından oluşan hafif beton örneklerinin termal iletkenlik değişimini araştırmışlardır. Silika toz ve uçucu kül katkısının betonun termal iletkenlik üzerine olan etkisini belirlemek için çimentoya yer değiştirici olarak katılmıştır. %10-%30 çimento oranlarında ve en yüksek termal iletkenlik (0,3178 W/mK) sadece perlit içeren beton örneklerinde görülmüştür. En düşük termal iletkenlik değeri (0,1472 W/mK) ile perlit ile hazırlanan ve %70 çimento ve %30 uçucu külün yer değişimi olan çimentoda görülmüştür. Beton örneklerde %43,5 perlit kullanıldığında termal iletkenlikte düşüş olduğu ve hem silika toz hem uçucu kül katkısının da termal iletkenliği düşürdüğü belirlenmiştir.

Ogle (2003), yaptığı çalışmada, perlit ve kil karışımından tuğla üretilebilirliğini araştırmıştır. Düşük ağırlık ve yüksek mukavemet değerlerini veren oranın %85 perlit ve %15 kil olduğu belirlenmiştir. Denemelerde belirlenen en uygun karışım 418gr perlit, 381gr kil ve 950 gr su kullanılan reçetedir. Deney sonuçlarında 1,881 dm^3 yoğunluklu tuğlalar üretilmiştir.

Papamantellos ve ark. (2004), ferronikel atıkları, diyazporik boksit ve iki çeşit kireçtaşını malzeme olarak kullanmıştır. Bu malzemeleri farklı oranlarda karıştırarak 12 çeşit karışım elde etmiştir. Karışımları pişirerek yüksek elüminalı çimento üretmiştir. Ürettiği yüksek alüminalı çimentolardan su-çimento oranı 0,4 olan 11 ve 12 nolu çimentoyla hazırladığı harç örneklerinin 1. gün basınç dayanımı 17,4-64,1 Mpa olarak ve 7. gün basınç dayanımı 41-80,4Mpa olarak ve 28. gün basınç dayanımı 54-75,9 Mpa olarak belirlenmiştir.

Aksay ve ark. (2004), Menderes bölgesi pomza rezervlerinin tuğla endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, örnek numuneler, normal tuğlaya nazaran önemli bir ağırlık kaybının olmadığı tespit edilmiştir. Örnek numunelerin su emme değerleri, normal numunenin su emme değerlerine yakın bulunmuştur. Örnek numuneler içindeki pomzadan dolayı, normal tuğlaya göre %2-3 oranında daha fazla su bünyesine almıştır. Ancak bütün değerler %20'nin altında kalmıştır. Örnek numunelerin birim hacim ağırlıkları normal tuğlaya göre fazla olmasına karşın tuğla standartlarına (1,6-1,8 gr/cm^3) göre kabul edilebilir değerde bulunmuştur. Örnek numunelerin basınç dayanımları, normal tuğlanın

basınç dayanımlarına göre oldukça düşük bulunmuştur. Ayrıca, örnek numunelerin içindeki pomza miktarı arttıkça, tuğlaların mukavemetlerinde önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir.

Fragoulis ve ark. (2004), hafif agrega olarak kullanılmak üzere; ham ve fırınlanmış örnekler üzerinde yapılan kimyasal, fiziksel ve mineralojik testlere göre Yunanistan perlitinin endüstriyel inşaat sektöründe uygulama bulabileceğini ifade etmektedir.

Uslu ve Arol (2004), bor atıklarının kırmızı tuğla üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmalarda Eskişehir killeri ile bor atıkları (0, 10, 20, 30, 40-100) farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen tuğlalar şekillendirilip farklı sıcaklıklarda (700, 800, 900°C) pişirilmiştir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada yeterli basma dayanımına sahip, tatminkar görünüm sergileyen tuğlaların çekme, su emme, yoğunluk, don dayanımı, zararlı kireç ve magnezya özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Araştırma sonucunda, %30'a kadar bor atık katkısının tuğla kalitesini arttırdığı görülmüştür.

Gennaro ve ark. (2004), tuğla üretiminde hafif agrega hammaddesi olarak zeolitik tüfler kullanılmıştır. Çalışmada yüksek sıcaklıklarda genleşme ve ateşlenen üründe teknolojik özellikler araştırılmıştır. Ateşleme genleşmesi esas olarak agreganın kimyasal bileşimine (SiO_2, Fe_2O_3.. vb.) ve su içeriğine bağlı olarak değişmektedir. Araştırmalarda maksimum pişme sıcaklığı (1350-1500°C) ve pişme süresinin (2-5 dk) olduğu belirlenmiştir. Elde edilen ürünlerin su geçirgenliği (%1 den az), ateşleme genleşmesi (> %100 hacimce) ve dökme yoğunluğunun (0,5-0,7 g/cm^3) olduğu ve bazı ilginç tüflerin hafif agrega üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Topçu ve Boğa (2004), yapılan çalışmalarda, bor atıkları çimento içersinde ve harç üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada atık katılarak üretilen numunelerle elde edilen dayanımların TS 19 ve TS 26'da istenilen çimento dayanımlarını sağladığı görülmüştür.

Yamık ve ark. (2004), Emet kolemanit bor atığı, Seyitömer termik santral külü ve tuğla kili karışımının tuğla yapımında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Temin edilen numuneler öğütüldükten sonra değişik oranlarda harmanlanarak

nemlendirilmiş ve kalıplara dökülerek şekillendirilmiştir. Yapılan deneylerde bor atığı %5-20, termik santral külü %5-20 ve tuğla kili %60-90 oranında değiştirilmiştir. 25x25x115 mm boyutlarında şekillendirilen numuneler 24 saat oda sıcaklığında kurutulmuş, daha sonra etüvde 110°C de kurutulan numuneler, pişirme hızı 150°C/h olan fırında 800-1100°C arasında ayrı ayrı pişirilerek plastiklik suyu, doğrusal kuruma küçülmesi, su emme ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan testler sonunda, TSE standartlarına uygun tuğla karışımının %15 kolemanit, %15 termik santral külü ve %70 kil karışımlı tuğlalardan elde edilmiştir.

BOREN ve TÇMB (2004), ortak yürüttüğü projede kolemanitin klinkere (%10 civarında) katılmasıyla üretilen çimentonun belit tipi(erken dayanımı düşük, geç dayanımı yüksek) olduğu, mekanik mukavemetinin kür süresinin artmasıyla arttığı, hidratasyon ısısının düşük ve radyoaktivite tutma özelliğinin yüksek olduğu belirlenmiştir. 54 saat süren endüstriyel üretim sonrasında elde edilen klinkerler üzerinde yapılan mineralojik analizler sonucunda, borlu klinkerin, %6,5 kolemanit (%1,8 B_2O_3) ihtiva eden hammaddenin fırına girmesinden itibaren elde edildiği görülmüştür. Optimum koşullara %8,9-9,2 kolemanit (%2,6 B_2O_3) ihtiva eden hammadde ile ulaşılmıştır. Klinker yapısında α'-C_2S (ana faz) ve C_3A ile C_4AF fazlarının oluştuğu gözlenmiştir. Proje sonucunda kolemanit katkısı ile üretilen çimentonun 7 günlük hidratasyon ısısı 29,6 cal/gr (çok düşük ısılı çimentoların limit değeri 52,5 cal/gr) bulunmuştur. Döner fırında pişme sırasında kullanılan kömür miktarının yaklaşık 11,6 ton/saat'den 10,3 ton/saat'e düştüğü ve sinterleşmenin 1300°C'de gerçekleştiği kaydedilmiştir. Kömür sarfiyatında %11,2 azalma tespit edilmiştir. Enerji sarfiyatı %11,2 civarındadır. Klinkerin fırında pişmesi sırasında daha az yakıt (kömür) kullanılarak litre ağırlığı (LTW) daha yüksek olan klinker elde edilmiştir (LTW değeri 1377 g/litre). Böylece fırındaki toz klinker üretimi granüler yapıya dönüşmüştür. Elde edilen ürünlerin nötron tutma özelliği oldukça yüksektir.

Gennaro ve ark. (2005), hafif beton üretiminde katkı malzemesi olarak sarı tüften üretilen agregalar kullanılmıştır. Sarı tüfün hafif ağırlıklı genleşmiş agrega üretiminde iyi davranış gösterdiği belirlenmiştir. Agregaların dökme yoğunluğu (0,9-1,1 g/cm^3) olup bu özellikleri veren agregaların kilden üretildiği ifade edilmektedir. Sarı tüften üretilen agregaların fiziksel karakterizasyonu için; boyut analizi, ağırlık

kaybı, yoğunluk, 30dk-24saat sonrası su absorpsiyonu ve parça dayanımı testleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan agrega, kum-çimento ve su ile karıştırılarak küp beton bloklar yapılmış ve 28 gün sonraki dayanımlarına bakılmıştır. Elde edilen dayanım değerlerinin uygun standartlarda ve incelenen parametrelerin İtalya'da ticari olarak satılan malzemelere uygun olduğu belirlenmiştir.

Keleş ve ark. (2005), çalışmalarında gerek borojips ve gerekse konsantrasyon atığı klinkere ilave edilerek elde edilen çimentoların prizlenme süreleri, basınç dayanımları, çekme dayanımları ve radyasyon geçirgenlikleri ölçülmüş ve portland çimentosu ile mukayese edilmiştir. Bu maksatla havada kurutulmuş olan atıklar 100 meş elekten geçecek şekilde öğütülmüş ve Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen klinkerle değişik oranlarda karıştırılarak çimentolar elde edilmiştir. Bu çimentolar modüler kum ve suyla karıştırılmasıyla elde edilen harçlar 4x4x12 cm boyutlarında kalıplara doldurulmuş ve beton örnekler elde edilmiştir. Beton örnekler üzerinde yapılan mekanik ve fiziksel testler sonucunda %5 atık ilavesine kadar mukavemet değerleri portland çimentosu ile elde edilen örneklerden yüksek bulunmuştur. %5 atıktan sonra mukavemet değeri giderek azalmaktadır. prizlenme süresi atık arttıkça artmaktadır.

Kartal ve ark. (2005), silikat seramik bir massede kullanılan katkı yardımıyla pişirim esnasında yapıda oluşan eriyik faz artışının ürünün teknik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla porselen üretiminde kullanılan değişik kaolen, kuvars ve feldspat hammaddeleri kullanarak 1300°C'de iyi sinterlenebilen bir masse reçetesi oluşturulmuş ve bu reçeteye artan oranlarda bor ihtiva eden kalsine edilmiş bir karışım ilave edilmiştir. Jet öğütücüde öğütülmüş masse numunelerine katkı ayrı öğütülmüş olarak ilave edildikten sonra döküm yöntemiyle tablet ve çubuk şeklinde test numuneleri hazırlanıp tamamen kurutulduktan sonra bir laboratuar fırınında 1300, 1350 ve 1400°C' de pişirilmiştir. Numuneler küçülme, mukavemet ve su emme testlerine tabii tutulmuştur. Elde edilen somuçlar artan sıcaklık ve katkı oranına bağlı olarak su emmede artış, küçülmede azalma ve mukavemette düşüş olduğunu ortaya koymaktadır. Eriyik faz miktarının artması bünyenin şişmesine, porların yeniden açılmasına neden olmuştur. Neticede katkı, uygulanan sıcaklıkta sinterlenmesi iyi olan bir bünyenin özelliklerini olumsuz etkilemekte, ancak pişirim

sıcaklığının düşürülerek ayni teknik özelliklerin elde edilmesi ve maliyetin düşürülmesi olasılığı görülmeltedir.

Kantarcı ve Türkmen (2005), farklı kür şartlarında normal agrega ve genleştirilmiş perlit agregası ile üretilen betonların basınç mukavemetleri ve geçirimlilik katsayıları zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Betonun bağlayıcı dozajı 450 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0,35 alınmıştır. Üretilen beton örnekleri, deney gününe kadar 5 farklı ortamda kür edilmiştir. Sertleşmiş beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları, 28. günde ve geçirimlilik katsayıları, 28, 56, 90, 120 ve 150 günlerde ölçülmüştür. Sonuçta perlit miktarı arttıkça numunelerin birim ağırlıkları azalmıştır. Beton numunelerinin geçirimlilik katsayıları, ortamın nem durumuna ve perlit oranına bağlı olarak değişmiştir.

Topçu ve ark. (2005), Bu çalışmada, hem yalıtım açısından hem de hafif beton elde ederek bina ağırlığını azaltmak amacıyla, ortaya çıkan gazbeton kırıklarının (GKA) beton üretiminde agrega olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada PÇ42,5R Portland Çimentosu, nehir kumu, 4-16, 16-32 mm tane boyutundaki kırmataşlar ve bu iki farklı kırmataş yerine %0, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanılarak betonlar üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde mekanik, fiziksel özelik deneyleri yapılarak yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip betonların üretilip üretilmeyeceği araştırılmıştır. GKA kullanılması ile beton dayanımlarında ve birim ağırlıklarında düşme gözlenmiştir.

Topçu ve Boğa (2005), çalışmalarında betonda mekanik özelliklerin yanı sıra uzun süreli servis ömürlerinin olması için dayanıklılığın çok önemli olduğu bilinmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda bor atıklarının çimento içersinde kullanılabilirliği ve mekanik özelliklere olan etkileri üzerine durulmuştur. Bundan dolayı bu çalışmada tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan bor atıklarının harçlar içersinde, belli oranlarda çimento ile yer değiştirerek kullanılması ile harçların dayanıklılığının değişimleri incelenmiştir. Dayanıklılıkla ilgili olarak, sülfat etkisi, klor etkisi, donma deneyleri yapılıp bunların harçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Üretilen numunelerde deneyler sonucunda oluşan ağırlık kayıplarının yanı sıra mekanik özelliklerin değişimi de incelenmiştir. Sonuçta donma-çözülme,

sülfat ve klor iyonlarının zararlı etkilerine karşı %3 ve daha düşük oranlarda bor atığının kullanılmasının yararlı olacağı görülmüştür.

Yılmaz ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada Araklı civarında bulunan kil ve tüf yataklarının tuğla-kremit yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla beş farklı karışım oranına sahip malzemelerin dört farklı sıcaklıkta pişirilmesi ile en uygun karışım ve pişme sıcaklığı belirlenmeye çalışılmıştır. Her karışım için elek analizi, renk değişimi, basınç mukavemeti, kuru eğilme mukavemeti, pişmiş eğilme mukavemeti, dona dayanıklılık, zararlı manyezi ve kireç, doğrusal kuruma küçülmesi, plastiklik suyu ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan karışım deneyi sonuçlarından en uygun karışımımın %50 kil-%50 tüf içeren numuneler olduğu belirlenmiştir. Bu karışımdaki numunelerin 1100°C deki mukavemet ölçümleri en yüksek değere ulaşmıştır.

Kavas ve ark. (2005), kolemanit katkılı çimento numunesine ilave edilen organik katkı maddesinin (OKM), priz süreleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, ağırlıkça %90 portland çimentosu, %5 alçıtaşı ve %5 kolemanit içeren öğütülmüş hammadde karışımına ağırlıkça sırasıyla %0,1, 0,5, 1,0 oranlarında OKM ilave edilerek 4 farklı tipte klinker harç-beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere yapılan kimyasal testler, elek analizleri, blaine testleri, genleşme deneyleri, donma başlangıcı, basma dayanımı ve eğilme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik testlerden elde edilen değerler standart çimento değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta, %0,1 OKM içeren numunede priz başı ve sonu değerlerinin uzamasına rağmen 2-7-28 günlük basma ve eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Bununla birlikte %0,5 ve 1,0 oranında OKM katkılı numunelerde ise değişmeyen eğilme ve basma dayanımı değerlerine rağmen priz başı ve sonu değerlerinde 9,8 kat kısalma görülmüştür.

Kavas (2006), bor atıklarını kil ve ince atık şeklinde ayrı ayrı %5, %10 ve %15 oranlarında kırmızı tuğlaya katkı maddesi olarak karıştırarak tuğla dayanımını incelemiştir. En iyi dayanımın %15 oranında sağlandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anonim (2006), perlitin silisli ve alüminyumlu bileşikler içermesi nedeniyle kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite

gösterdikleri için geniş çapta kullanılmakta ve kalsiyum bağlayıcılar çimentoda ekonomi sağladığı gibi dayanıklılığı da arttırmaktadır.

Karasu ve ark. (2006), Kırka bor işletmesi atıklarının ZrCMS cam-seramik sistemlerde değerlendirilerek yüksek aşınma dayanımlı firitlerin üretilmesi, sonrasında geliştirilecek frit esaslı sırlarla, porselen karo bünyelerinin kaplanması amaçlanmıştır. Atıkların, CaO, MgO, SiO_2, B_2O_3 içermesi belirtilen cam seramik sır sistemlerinde değerlendirilmelerini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, Kırka bor işletmesinin atıklarının herhangi bir sır hayasına sebep olmaksızın değerlendirilebileceği görülmüştür. Sistemde kullanılan atıkların matlığı arttırıcı etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sır olgunlaşma kabiliyeti ve hızlı pişirim porselen karoların sırlanmasında kullanılabileceği görülmüştür.

Erdoğmuş ve ark. (2006), Emet Espey bölgesi kolemanit konsantratör atığı ve Karabük Demir-Çelik atığı olan yüksek fırın cürufunun birlikte çimentoya katkı maddesi olarak ilave edilmesiyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu katkıların çimento üretiminden kaynaklanan enerji giderlerinin azaltılması ve çimentonun mekanik özelliklerine katkı sağlaması da bu çalışmanın hedefleri arasındadır. Portland çimentosu klinkerine değişen oranlarda kolemanit atığı ile değişen oranlarda yüksek fırın cürufu ilave edilerek katkılı çimentolar elde edilmiştir. Kullanılan katkıların çimentonun priz süresi, hacim genleşmesi, basınç dayanımı gibi özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Bu atıkların çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Topçu ve ark. (2006), harçlarda ve betonda mekanik özelliklerin yanı sıra uzun süreli servis ömürlerinin olması için dayanıklılığın çok önemli olduğu bilinmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda bor atıklarının çimento içersinde kullanılabilirliği ve mekanik özelliklere olan etkileri üzerinde durulmuştur. Bundan dolayı bu çalışmada tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan bor atıklarının çimento yerine kullanılması ile üretilen harçların yükaek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları incelenmiştir. Sonuç olarak yüksek sıcaklığın zararlı etkilerine karşı %3 ve daha düşük oranlarda bor atığı kullanımının yararlı olacağı görülmüştür.

Yamamoto ve ark. (2006), yaptıkları çalışmalarda %39 ve %50 su-çimento-uçucu kül oranında harç örnekleri hazırlamışlardır. %39 su-çimento-uçucu kül içeren

harç karışımlarına %3 oranında süper plastikleştirici eklemiştir. Örneklerin kür işlemlerini farklı yollarla gerçekleştirmiştir. Örnekleri 18 saat boyunca 80°C deki su içinde bekletmiştir. Hazırladığı örneklerin özgül yüzeyini ve basınç dayanımını belirlemiştir. Sonuç olarak, gerek %39 içeren karışım gerekse %50 su-bağlayıcı oranı ile hazırladığı harç örneklerinin basınç dayanımı oldukça yüksek değerler göstermiştir. Ayrıca, ince uçucu kül içeren harçların basınç dayanım değeri bütün kür sürelerinde diğer uçucu kül içeren harçların basınç dayanım değeri bütün kür sürelerinde diğer uçucu kül içeren harçların basınç dayanım değerinden daha yüksek çıkmıştır. Harç içersindeki su miktarının çimentonun hidratasyonunun yanı sıra uçucu külün reaktivitesini etkilediğinin belirtmiştir.

Özder ve ark. (2006), çalışmada Emet-Hisarcık yöresinden alınan kolemanit belirli oranlarda, sır reçetesine girilip sırda ergitici olarak kullanılmıştır. Düşük sıcaklıklarda erimeyi kolaylaştıran kolemanit ham sır yapımına olanak sağlamaktadır. Kolemanitin sır içersinde ergitici olarak kullanılması sırdaki kullanılan frit oranının düşürülmesine olanak sağlamış, böylece sır maliyeti aşağıya çekilmiştir. Üretimde kullanılabilecek özellikleri gösteren frite hazırlanmış bir sır referans olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak, hazırlanan reçeteler, referans sır ile mukayese edilmiş, ham sır yapımım gerçekleştirilmiş ve sır maliyeti %32 oranında düşürülmüştür.

Abi ve ark. (2006), yaptıkları çalışmada kordiyerit oluşumu üzerine borik asit katkısının etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada ağırlıkça, %81,51 kaolen, %11,89 magnezya, %6,6 alümina içeren kordiyerit reçetesi hazırlanmış, daha sonra bu karışıma ağırlıkça %15 oranında vaks katılarak karıştırma makinesinde karıştırılmıştır. Bu karışıma ağırlıkça %1, 2, 3 oranlarında borik asit katılarak hazırlanan dört ayrı reçete kalıplama makinesinde şekillendirilmiştir. İkinci aşamada numuneler 1100, 1200, 1300°C'de 2 saat süreyle sinterlenmiştir. Üçüncü aşamada ise sinterlenmiş numunelere pişme küçülmesi, su emme, üç nokta eğme dayanımı testleri uygulanmış, XRD ve SEM ile faz analizleri ile mikroyapı incelenmiştir.

Erdoğan (2007), yaptığı doktora tezinde Nevşehir ve Toprakkale bölgesi pomzasının jeolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirledikten sonra yapı malzemesi olarak uygun karışım oranlarında betonlar üretmiştir. Daha sonra

betonların mühendislik özellikleri belirlenerek standartlara uygunluğu araştırılmıştır. Beton deneylerinden sonra, uygun birim hacim ağırlığa sahip Nevşehir asidik pomzasından bimsblok üretilmesine karar verilmiştir. Dört farklı tip ve boyutta üretilen bimsblokların fiziksel ve mekanik özellileri belirlenmiştir. Ayrıca, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde oluşturulan ısı ve ses izolasyonu laboratuarında beton ve briket örneklerinin yalıtım karakteristikleri incelenmiş ve endüstriyel alanda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deney sonuçlarından Nevşehir ve Toprakkale pomzasından üretilen beton ve briketlerin yapı sektöründe gerek depremsellik açısından gerekse ısı ve ses izolasyonunu sağlaması açısından oldukça uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir.

Sayın ve ark. (2007), tinkal cevheri ve kolemanit atıklarının seramik yapıştırıcısı ile su yalıtım malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Araştırmaların sonucunda, tinkal cevherinin malzeme üzerinde mukavemet arttırıcı bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Su yalıtım malzemesinde ise, karışıma katılan atık kolemanit mineralinin tuzlu su ve kapiler su geçirgenlik testlerinde olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Kopma mukavemetlerinde ise bir problem yaşanmamıştır. Elde edilen ürünlerde standartlara yakın ve daha yüksek su yalıtım oranları elde edilmiştir. Tuzlu su testinin sonuçlarında bor atıkları ile oluşturulan her çalışma, denizel şartlarda tuzlanmayı büyük oranda önleyeceği gözlenmiştir. Ayrıca, elastikiyet testleri değerlendirildiğinde önceki çalışmalarda olumlu sonuç veren numunelerin elastikiyetlerinde problem çıkmadığı görülmüştür.

Köseoğlu (2007), tuğla hammaddesi içersine belirli karışım oranlarında talaş ve strafor katarak tuğla üretim çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, talaş ve kil karışımında oluşan tuğlalarda basınç dayanımının talaş miktarı arttıkça azaldığı ve strafor katkılı tuğlaların basınç dayanımlarının örnek numuneden fazla olduğu görülmüştür. Ancak, strafor katkı miktarı arttıkça tuğlaların dayanım değerlerinin düştüğü belirlenmiştir. Üretilen tuğlalarda talaş miktarı arttıkça su emme miktarının arttığı ve strafor katkılı tuğlalarda azaldığı ifade edilmektedir. Çalışmanın neticesinde daha detaylı çalışmalar ile strafor katkılı hafif tuğla üretilebileceği düşünülmektedir.

BOREN ve DSİ (2007), ortak yürüttüğü projede, üretilen kolemanit katkılı çimentonun mühendislik özelliklerini araştırarak kütle betonu uygulamalarındaki avantajlarını belirlemişlerdir. Yapılan laboratuar çalışmalarında kütle betonu yapılarında erken dayanım aranmadığından bu tür yapılarda borlu çimentonun kullanılmasının avantaj sağlayabileceği yapılan dayanım testleri ile belirlenmiştir. Normal portland çimentosunun basınç dayanım gelişimini 28 günde büyük ölçüde tamamladığı buna karşın borlu çimentoda gelişimin 90, 180 ve hatta 360 günde dahi devam ettiği görülmüştür. Deney sonucunda mekanik mukavemet değişimi zamana bağlı olarak (2, 7, 28, 90, 365 gün ve 18, 42, 65, 77, 81 MPa) bulunmuştur. Deney sonuçları irdelendiğinde, özellikle hidratasyon ısısının normal portland çimentosundan veya Deriner ve Ermenek barajı gövde kütle betonunda kullanılmakta olan uçucu küllü çimentoya (%65 portland çimentosu + %35 uçucu kül) kıyasla oldukça düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında bu tür çimentonun kütle beton yapılarda ve sülfat etkisine maruz yapılarda kullanılmasının uygun olacağı ifade edilmektedir.

Batar ve ark (2007), yaptıkları çalışmalarında bir seramik fabrikasının kullanmış olduğu standart duvar karosu bileşimine tinkal cevheri, kolemanit atığı ve taban külü ilave edilerek farklı özellikte duvar karoları elde edilmiştir. Deneylerde, değişen oranlarda taban külü, kolemanit atığı ve tinkal cevheri katkılı bileşimlerin yanı sıra karşılaştırma amaçlı olarak seramik fabrikasının duvar karosu üretiminde kullandığı masse kullanılmış ve taban külünün her iki bor bileşimi ile birlikte massede kullanıldığında ne gibi sonuçlar vereceğini incelemiştir. Deney sonuçları, kolemanit atığı ve taban külü içeren karolarda pişme mukavemetinde azalmalar olmasına rağmen tinkal cevheri ve taban külü içeren karolarda pişme mukavemetinde artışlar gözlenmiştir. Tinkal içeren numunelerin mukavemet değeri, kolemanit atık içeren karolardan daha yüksektir. Bu, tinkal cevheri içeren karolardaki flux malzemelerin (Na_2O, K_2O, Fe_2O_3), kolemanit atık içeren karolardan daha yüksek olmasına bağlanmaktadır. Taban külünün artışına paralel olarak su emmede yavaşça artmaktadır. Tinkal içeren karolarda çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Buna karşın kolemanit atık içeren karolarda çatlaklar gözlenmiştir.

Abalı ve ark (2007), hafif tuğla yapımında, fosfojips ve bor konsantratör atıklarının kullanımını araştırmışlardır. Katkı malzemesi olarak kullanılan atıklar bandırma fosforik asit fabrikası ve bor konsantratörün den elde edilmiştir. Çalışmada 220 deney ve 3 değişik malzeme kombinasyonu (orijinal atık ve normal tuğla kili), (yıkanmış ve zenginleştirilmiş atık ve normal tuğla kili) ve (katkısız normal tuğla kili) kullanılmıştır. Deneylerde atık ekleme hızı, ateşleme hızı ve ateşleme sıcaklığı gibi parametreler kullanılmış ve doğal kurumanın kısaltılması, su absorbsiyonu ve ağırlı kaybı değerleri kaydedilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde fosforik asit fabrikası endüstriyel atıkları ve bor atıklarının üretilen malzemelerin kuruma zamanının kısalmasına, ağırlık kaybı ve su absorbsiyonu bakımından tuğlanın performansını arttırdığı belirlenmiştir.

Topçu ve Işıldağ (2008), diğer bir çalışmalarında, yüksek ısı iletkenliği direnci olan perlit katkılı kil tuğlaların üretimini araştırmışlardır. Perlit termal, hafif ve akustik izolasyon özellikleri mükemmel malzeme olup tuğla üretiminde hafif agrega olarak kullanılmıştır. Isı iletkenliği direnci yüksek kil tuğlalar perlit ilave edilerek üretilmiştir. Çalışmalarda Eskişehir bölgesi kil ve perlitleri kullanılmıştır. Perlit tuğla üretiminde bağlayıcı malzemeler olarak çimento, jips, kireç, bitüm ve kil kullanılmıştır. Farklı standart boyutta üretilen tuğlaların perlit-kil oranları, birim hacim ağırlıkları, basınç mukavemet oranları, hacim düşmesi ve ısı direnç özellikleri araştırılmış ve özellikleri en iyi olan karışım kombinasyonları belirlenerek fiyat optimizasyonu yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, en iyi ısı direnci ve basma mukavemet değerlerinin (%24-30) perlit içeren kombinasyonlarda olduğu görülmüştür. %30 perlit kullanıldığında ısı iletimi 0,185 kcal/mh°C (standart tuğlalarda 0,40 kcal/mh°C) ve basma mukavemet değeri 2,6 MPa (standart tuğlalarda 2,4 MPa) olduğu belirlenmiştir. Bu değerler incelendiğinde üretilen kil tuğlalara katılan perlit miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı ve ısı iletim özelliği iyileşmekte ancak basma dayanım değerleri standartlara göre kötüleşmektedir.

Cordeiro ve ark. (2008), portland çimentosunu bağlayıcı, şeker kamışı külü ve kuvars külünü mineralojik katkı olarak seçmiştir. Şeker kamışı külü ve kuvars külünün kimyasal özelliklerini belirlemiş ayrıca şeker kamışı külü ve kuvarsın Rietveld metoduna göre XRD analizlerini gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, şeker

kamışı külü içeren harçların basınç dayanımı ile özgül yüzeyi arasında doğrudan bir ilişki bulunduğunu tespit etmiştir. Yüksek yoğunluk gösteren şeker kamışı külleri ayni zamanda yüksek basınç dayanımı ve yüksek puzolanik aktivite göstermiştir. Şeker kamışı külündeki SiO_2 yüzdece kuvars külündeki SiO_2'den daha düşük olmasına rağmen kuvars külü katkılı harçların 28. gün basınç dayanımı, şeker kamışı külü katkılı harçların 28. gün basınç dayanımından %31 daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

Demir ve Başpınar (2008), hafif yapı malzemesi üretiminde, uçucu kül, kireç, jips karışımının teknik özelliklerine silika tozu ve genleşmiş perlit katkısının etkisi araştırılmıştır. Değişik puzolan katkılarının çimentosuz hafif bloklara(uçucu kül, kireç ve jips karışımından yapılmış) etkisi araştırılmış ve fiziksel, mekaniksel, termal özellikleri ve mikro yapıdaki değişim gözlenmiştir. Genleşmiş perlit katkısı ile karışımın termal iletkenliği iyileşmekte ve optimal dayanım-termal iletkenlik birlikteliği silika tozunun genleşmiş perlit ile birlikte kullanıldığında elde edilmektedir. Daha iyi dayanım özellikleri hidrotermal iyileştirme koşulları ve süper plastikleştirici katkı ile elde edilmektedir.

Linn ve ark. (2008), çalışmalarında atıkların yakılması ile ortaya çıkan fırın taban külü, cürufu ve portland çimentosunu malzeme olarak seçmiştir. Portland çimentosu yerine %10, %20 ve %40 oranlarında fırın taban külü veya cürufunu ikame ederek katkılı çimento örnekleri hazırlamıştır. Kontrol için katkısız portland çimentosu kullanılmıştır. Katkılı ve portland çimentosu ile hazırladığı küp örneklerinin basınç dayanımını 1, 3, 7, 28, 90 günde belirlemiştir. Sonuç olarak, portland çimentosuna göre, katkılı çimentoların priz başlangıç ve sona erme süreleri, katkı oranlarının artmasıyla orantılı olarak artmaktadır. Basınç dayanımı erken yaşlarda düşük çıkmasına rağmen 28 ve 90. günlerde yükseldiği belirlenmiştir.

Durmuş ve Şimşek (2008), yaptıkları çalışmada beton kilitli parke taşları üretim çalışmalarında uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu külün parke üretiminde kullanılması ve daha iyi parke taşı üretimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, %10-20-30-40 oranlarında uçucu kül çimento yerine ikame edilerek parke taşı hazırlanmıştır. Üretilen parke taşlarına yarmada çekme, su emme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Sonuçta, tuzlu su küründe, erken yaşlarda, yarmada çekme dayanımını

arttırırken ileriki yaşlarda düşürmüştür. Ayrıca, kilitli parke taşında uçucu kül, oranı arttıkça, aşınma kaybı değeri artmakta su emme oranı ise azalmaktadır.

Roulia ve ark. (2008), yaptığı çalışmada boyanın ham perlite, genleşmiş perlite, bentonit ve diğer killer üzerine adsorbsiyon özellikleri karakterize edilmiştir. Killerin daha etkin adsorblayıcı oldukları görülmüştür. Perlitlerin boya tutulumu Ph ve sıcaklıkla daha az arttığı ifade edilmektedir.

Tanyıldızı ve Coşkun (2008), araştırmalarda uçucu kül ve silika tozunun katkılı yapısal hafif betonun yüksek sıcaklık altında dayanım değişimi incelenmiştir. Karışımlar hem deneysel hem' de istatistiksel olarak incelenmiş ve %0-30 arasındaki oranlarda uçucu kül kullanılmıştır. Üretilen beton numuneler 200-800°C arasında pişirilerek mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Morsy ve ark. (2009), çalışmanın amacı fabrikasyon öncesi binalarda kullanılan hafif yapısal yalıtım panelleri üretmektir. Yapı malzemesi üretiminde termal yalıtım için nano yapılı zonolit, çimento yüzey bileşikleri ve nano yapılı çimento bileşiklere, zonolit katkısı ile üretilen malzemelerin termal direnç ve endirekt çekme dayanımı incelenmiştir. Üretilen karışımların uygulanması uygun mekanik performans ile termal direncin gelişmesini hedeflemektedir. Çalışmada zonolit dozajı çimento-nano kil karışımına değişik dozajlarda (%40 ağırlığa kadar) eklenerek uygun suyu alana kadar hazırlanmaktadır. Islak karışımlar PVC silindirik kalıplarda kalıplanmakta ve üretilen numuneler 105°C ve 24 saat kurutularak 28 günlük termal direnç ve endirekt çekme dayanımları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda %40 zonolit katkısının termal direnci 2,9 kat arttırdığı görülmüştür.

Yaprak ve ark. (2009), araştırmalarında mineral katkıların ilavesi beton ve harçların taze ve sertleşmiş haldeki performansını arttırır. Isıl işlem uygulandığında kilden puzolanik malzeme elde etmek olasıdır. Bu çalışmada, yeterli incelikte öğütülmüş tuğla atıkları %0, 10, 15, 20, 25, 30, 35 ve 40 oranlarında çimento yerine çimento harcı içersine katılarak harç numuneleri üretilmiştir. Karışımların priz başlangıç ve bitiş süreleri ile hacim genleşmeleri belirlenmiştir. Laboratuar ortamında olgunlaştırılan numuneler 7, 28 ve 90. günün sonunda basınç ve eğilme testleri uygulanmıştır. Katkı oranlarındaki artış kıvam suyunu arttırmış, priz süresini

kısaltmıştır. Basınç dayanımı kontrol harcı ile kıyaslandığında, %10 katkılı harçlarda artış ve %15 katkılı harçlarda benzer değerleri verdiği görülmüştür.

Cachim (2009), tuğla agrega katkılı betonların mekanik özelliklerini araştırmıştır. Parçalanmış tuğlaların doğal agrega ile yer değiştirmesi ile elde edilen betonun özelliklerini belirlemiştir. Tuğlalar uygun agrega elde edebilmek için parçalanmış karışıma katılmış ve beton bloklar üretilmiştir. Elde edilen malzemelerin çalışabilirlik, taze betonun yoğunluğu, basınç dayanımı, gerilme dayanımı ve elastizite modülü belirlenmiştir. Agregaların yer değiştirme oranı (%15-30) ve su/çimento oranı (0,45-0,5) bulunmuştur. Sonuçlar değerlendirildiğinde seramik atıklarının betonda agregalar ile kısmi yer değişiminde kullanılabileceğini ve %15 yer değişimi için betonun mekanik özelliklerini değiştirmeyeceğini ancak %30 yer değişiminde beton dayanımında %20 civarında düşme olduğunu tespit edilmiştir.

Batar ve ark. (2009), katkı malzemesi olarak %0-5 perlit, %0-2,5 atık kağıt, %0-5 kalsine tinkal (boraks) ve %3,5-17,7 atık kalsine tinkal kullanarak sıva malzemesi üretmişlerdir. Deneylerin sonucunda, optimal karışım oranları %3 perlit, %1,5 atık kağıt ve %7,1 atık kalsine tinkal olarak bulunmuştur. Üretilen malzemelerin mukavemet ve ısı geçirgenlik direnç deneyleri yapılmış ve mevcut sıva malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. En iyi sonuçları veren karışım oranında üretilen malzemenin ısı iletkenlik değeri 0,17 W/mK ve mukavemet değeri 61,44 kg/cm^2 olarak tespit edilmiştir.

Binici ve ark. (2009), yatıkları çalışmalarda, tekstil fabrikalarının atığı olan ve ayni zamanda çevresel kirlilik oluşturan külün, yüksek mukavemetli tuğla üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Kül ile birlikte, yüksek oranda silisyum içeren ve ülkede çok miktarda bulunan pomzaların da tuğla üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Katkısız ve kül ile pomza katkılı tuğla üretilmiştir. Temin edilen kül, bazaltik pomza ve kilin kimyasal içerikleri ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, tuğlaların değişik iklim koşullarındaki davranışları deneysel olarak ortaya konmuştur. Tuğla örnekleri 700, 900 ve 1050°C sıcaklıkta 8 saat süreyle pişirilmiştir. Üretilen tuğlaların yoğunlukları, Zaralı kireç ve magnezi, büzülme, su emme, basınç, eğilme dayanımları, ultrasonik ses geçiş hızları ve SEM taramaları yapılmıştır. Test sonuçları standart değerlerle de karşılaştırılmış ve yeterli

düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Tuğla üretiminde 900°C civarında pişme sıcaklığında atık kül ve pomza kullanılması halinde üstün nitelikte tuğla üretilebileceği görülmüştür.

Özdemir ve Uğurlu (2009), bu çalışmada boraks üretiminde ortaya çıkan katı atıkların çimento içersinde uçucu kül ve valkanik tüf ile birlikte katkı maddesi olarak değerlendirilmesi ele alınmıştır. Deneylerde uçucu kül, ve volkanik tüf gibi puzolanlar ile çimentodaki kil pestili kullanım oranının arttırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda önce kil pestili ile uçucu kül ve daha sonrada valkanik tüf ile değişik karışımlar üzerinde deneyler gerçekleştirilerek en iyi puzolan+kil pestili karışımları saptanmıştır. Sonuçta, kil pestilinin çimento içersinde bu puzolanlar ile %10-15 oranında kullanılabileceği belirlenmiştir.

Yazıcı ve ark. (2009), çalışmalarında, stoneware bünye ve sırına farklı oranlarda ilave edilen Emet bor işletmesi 3 mm baraj atığının etkisi ve atık malzemelerin endüstriye ve ekonomiye geri kazanımı incelemek amacıyla yapılmıştır. Laboratuar ölçekli çalışma, atık malzemenin karakterizasyonu, dökümle şekillendirme, sırlama, pişirim (1040°C ve 980°C) ve ürünlerin karakterizasyonundan oluşmuştur. Sonuçlar, atık katkısının ürünlerin özelliklerini önemli ölçüde etkilediğinin göstermiştir.

Sayın ve ark. (2009), çalışmalarında bor ve perlit katkılı izolasyon liflevhası üretilmiştir. Üretilen liflevhaların kalınlık, yoğunluk, ısı iletkenliği, eğilme direnci, kalınlık yönündeki şişme yüzdesi, yüzeye dik çekme direnci ile akustik özellikleri ölçülmüştür. Ayrıca, SEM ile liflevhaların mikroyapısı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, ayni koşullarda üretilen bor ve perlit içermeyen liflevhalarla karşılaştırılmıştır. Üretilen liflevhaların yoğunluk, eğilme direnci, yüzeye dik çekme direnci, kalınlığına şişme yüzdesi, ısı iletkenlik katsayısı ve akustik ölçümlerinin sınır değerleri arasında olduğu görülmüştür. Şahit liflevha karışımım referans alındığında, özellikle yalıtım değerlerinde, katkılı üretilmiş tüm liflevhaların daha iyi özelliği sahip olduğu görülmüştür. Mühendislik özellikleri en iyi olan numuneler, %15 ısı yalıtımı sağlayacağı görülmüştür.

Bideci ve Bideci (2009), perlit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmalarda, İmrahor bölgesinden alınan tuğla

kili ve Cumaovası işletmesinden alınan perlit malzemeleri kullanılmıştır. TSE 705 standardında verilen tuğlanın mekanik özellikleri göz önüne alınarak, farklı karışım oranlarındaki deney numuneleri 800, 900 ve 1000°C sıcaklıklarda pişirilerek, daha sonra standart testlere tabi tutularak uygun tuğla üretimi yapılmaya çalışılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, %10, %20, %30 perlit katkısıyla mekanik özellikleri yerine getirebilen ürün elde edilemediği görülmüştür.

Kırgız, (2009), çimento endüstrisinde üretilen klinkerin ham karışımı endüstriyel atıklardır. Ayrıca, çimento yerine mineralojik ikameler veya klinkere yapılan mineralojik katkılar çimento özelliklerini geliştirmektedir. Düşük sıcaklıklarda ve kısa sürede üretilen çimentolarla yapılan fiziksel, kimyasal ve mekanik deneylerin verileri doğal kaynaklar kullanmadan endüstri atıkları ile çimento üretilebileceğini göstermiştir. Bu çimentoların en belirleyici özelliği olan 28. Gün basınç dayanımının EN 196-1 standardında belirtilen sınır değerlerden yüksek olması bu metotlarla üretilen çimentoların kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir.

Sarıışık ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada yalıtımlı izolasyon bloğunda(powerblok), mevcut durumda kuru birim hacim ağırlığını düşürmek için, pomza agrega katkılı powerblok örnekleri üzerinde bir dizi teknik inceleme yapılmış olup, tek boşluklu duvar hafif blok elemanlarının analiz sonuçları irdelenmiştir. Bu kapsamda yalıtımlı izolasyon bloğunun birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, ısı ve ses yalıtım analizi, başlangıç kayma bağ dayanımı ve sıva tutuculuk özelliği belirlenmiştir. Sonuçta yalıtımlı izolasyon bloğunun birim hacim kütle değeri 562 kg/m^3, basınç dayanımı 30,54 kg/cm^2, ses yutuculuk değeri 60 dB, ısı iletkenlik katsayı değeri 0,088 W/mK ve sıva tutuculuk özelliği çok iyi olarak tespit edilmiştir.

Kılıç (2009), silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıların, atık beton agregası kullanılarak elde edilen betonların özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan atık beton agregası gerekli granülometrik eğrilere sahip olmadığından dolayı, Isparta-Atabey agregasıyla uygun granülometriyi sağlayacak şekilde karıştırılmıştır. Karışımlarda, silis dumanı %6, 8, 10, 12 ve 14, uçucu kül ise %10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında, ağırlıkça çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılmıştır. Çalışmada, elek analizi, tane yoğunluğu, su emme, birim hacim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak, silis dumanının dayanım arttırıcı katkı maddesi olarak kullanılmaması gerekiyorsa, karışımda %12 oranında silis dumanının, süper akışkanlaştırıcı özelliğe sahip yüksek oranda us azaltıcı kimyasal katkısıyla birlikte kullanılması önerilmektedir. Uçucu külün ise atık beton agregası kullanılarak üretilen betonlarda su gereksinimini azaltmak ve işlenebilirliği arttırmak amaçlı olarak, karışımda %10-20 oranlarında kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Bideci ve ark. (2009), farklı hammaddelerin tuğla üretiminde, kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için İmrahor bölgesi tuğla fabrikalarından alınan tuğla kili, diatomit tesislerinden alınan diatomit hammaddesi ve Cumaovası perlit işletmesinden alınana genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Diatomit ve perlit agregalarında ayrı ayrı %0, %10, %20, %30 oranlarında karışım hamurları elde edilmiştir. Elde edilen deney numuneleri, 800, 900 ve 1000°C sıcaklıkta pişirilmiştir. Uygun tuğla üretimi için, pişirilen deney numuneleri üzerinde su emme, dona dayanıklılık ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların neticesinde, %20 diatomit katkılı ürünleri 900°C' de pişirilmesi ile gerekli meaknik özellikleri sağlayan ürün elde edilebileceği görülmüştür.

Temiz (2009), hafif ağırlıklı numunelerin üretilmesinde beyaz çimento, öğütülmüş bims tozu, Afşin-Elbistan Termik Santral uçucu külü kullanılmıştır. Numunelerin, eğilme ve çekme dayanımlarını arttırmak için atık tekstil liflerinden yaralanılmıştır. Hafif beton numunelerinin su içeriği, kuru birim ağırlığı, basınç dayanımı, eğilmede-çekme dayanımı, ısı iletkenlikleri, ses geçirgenlikleri, ateş direnci ve su emme ile mikro yapı özellikleri saptanmıştır. Belirlenen test sonuçlarına göre, 28 günlük numunelerin en yüksek basınç dayanımı, 20,9 Mpa bulunmuştur. En düşük ısı iletim katsayısı değeri 0,34 W/mK, en düşük ses geçirgenlik hızı 2,52 km/sn, en düşük birik ağırlık 1,19 g/cm^3, en yüksek su emme oranı %17,5 bulunmuştur. SEM resimlerinin incelenmesiyle, bims tozu ve uçucu kül katkılı numunelerde çimentonun reaksiyon ürünlerinin meydana geldiği anlaşılmıştır.

3. ÇALIŞILAN MALZEMELERLE İLGİLİ BİLGİLER

Tez çalışmasının bu bölümünde perlit, bor ve kil hakkında güncel bilgiler verilmiş ve hafif yapı agregalarının genel karakteristik özellikleri incelenmiştir. Ullusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) tarafından desteklenmiş bor katkılı malzeme projeleri hakkında kesitler sunulmuştur.

3.1. Perlit

3.1.1. Perlitin Tanımı ve Genel Yapısı

Perlit asidik karakterli volkanik bir camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığında inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen perle kelimesinden türetilmiştir. Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, genleştirildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen bir kayaçtır. Perlit kelimesi hem ham perlit hem de bunun genleştirilmesiyle elde edilen ürünler için kullanılmaktadır.

Çeşitli perlit kayaçları renk ve yapı itibariyle birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilmektedir. Genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik, hidrasyona uğramış camsı silika yapısındaki %2,5 arasında bileşik halinde içerdiği sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır. Perlit 750–1200°C arasında ani olarak ısıtıldığında bünyesinden çıkan buharın etkisiyle genleşerek camsı tanelerden oluşan bir köpük agregasına dönüşür. Perlit ilk hacmin 20 katına kadar genleşebilmektedir. Bu ürüne genleşmiş perlit denir (DPT, 2001).

Gözeniklilik, perlit taneciklerindeki boşluk hacminin toplam tanecik hacmine oranının ortalaması olarak tanımlanır. Gözeneklilik perlite emicilik ve yüzeyde soğuma özellikleri kazandırmakta ve bu nedenle bu özelliğin gerekli olduğu uygulama alanlarında kullanımı önem taşımaktadır. Su kirliliğini giderme çalışmaları, ısı ve ses yalıtımının istendiği durumlarda tercih edilen bir malzemedir.

TS 3682 standartalarına göre genleştirilmiş perlit, sünger ve köpük görünümlü silikat esaslı birim hacim ağırlığı 1 gr/cm^3'den küçük camsı doku

gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, genleşmiş perlitlerin beton yapımında elverişli hale getirilmiş şekline perlit agregası ve hafif yapı malzemesi olarak kullanım şekline perlitli beton adı verilmektedir.

Perlitin arazi şartlarında çıkatıldığı haline ham, 0-2,5 mm aralıklı eleklerden geçirilerek boyutlandırılmasına tasnif edilmiş ve 700-1200 °C sıcaklıkta bünye suyunu kaybederek, patlaması sonucunda tane hacminin 20-30 katına kadar büyümesine genleştirilmiş perlit denilmektedir. Şekil 3.1'de perlitin ham, tasnif edilmiş ve genleştirilmiş hali görülmektedir.



Şekil 3.1. Perlitin üç hali, a; ham, b; kırılımş-öğütülmüş, c; genleştirilmiş

3.1.2. Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Perlit en çok renk benzerliği ve kimyasal bileşimi olarak pomza ile karıştırılmakta olup bazı durumlarda pomzadan ayırt edilmesi zorlaşabilmektedir. Perlitik pomza veya pomzalı perlit olarak adlandırılan geçişli kayaçlarda gözenek yapısı ve petrografik analizler neticesinde ayrılabilmektedir.

Perlitde gözenekler genelde birbiri ile bağlantılıdır. Perlitin içerdiği gözenekler camsı bir zarla yalıtılmış olup gözle görülebilecek boyutlardan,

mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda değişim göstermektedir. Bu sebepten dolayı, suda bile yüzme özelliği olan, yalıtımı yüksek hafif bir kayaçtır.

Dogal tasların yapılarda kullanım yerlerinde dogal etkenlerin etkisi ile olusabilecek degisimlerde, malzemenin kimyasal bilesiminin önemli bir rolü bulunmaktadır. Bu nedenle, malzemenin kimyasal bilesimleri, laboratuar imkanlarına göre konvansiyonel veya aletsel analiz yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Dogal taşlar için kimyasal bilesiklerden CaO, MgO, SiO_2, CO_2, rutubet ve SO_2 yüzdeleri belirlenir. Bununla beraber, boyar oksitlerden Fe_2O_2, TiO_2, Cr_2O_3 ve Al_2O_3 analizleride yapılmaktadır. Bu değerlerin belirlenmesinde, analiz irdelemelerinin kulanımı tercih edilmektedir. Çizelge 3.1'de perlitlerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Perlitlerin fiziksel özellikleri (ÖİK, 2001)

Tanım	Konkoidal, sferidal kırıklı camsı volkanik kayaç
Renk	Beyaz, gri ve tonları, genleşince tümüyle beyaz
Sertlik (Mohs)	5–6
Özgül ağırlık	2200–2400 kg/m3
Gevşek yoğunluk	32–400 kg/m3
Yumuşama noktası	871–1093 C°
Ergime noktası	1260–1343 C°
Özgül ısı	0,2 cal/g C°
Isı iletkenliği	0,04 W/Mk
Refraktif indeks	1,5
PH	6,5–8

Nitrat sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır. Çizelge 3.2'de perlitin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 3.2. Perlitlerin genel kimyasal özellikleri (ÖİK, 2001)

Bileşim	**Miktar (%)**
SiO_2	71,0–75,0
Al_2O_3	12,5–18,0
Na_2O	2,9–4,0
K_2O	0,5–5,0
CaO	0,5–2,0
Fe_2O_3	0,1–1,5
MgO	0,02–0,5
H_2O	2,0–5,0

Çizelge 3.2'den de görüldüğü üzere perlit içindeki silis oranının yüksek olması aşıdırıcılık özelliği katıp beyazımsı bir renk almasını sağlamaktadır. Düşük yoğunluklu perlitler bu özelliklerinden dolayı, inşaar sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. Diğer taraftan perlit ve pomzalar bünyesinde bulunan alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum bileşenlerinin bulunması nedeniyle yapı malzemesi üretimine uygun olduğu ve yüksek mukavemet isteyen inşaat sahalarında yer döşemelerinde yapısal özelliklerinden dolayı oldukça kullanılabilir bir özellik göstermektedir (Gündüz ve ark, 1998).

3.1.3. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Perlit cevheri açık işletmecilik metodu ile genellikle patlatılarak üretilir. Daha sonra kırma-öğütme-sınıflandırma işlemlerini takiben genleştirme işlemi yapılmaktadır. Tuvenan cevherinin ocağa yakın bir yerde ilk kaba kırmadan geçirilip gerekli tane iriliğine getirilmesi, genleşen perlitin ise hafif fakat hacimce büyük olduğundan pazar alanlarına yakın yerlerde tesisler kurularak genleştirme işlemi yapılması ekonomik bulunmaktadır. Perlitin hazırlanmasında önemli hususlar şunlardır; perliti nodüllerine ayırmak veya küp şeklinde taneler elde etmek, kabuk dokusunu bozmadan sadece gerekli tane iriliğine kadar kırmak ve istenen tane boyuna göre ayırmak olarak belirlenmiştir.

Perlit genellikle kolayca kırılabilen iyi öğütülebilen bir kayaçtır. Ancak tane dağılımı kırma darbelerine bağlı olduğundan, kırıcı ve öğütücü seçimi özel dikkat gerektirir. Perlit hazırlama tesislerinde gerekli işlemler kırma, ön öğütme, kurutma, öğütme, ince öğütme ve boyutlandırma şeklinde sıralanmaktadır.

Perlitle ilgili talep alanları değişik boyutlara yöneldiğinden öğütmede esneklik önem taşımaktadır. Çeşitli kullanım alanlarının gereklerine paralel olarak perlit talebinin genel olarak aşağıdaki gruplarda göre bir ağırlık taşıdığı söylenebilir;

- 0–0,5 mm; 0,3–1 mm; 0,3–1,6 mm (0,3 mm altındaki miktar maksimum %8)
- 0–0,4 mm; 0–2,2 mm; 0,4–1,2 mm; (0,3 mm altındaki miktar %10)
- 0,3–2 mm (0,3 mm altındaki miktar %40)
- 0,8- 1,6 mm; 0–2 mm; 1,2–2 mm (0,3 mm altındaki miktar %40)

Öğütülmüş, boyutlanmış ham perlit 400°C 'ye kadar bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Daha sonra 700–1200°C arasında sıcaklığı olan bir ortama verildiğinde içindeki suyun buhar halinde çıkmasıyla kısa sürede mısır gibi patlayarak hacmi 4-30 kat artar. Bu şekilde genleştirilmiş perlit, çok gözenekli ve hafif camsı bir yapıya dönüşür. Bu malzeme inşaat sektöründe ısı ve ses yalıtım özelliğinin üstün oluşu nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir

Perlit genleştirme tesisleri hammadde depolama, genleştirme, ayırma ve paketleme olmak üzere üç üniteden oluşmaktadır. Genleşme tesisinde kullanılacak fırının tipi perlitin cinsine ve istenen ürüne göre değişmekle birlikte son yıllarda sabit, dikey fırınlar tercih edilmektedir (DPT, 2001).

3.1.4. Türkiye Perlit Yatakları

Ülkemizdeki önemli perlit rezervleri Tersiyer-Erken orta Kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde yoğunlaşmıştır. Genel olarak riyolitik volkanizmalarla ilgilidir. Doğu Anadolu'daki Sarıkamış perlitleri genç neojen riyolitik volkanizmaları ile ilgili olarak doğrudan bu akıntılarla teşekkül etmiş, riyolit lavların, riyolitik tüf ve diğer volkanik tortular içerisinde geniş alanlara yayılmıştır.

Güneydeki Mescitli Köyü civarından başlayıp Keklik Deresinin her iki tarafında yayılarak Sarıkamış yakınlarına kadar 15 km'lik bir uzanım gösterir. İç Anadolu'daki Nevşehir perlitleri ünlü Acıgöl krateri civarında plio-kuvaternere ait tali domlar şeklindedir.

Ege Bölgesi perlitleri, Menderes ve Karaburun masifleri arasında kalan mesozoik bir kıvrımın miyosen riyolitik volkanizmaları ile ilgilidir. Menderes (Cumaovası) perlitleri Murattepe ile Karadağ arasında yer yer kesintili olarak 10 km boyunca uzanır. Cevher yataklarının derinliği 25–90 m arasındadır (Balay, 1992).

Türkiye perlit rezervi 4,5 milyar ton düzeylerindedir (Yiğit, 1992). Bu rakam tahmini dünya rezervlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Türkiye perlit rezervinin dağılımı Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye perlit rezervlerinin sağılımı (DPT, 2001)

Bölge	Rezerv (mümkün) Bin Ton
Ankara- Çamlıdere	8,000
Ankara-Çubuk	32,000
Ankara- Kızılcaham	34,200
Balıkesir-Evrindi	25,000
Balıkesir- Savaştepe-Sındırga	47,000
Bitlis-Adilcevaz-Tatvan-(Van-Erciş)	1,400,000
Çankırı-Orta	30,000
Çanakkale-Biga	3,400
Eskişehir-Seyitgazi	20,000
Erzincan-Merkez	27,000
Erzurum-Pasinler	100,000
İzmir-Bergama	16,500
İzmir-Dikili	8,000
İzmir-Foça	16,500
İzmir-Menderes (Cumaovası)	160,000
Kars -Sarıkamış	1,500,000
Manisa-Demirci-Soma	18,600
Manisa-Saruhanlı	18,000
Nevşehir-Acıgöl	862,000
Nevşehir-Derinkuyu (Niğde-Gölcük)	350,000
Toplam	**4,576,200**

3.1.5. Dünya Perlit Yatakları

Dünyada önemli perlit rezervleri Tersiyer-Erken orta Kuvaterner yaşlı volkanik bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ülkeler ve bölgeler için perlit rezervleri Çizelge 3.4' de verilmiştir. ABD, Ermenistan, Japonya, İtalya, Türkiye, Yunanistan perlit kaynakları bakımından zengin ülkelerdir.

Çizelge 3.4. Dünya perlit rezervleri (Bolen, 2004)

Ülkeler	Görünür Rezerv (milyon ton)
ABD	50
Diğer	5
Kuzey Amerika Toplamı	55
Türkiye	30
Yunanistan	50
Diğer	490
Avrupa Toplamı	570
Japonya	10
Filipinler	10
Diğer	30
Asya Toplamı	80
Afrika ve Okyanusya	25
Dünya Toplam	**700**

3.1.6. Perlit Üretim Miktarı

Türkiye 2000' li yıllarda ABD, Yunanistan, Japonya ile birlikte ana üretici konuma gelmiştir (Bolen, 2008). Üretime Çin, Bulgaristan, Mozambik, Cezayir, İzlanda gibi ülkeler dahil edilmemiştir. Çin'in de önemli perlit üreticilerden biri olduğu bilinmektedir (Bolen, 2004). Çizelge 3.5' de dünya perlit üretim miktarları (ülke ve yıllara göre) verilmiştir.

Çizelge 3.5. Dünya perlit üretim miktarları (Bolen, 2008) (Bin ton)

ÜLKE	2004	2005	2006	2007	2008
ABD	508	508	454	409	434
Yunanistan	525	525	525	525	525
Japonya	240	240	240	230	230
Türkiye	134	157	260	270	270
Macaristan	66	65	71	67	70
İtalya	60	60	61	60	60
Slovakya	24	13	20	20	20
Meksika	188	92	42	41	55
İran	32	31	40	30	30
Gürcistan	45	45	45	45	45
Ermenistan	35	35	35	35	35
Diğerleri	70	77	73	84	82
Toplam	**1927**	**1848**	**1866**	**1816**	**1856**

Çizelge 3.5' den görüldüğü üzere dünya perlit üretiminde yıllara göre azalma söz konusudur. Bu azalmanın dünya üzerinde inşaat sektöründeki duraksamadan kaynaklandığı ve azalmanın zamanla devam edeceği düşünülmektedir. Ancak, perlit üretimi ülkemizde yıllara göre artmaya devam ederek 270 bin ton seviyesine ulaşmıştır.

3.1.7. Perlit Tüketim Miktarı

Dünyada üretilen ham perlitin büyük bölümünü genleştirilmiş şekilde tüketilmektedir. Genleştirilmiş perlit mükemmel ısı ve ses yalıtım özelliği nedeniyle kullanımı hayli yaygın, az yoğun yapı malzemesidir. Bu amaçla perlit tüketimi geniş ölçüde inşaat sektöründeki aktiviteye bağlıdır.

Bu nedenle perlit talebi inşaat sektöründeki gelişme ve durgunluklara paralel bir durum arzetmektedir. İklim koşulları da yapılardaki yalıtım sistemlerinin geliştirilmesine, dolayısıyla perlit kullanımına etki eden bir diğer faktördür.

Dünyanın en büyük üretici ve tüketici konumundaki ABD'de 2006 yılında genleşmiş perlit tüketimi bir önceki yıla oranla %10 azalma göstermiştir. Genleşmiş perlit tüketimindeki azalma bilhassa inşaat sektöründe göze çarpmaktadır.

ABD'de 2008 yılında tüketilen perlitin %71'i inşaat üretim ürünlerinde, %10'u tarım agregası, %9'u filtre yardımcı malzemesi, %7'si dolgu malzemesi, %3'ü diğer alanlarda kullanılmıştır. Dünyada inşaat üretim ürünlerinde kullanılan perlitin yaklaşık %70'inin izalasyon plakaları ile tavan döşemelerinde kullanıldığı belirtilmektedir (Bolen, 2008).

Ülkemiz perlit yatakları bakımından zengin kaynak ve kapasiteye sahip olmasına rağmen yurtiçi talep çok sınırlı kalmaktadır. Çok iyi bir izolasyon malzemesi olan perlit iç tüketimdeki gerekli ivmeyi bir türlü kazanamamıştır. Türkiye'deki perlit tüketiminin %60'ı inşaat, %20'si sanayi, %17'si tarım ve %3'ü diğer kullanım alanlarına ait olduğu görülmektedir (DPT, 2001).

Türkiye'de 2001-2008 yılları arasında ortalama tüvenan perlit tüketimi 65 bin ton /yıl ve genleşmiş perlit tüketimi ise 185,000 m^3 civarındadır. Bir ton kırılmış elenmiş perlitten ortalama 12 m^3 genleşmiş perlit elde edildiği düşünülürse kırılmış elenmiş perlit tüketiminin 16,000 ton/yıl civarında olduğu anlaşılmaktadır (Bolen, 2008).

3.1.8. Perlit Tüketim Alanları

Genleşmiş perlite ticari değer kazandıran en önemli özellik; az hacimdeki düşük yoğunluğu, fiziksel esnekliği, kimyasal sabitliği, düşük ses geçirgenliği, ateşe karşı dayanıklılığıdır. Perlitin tüketim alanları başlıklar halinde aşağıda verilmektedir.

- İnşaat sektörü
- Tarım sektörü
- Sanayi sektörü

- Diğer uygulamalar

Perlit genleşmiş olarak kullanıldığı gibi ham olarak da geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ham perlit kimyasal bileşimi itibariyle silisli ve alüminyumlu bileşikler içerdiğinden kalsiyum esaslı bağlayıcılar ile kimyasal reaksiyona girerek hidrolik aktivite gösterir. Bu özelliği nedeniyle inşaat sektöründe geniş çapta kullanılmaktadır. Perlit çimentoya dayanıklılık kazandırmaktadır. Bunun için ham perlit kayası kırılıp öğütülüp elendiği gibi doğal olarak agrega halinde bulunan perlit kaynakları da kullanılmaktadır. Bu şekilde doğal agrega olarak bulunan perlitin ülkemizde geniş rezervleri vardır. Ham perlitin, kırılmış-öğütülmüş ve genleştirilmiş olarak kullanım alanları şöyledir:

- Asit ve bazlara karşı dayanıklı olduğu için özellikle kanalizasyon borularının üretiminde,
- İç ve dış inşaat sıvalarında,
  Dona karşı dayanıklı olduğundan su alan inşaatlarda,
  Çatı ve terasların su izolasyonlarında,
  Yüzme havuzlarının yapımında,
  Isı izolasyonunda sıva olarak veya briket kiremit gibi izolasyonla hafif yapı elemanı üretiminde,
- Demiryollarında patinaj kumu olarak,
- Abrasiv sanayiinde aşındırıcı olarak,
- Filtre kumu ve çakıllı olarak su arıtma tesislerinde,
- Karayollarında asfalt dolgu malzemesi olarak,
- Dökümhanelerde atık koyulaştırıcı, metal temizleyici ve silis kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Perlit madenciliği genel olarak yerleşim alanlarından uzak bölgelerde yapıldığında ciddi bir çevre sorunu yaratmaz. Bu nedenle herhangi bir problem söz konusu değildir. Perlit ocaklarında açığa çıkan tozlar genellikle filtreler tarafından tutulduğundan çevre kirliliği oluşturmaz. Aslında perlitin prosesi sırasında kimyasal işlem değil fiziksel işlemler tatbik edildiğinden üretimden kaynaklanan atıklar bulunmamaktadır.

3.2. Bor

3.2.1. Bor Elementinin Tanımı ve Genel Yapısı

Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur. Elementel bor 1808 yılında Fransız Kimyacı Gay-Lussac ile Baron Louis Thenard ve bağımsız olarak İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından bulunmuştur (Roskill, 2002).

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Bor, yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur. Çizelge 3.6'da bor elementinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bor elementinin fiziksel özellikleri (Roskill, 2010)

Özellik		**Değeri**
Atom Numarası		5
Atom ağırlığı		10,811±0,005 veya 0,007
Yoğunluk (kg/m^3)		2,46
Molar Hacim (cm^3)		4,39
Ergime noktası		2190+20 °C
Kaynama noktası		3660 °C
Isıl genleşme katsayısı (25-1050 °C arası, 1 °C için)		5x106 - 7x106
Knoop sertliği		2100-2580 HK
Mohs sertliği (elmas-15)		11
Vickers sertliği		5000 HV
Entalpi (kj/mol)	Füzyon	50,2
	Buharlaşma	507

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Canlıların bu elementin varlığında evrim geçirdiği düşünülmektedir. Toprağın bor içeriği genelde ortalama 10-20 ppm olmakla birlikte ABD'nin Batı bölgeleri ve Akdenizden Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda

bulunmaktadır. Deniz suyunda 0,5-9,6 ppm, tatlı sularda ise 0,01–1,5 ppm aralığındadır. Yüksek konsantrasyonda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri olarak daha çok Türkiye ve ABD'nin kurak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bölgelerinde bulunmaktadır (ÖİK, 2006).

3.2.2. Ticari Bor Mineralleri

Doğada yaklaşık 230'dan fazla bor minerali mevcut olup, analitik bilgi teknolojilerine bağlı ekipmanların gelişimi ile bu sayının gittikçe artması beklenmektedir. Ticari öneme sahip olan bor mineralleri; tinkal, kolemanit, kernit, üleksit, pandermit, borasit, szaybelit, hidroborasit gibi minerallerdir. Bor mineralleri, yapılarında farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içerirler (ÖİK, 2006 ve Roskill, 2006). Çizelge 3.7'de ticari öneme sahip bor mineralleri verilmiştir.

Bor minerallerden en önemlisi ülkemizde bol miktarda bulunan kalsiyum boratlardan kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) mineralidir (Şekil 3.2). Kolemanit, monoklinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5, özgül ağırlığı 2,42 gr/cm^3 dür. Suda yavaş, HCl asitte hızlı çözünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Türkiye'de Emet, Bigadiç ve Kestelek yataklarında bulunmaktadır.

Diğer önemli bor mineralleri sodyum boratlardan Boraks (Tinkal) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) mineralidir. Tabiatta genellikle renksiz ve saydam olarak bulunur. Ancak içindeki bazı maddeler nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde de bulunabilir. Sertliği 2-2,5; özgül ağırlığı 1,7 gr/cm^3 dür. Tinkal, suyunu kaybederek kolaylıkla tinkalkonite dönüşebilir. Ülkemizde Eskişehir-Kırka yataklarında bulunmaktadır.

Üleksit (($NaCaB_5O_9.8H_2O$) bor minerali sodyum-kalsiyum boratlar sınıfında yer alır. Üleksit, tabiatta masif, karnıbahar şeklinde, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı, beyaz rengin değişik tonlarındadır. İpek parlaklığında olanları da vardır. Genelde kolemanit, hidroboraksit ve probertit ile birlikte oluşmuştur. Ülkemizde Kırka, Bigadiç ve Emet yörelerinde bulunmaktadır.

Ayrıca, Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$), Probertit ($NaCaB_5O_9.5H_2O$), Pandermit ($Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$) ve Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}.6H_2O$) ülkemizde bulunan önemli bor mineralleridir.

Çizelge 3.7. Ticari öneme sahip bor mineralleri (ÖİK, 2006)

Mineral Grubu	Mineral Adı	Formül	B_2O_3 (%)	Bulunduğu Yer
Hidrojen Boratlar	Sassolit (Doğal Borik Asit)	$B(OH)_3$	56,4	Doğal borik asit İlk kez İtalya'da üretilmiştir.
Sodyum Boratlar	Boraks (Tinkal)	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5	Türkiye, A.B.D., Arjantin, Bolivya, Hindistan
	Tinkalkonit(Mohavit)	$Na_2O.2B_2O_3.5H_2O$	48,8	Orta derecede kullanım oranına sahip veya aksesuar olarak kullanılmaktadır.
	Kernit (Razorit)	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	50,9	Türkiye,A.B.D.,Arjantin, Çin
Sodyum-Kalsiyum Boratlar	Üleksit (Boronatrokalsit)	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43	Türkiye, Arjantin,ABD, Bolivya, Peru ve Şili, Sırbistan, Çin
	Propertit(Kramerit)	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	49,6	Türkiye, A.B.D,
Kalsiyum Boratlar	Inyoit	$Ca_2B_6O_{11}.\ 13H_2O$	37,6	Kazakistan, Arjantin
	Meyerhoffit	$Ca_2B_6O_{11}.7H_2O$	46,7	
	Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	50,8	Türkiye, A.B.D., Arjantin, Peru, Sırbistan,Meksika
	Pandermit(Priseit)	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	49,8	Türkiye, Peru
Kalsiyum Borosilikatlar	Havlit	$Ca_2B_5SiO_9\ (OH)_5$	44,5	Meksika
	Datolit	$Ca_2B_2Si_2O_9.H_2O$	21,8	Rusya
	Danburit	$CaB_2Si_2O_8$	28,3	
Magnezyum Boratlar	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50,5	Türkiye, Arjantin, Kazakistan



Şekil 3.2. Kolemanit mineralinin genel görüntüsü

Ülkemizde Eti Maden İşletmeleri bünyesinde ticari öneme sahip rafine bor ürünleri üretilmektedir. Çizelge 3.8'de rafine bor ürünlerinin kimyasal formülleri ile birlikte B_2O_3 içeriği verilmiştir. Ayrıca ülkemizde, elementel bor, bor karbür, inorganik bor, bor halidleri, fluoboratlar, bor hidrit, organik bor bileşikleri, çinko borat ve metal borür gibi özel bor kimyasalları üretilmektedir.

Çizelge 3.8. Ticari öneme sahip rafine bor bileşikleri (ÖİK, 2006)

Bileşikler	Formüller	%B_2O_3
Boraks Pentahidrat	$Na_2B_4O_7.5H_2O$	47,8
Boraks Dekahirat	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36,5
Susuz Boraks	$Na_2B_4O_7$	69,2
Borik Asit	H_3BO_3	56,3
Susuz Borik Asit	B_2O_3	100,0

3.2.3. Dünya Bor Rezervleri

Dünyadaki önemli bor yataklarının Türkiye, Rusya ve ABD'de olduğu bilinmektedir. Dünya toplam bor rezervi (görünür+muhtemel+mümkün) 1,2 milyar ton olup, rezervin %72,2'si Türkiye'de (851 milyon ton B_2O_3), %8,5'i Rusya'da ve %6,8'i ABD'de bulunmaktadır. Çizelge 3.9'da dünya bor rezervleri ve kaynakları verilmiştir.

Çizelge 3.9. Dünya bor rezervleri ve kaynakları (Roskill, 2006)

Ülke	Görünür Rezerv (milyon ton B_2O_3)	Rezerv (milyon ton B_2O_3)	Toplam (milyon ton B_2O_3)	Toplam Rezerv Payı (%)
Türkiye	227	624	851	72,2
A.B.D	40	40	80	6,8
Rusya	40	60	100	8,5
Çin	27	9	36	3,1
Arjantin	2	7	9	0,8
Bolivya	4	15	19	1,6
Şili	8	33	41	3,5
Peru	4	18	22	1,9
Kazakistan	14	1	15	1,3
Sırbistan	3	0	3	0,3
TOPLAM	**369**	**807**	**1176**	**100**

Ülkemizden sonra, dünyanın bilinen en önemli bor yatakları ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölündedir.

Amerika'nın bor rezervinin, B_2O_3 bazında 40 milyon tonu görünür olmak üzere toplam 80 milyon ton civarındadır (Angulo, 2009). ABD'nin önemli bor mineralleri tinkal, kernit ve bor içeren tuzlu sulardır.

Rusya'nın toplam bor rezervinin B_2O_3 bazında yaklaşık 100 milyon ton olduğu belirtilmektedir. Rusya'nın bor minerallerinin tamamına yakını Japon Denizi yakınında, Primorsk'taki Dalnegorsk bor yataklarından üretilmekte ve hemen madenin yanında bulunan zenginleştirme tesisinde işlenmektedir. Kazakistan'da, Kuzey Hazar Denizindeki Inder Bölgesinde, 50 m derinlikte, %20 B_2O_3 içerikli 7 milyon ton bor rezervi mevcuttur. En önemli mineraller, szaybelit ve borasit'dir. Çin'de bor üretimi yapılan yerler; Liaoning, Jilin, Qinghe ve Xizang'tadır. Çin'in bor rezervi 36 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Rezervin %59'unu ortalama %8,4 B_2O_3 tenörlü bor ve magnezyumlu yataklar oluşturmaktadır (Roskill, 2006).

3.2.4. Türkiye Bor Rezervleri

Türkiyede bilinen borat yatakları özellikle Kırka-Eskişehir, Bigadiç-Balıkesir, Kestelek-Bursa ve Emet-Kütahya'da bulunmaktadır. Söz konusu sahalarda, 2001 yılında, brüt bazda 2,071,853,997 ton ve B_2O_3 bazında 562,577,259 ton olan Türkiye bor rezervi, Eti Maden İşletmeleri tarafından yürütülen Bor Master Arama Projesi kapsamında yapılan rezerv çalışmaları neticesinde B_2O_3 bazında %51,26 oranında artarak 850,938,893 ton ve brüt bazda %47,90 oranında artarak 3,063,635,210 tona ulaşmıştır. Türkiye'nin dünya toplam bor rezervi içindeki payı B_2O_3 bazında 2001 yılı itibariyle %64 iken 2004 yılında %72,2'ye yükselmiştir.

Türkiye'de rezerv açısından en çok bulunan bor cevherleri tinkal ve kolemanit mineralidir. Türkiye'de önemli tinkal yatakları Kırka'da, kolemanit yatakları ise Emet ve Bigadiç civarında bulunmaktadır. Bunlara ilave olarak, Bigadiç'te az miktarda üleksit rezervleri mevcut olup Kestelek gibi işletmelerde de zaman zaman üleksit yan ürün olarak elde edilmektedir. Çizelge 3.10'da Türkiye bor rezervi miktarı mineral bazda verilmektedir (Eti Maden, 2008)

Çizelge 3.10. Türkiye bor rezervleri (mineral bazda)

Mineral Tipi	Toplam Rezerv (milyon ton)	Mineral Tipinin Toplam Rezerv İçindeki Payı (%)
Kolemanit	2,264,621,057	**73,92**
Boraks (Tinkal)	750,620,373	**24,50**
Üleksit	48,393,780	**1,58**
Toplam Rezerv	**3,063,635,210**	**100,00**

Ülkemizde konsantre ve rafine bor ürünleri kurulu kapasiteleri incelendiğinde, yıllık toplam konsantre bor kapasitesi 2,450,000 ton ve rafine bor kapasitesinin 831,000 ton olduğu görülür. Eti Maden, rafine bor ürünlerinde 480,000 ton boraks pentahidrat, 55,000 ton boraks dekahidrat-penta, 185,000 ton borik asit, 1,000 ton bor oksit, 20,000 ton sodyum perborat (mono-tetra), 90,000 ton öğütülmüş kolemanit üretim kapasitesine ulaşmıştır (Çizelge 3.11) (Eti Maden, 2008).

Çizelge 3.11 Konsantre ve rafine bor ürünleri kurulu kapasiteler (bin ton/yıl)

İşletme	Ürün	Konsantre Bor	Rafine Bor
		Kurulu Kapasite	Kurulu Kapasite
Kırka Bor İşletmesi	Tinkal Konsantresi	800	
	Boraks Pentahidrat		480
Bandırma Bor ve Asit Fabrikaları İşletmesi	Boraks (Deka + Penta) Hidrat		55
	Borik Asit		85
	Bor Oksit		1
	Sodyum Perborat		20
Bigadiç Bor İşletmesi	Konsantre Kolemanit+Üleksit	650	
	Öğütülmüş Kolemanit		90
Emet Bor İşletmesi	Konsantre Kolemanit	900	
	Borik Asit		100
Kestelek Bor İşletmesi	Konsantre Kolemanit	100	
Toplam		**2.450**	**831**

Konsantre bor kapasitesinin %32'sini oluşturan ve Kırka konsantratör tesisinde üretilen tinkal konsantresinin tamamına yakını boraks pentahidrat, boraks

dekahidrat ve sodyum perborat üretiminde kullanılmaktadır. Dünya bor pazarındaki müşteri taleplerinin rahatça karşılanabilmesi için Bigadiç'te yeni bir kolemanit öğütme tesisi kurulmasına karar verilmiş olup, yatırım çalışmaları devam etmektedir. Rafine bor ürünleri kapasitesi açısından karşılaştırma yapıldığında ise 480,000 ton/yıl kapasiteli Kırka'daki boraks pentahidrat tesisinin toplam rafine bor kapasitesi içinde %57 ile en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir (Eti Maden, 2008).

Çizelge 3.12'de 2002-2008 yılları arasında toplam konsantre ve rafine bor ürünleri üretimleri verilmektedir. Satışa yönelik konsantre bor üretiminin tamamına yakını Emet, Bigadiç ve Kestelek'te yapılmaktadır. Rafine bor üretimi ise çoğunlukla Kırka'da olmak üzere Kırka, Bandırma ve Emet'te yapılmaktadır. Konsantre borlarda en fazla üretim payına tinkal ve kolemanit, rafine borlarda ise boraks pentahidrat ve borik asit sahiptir. 1998 yılından itibaren ise, öğütülmüş kolemanit üretilmeye başlanmış olup, 2008 yılında 116.411 ton öğütülmüş kolemanit ürünü üretimi gerçekleştirilmiştir (Eti Maden, 2008).

Çizelge 3.12. İşletmeler bazında yıllara göre konsantre ve rafine bor üretimi

Ürün Cinsi	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Rafine Bor Toplamı	517,554	714,538	923,000	955,000	959,243	961,000
Konsantre Bor Toplamı	1,398,663	1,697,927	1,953,000	1,978,763	1,982,891	1,975,000
Bor Ürünleri Toplamı	**1,916,217**	**2,412,465**	**2,876,000**	**2,933,763**	**2,942,134**	**2,936,000**

3.2.5. Bor Ürünleri Kullanım Alanları

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları da giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin %10 yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Çizelge 3.13'de bazı konsantre bor ve rafine bor bileşiklerinin ve Çizelge 3.14'de bazı özel bor kimyasallarının kullanım alanları verilmiştir (Kılıç ve Çelik, 2007).

Çizelge 3.13. Konsantre ve rafine bor bileşiklerinin kullanım alanları

Ürün	Kullanım Alanları
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil kalite cam elyafı, bor alaşımları, metalurjik curuf yapıcı, nükleer atık depolama
Sodyum Bor Cevherleri (Üleksit ve Probertit)	Yalıtım cam elyafı, borosilikat camlar, gübre
Tinkal	Rafine borların üretimi (deka-penta), sodyum perborat, susuz boraks, disodyum oktaborat, pentaborat, metaborat,
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları, nükleer uygulamalar, yangın geciktiriciler, naylon, fotoğrafcılık, tekstil, gübre, katalistler, cam, cam elyaf, emaye, sır, antiseptikler, kozmetik
Susuz Boraks	Gübreler, cam elyaf, cam, metalurjik curuf yapıcı, emaye- sır, yangın geciktirici, kaynak-lehimcilik,
Sodyum Perborat	Deterjan ve beyazlatıcılar, tekstil, dezenfektan ve bazı diş macunları
Disodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjanlar, zirai ilaçlama, fotoğrafcılık, tekstil
Sodyum Pentaborat	Yangın geciktiriciler, gübreler
Rafine Boraks Dekahidrat	Yapıştırıcılar
Rafine Boraks Pentahidrat	Çimento, ilaç ve kozmetikleri, korozyon önleyici, böcek ve mantar zehirleri, elektrolitik rafinasyon, gübreler, yangın geciktiriciler, cam, cam elyafı, böcek ve bitki öldürücü, deri ve tekstil
Disodyum Oktaborat Tetrahidrat	Yangın söndürücüler, gübreler, tarım ilaçları ve ağaç koruyucular

Çizelge 3.14. Özel bor kimyasalları için kullanım alanları

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için Kompozitler, Spor malzemeleri için Kompozitler
Bor Halidleri(tuzları)	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil “Finishing” Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zırai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler	Özel Kimyasalları Saflaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri
Bor Karbür, Bor Nitrür	Kesici Uçlar ve Zırh Yapımı
Elementel Bor	Roket ve Mekik Yakıtı
Çinko Borat	Yangın Geciktirici
Metal Borürler	Kaplama
B10-B11	Kanser Tedavisi ve Nötron Tutucu

3.2.6. Dünya ve Türkiye Bor Üretimi

Bor mineralleri, doğada diğer mineral ve kayaçlarla birlikte masif olarak veya çözelti olarak sularda bulunmaktadır. Dolayısıyla üretim yöntemleri de bulundukları yer ve derinliğe göre değişmektedir. Karada masif olarak bulunan bor bileşikleri, cevherin bulunduğu derinliğe ve fiziksel yapısına bağlı olarak açık ocak veya kapalı ocak yöntemi veya çözelti madenciliği yöntemi ile üretim yapılmaktadır.

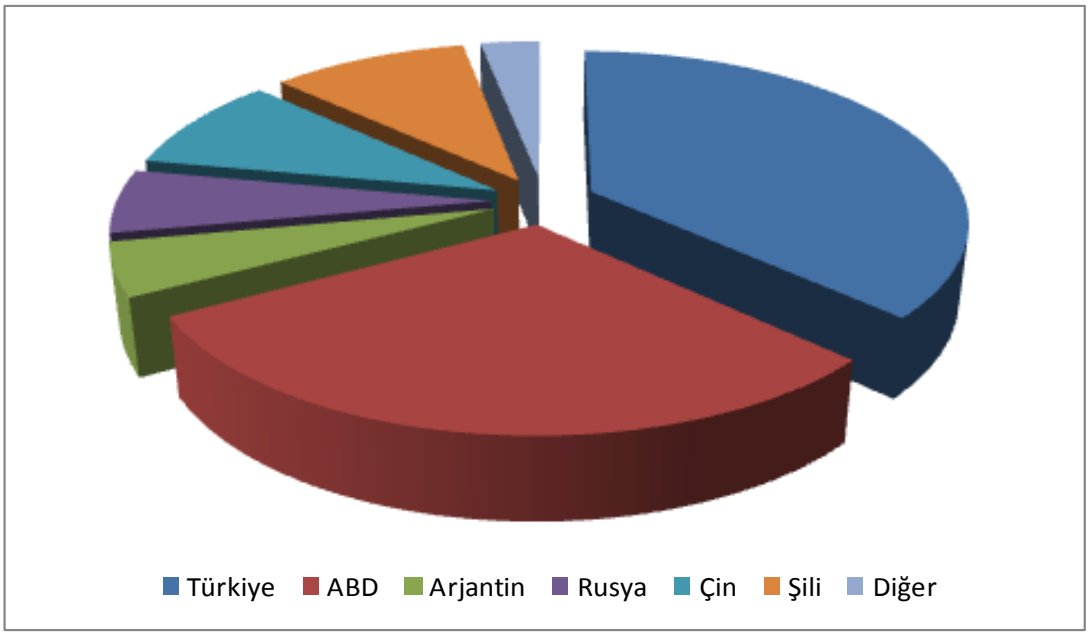
Dünyada en fazla bor minerali açık ocak yöntemi ile üretilmektedir. Cevher ve örtü tabakası, fiziksel özelliklerine göre delme-patlatma ile gevşetilir. Cevherin üzerindeki örtü tabakası eskavatör ve loderler ile alındıktan sonra cevher üretimine geçilir. Dünyada bor üretimi yapan en önemli ülkeler Türkiye (%37), ABD (%30), Arjantin (%5), Rusya (%6), Çin (%9) ve Şili (%10)'dir. Şekil 3.3'de ülkeler bazında dünya B_2O_3 üretimi verilmektedir (Roskill, 2010).

Bor cevherlerinin zenginleştirilmesinde cevherin yapısına bağlı olarak genellikle kırma, eleme, yıkama, öğütme ve sınıflandırma gibi birim işlemler uygulanmaktadır. Bu işlemler sonunda elde edilen ürünler konsantre bor ürünleri olarak adlandırılmaktadır (Kılıç ve ark, 2009).

Kolemanit konsantreleri direk cam endüstrisinde veya borik asit tesislerinde hammadde olarak kullanılmaktadır. ABD'de üretilen kolemanit ortalama %37 B_2O_3 içerikli flotasyon ürünü veya %42 B_2O_3 içerikli kalsine edilmiş ürün olarak, Türk kolemaniti ise ortalama %40-42 B_2O_3 içerikli konsantre kolemanit olarak satılmaktadır.

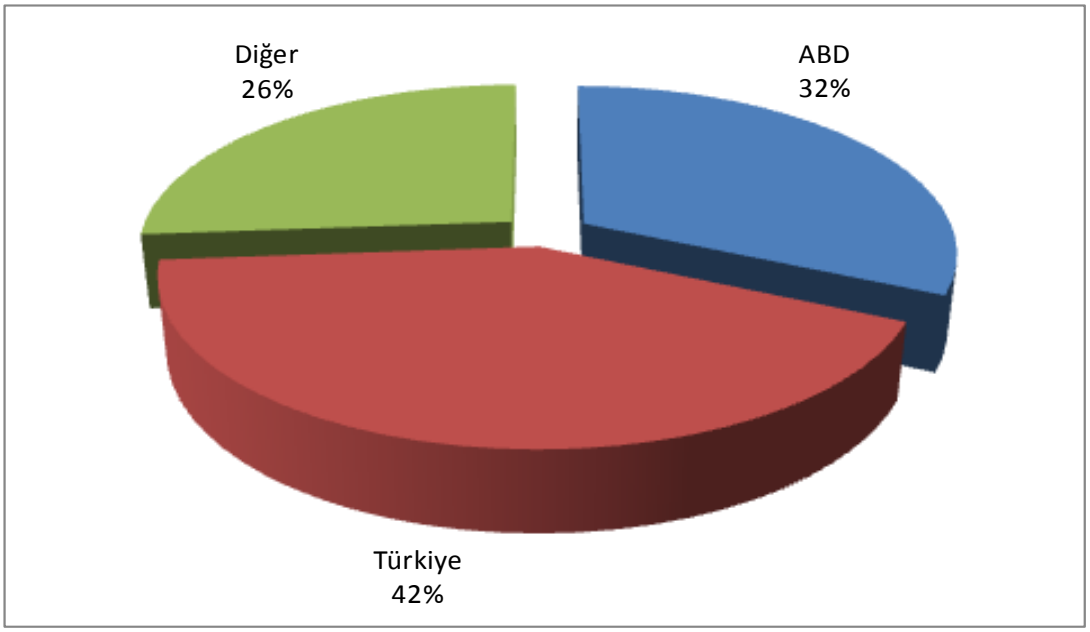
Rafine bor ürünleri, önce çözündürülerek borun çözeltiye geçmesi sağlanır. Çöktürme ve filtrasyon işlemleri ile empüritelerinden arındırılan çözeltideki bor, uygun koşullarda kristalizatörlerde kristallendirildikten sonra katı sıvı ayırımı ve kurutma işlemlerine tabi tutulur. Kristal bor türevleri kısmen veya tamamen suyu uçurularak nihai ürün haline dönüştürülür.

Dünya bor madeni üretimi 1970'de 768,000 ton B_2O_3 iken 2004 yılında ise 1,696,000 ton B_2O_3 olmuştur. Ülkemizdeki bor üretimi ise 1970'de 122,000 ton B_2O_3 iken 2004 yılında ise 670,988 ton B_2O_3 değerine ulaşmıştır. ABD'nin bor üretimi ise 510,000- 627.000 ton B_2O_3 arasında değişim göstermiştir (ÖİK, 2006).



Şekil 3.3. Ülkeler bazında dünya B_2O_3 üretimi (Roskill, 2010)

Dünyadaki bor üretim artışının en önemli etkisi, Türkiye bor üretiminin artışından kaynaklanmıştır. 2002 yılında B_2O_3 bazında dünya bor üretiminin %33'ü Türkiye'ye, %33'ü ABD'ye aitken, Türkiye'nin Dünya bor üretimindeki payı 2008 yılında %37 seviyesine yükselmiş ve 2012 yılında %42 seviyelerinde olması beklenmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.6. 2012 yılı B_2O_3 bazında tahmini dünya bor minerali üretimi (Roskill, 2010)

3.2.6.1. Dünya Üleksit Kapasitesi ve Üretimi

Dünyada üleksit üreten başlıca ülkeler Türkiye, Şili, Bolivya ve Peru'dur. Çizelge 3.15'de yıllar itibariyle dünya üleksit üretimleri verilmektedir (Roskill, 2002; Eti Maden, 2007).

Çizelge 3.15. 1995-2006 Yılları arasında dünya üleksit üretimi (bin ton)

Ülkeler	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Türkiye	173	244	264	220	205	172	188	95	116	142	147	155
Bolivya	7	9	12	16	15	43	32	40	110	110	110	110
Şili	211	149	171	280	325	338	328	431	401	401	402	405
Peru	41	39	40	40	15	9	9	7	9	9	9	10

Yukarıdaki çizelgeden görüldüğü üzere, üleksit üretimleri incelendiğinde en büyük üretim miktarının 401 bin ton ile Şili'ye ait olduğu, Türkiye ve Bolivya'nın ise ikinci sırayı paylaştığı görülmektedir.

3.2.6.2. Dünya Boraks (Tinkal) Üretimi

Dünyanın en büyük boraks (tinkal) üreticisi ülkeleri ABD, Türkiye ve Arjantin'dir. Çizelge 3.16'de dünyanın en büyük boraks üretici ülkeleri ve yıllara göre dağılımı verilmiştir (Eti Maden, 2008).

Çizelge 3.16. 1995-2006 Yılları arasında dünya boraks üretimi (bin ton)

Ülkeler	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Türkiye	465	660	805	758	765	749	592	635	671	776	781	786
ABD	543	534	581	587		1,000	1,050	1,050	1,150	1,210	1,225	1,233
Arjantin									96	100	100	100

3.2.6.3. Dünya Kolemanit Üretimi

Dünya kolemanit üretiminin tamamına yakını (%98) Türkiye'de Eti Maden tarafından gerçekleşmektedir. Diğer kolemanit üretici firmalar, ABD, Arjantin ve Peru'dur.

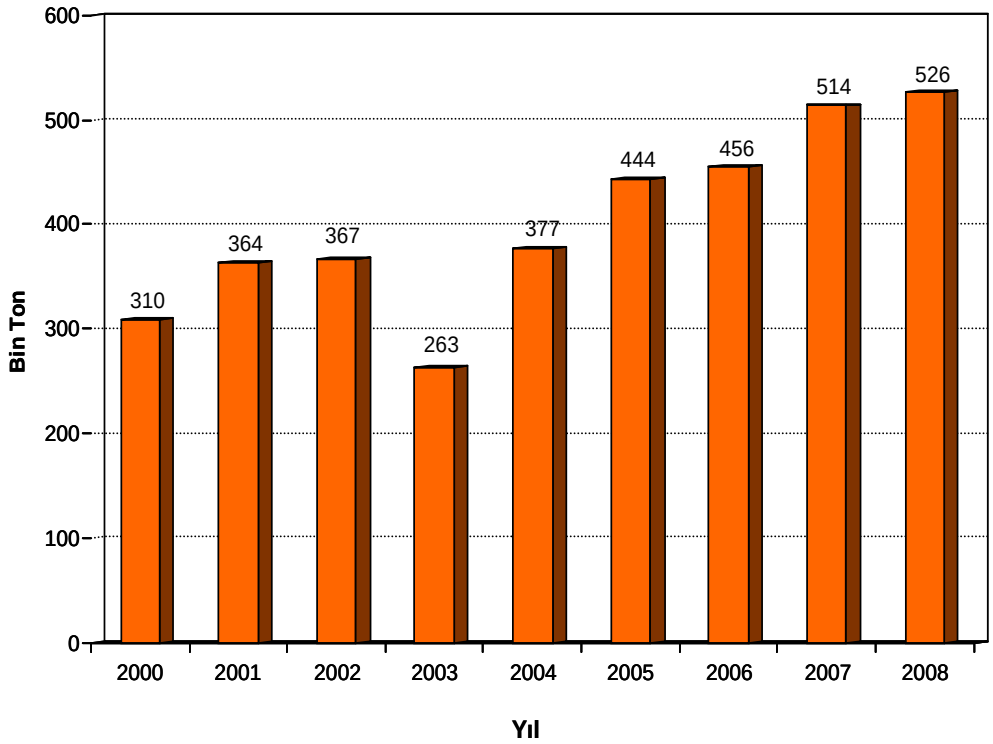
Peru ise 20 bin ton/yıllık kapasite ile %2'lik paya sahiptir. Doğal kolemanit dışında, dünyada Şili başta olmak üzere Peru'da da sentetik kolemanit üretimi yapılmaktadır.

Çizelge 3.17'de 1995-2006 yılları arasında dünya kolemanit üretimi verilmiştir (ÖİK, 2006; Eti Maden, 2008).

Çizelge 3.17. 1995-2006 Yılları arasında dünya kolemanit üretimi (bin ton)

Ülkeler	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Türkiye	526	578	654	598	566	532	697	720	718	777	785	797
Peru	10	11	11	10	8	9	9	9	9	15	15	15

Hisarcık ve Espey konsantratör tesislerinde 2007 yılı içersinde 513,898 ton konsantre kolemanit üretimi gerçekleştirilmiş olup, işletme kuruluşundan beri ulaşılan en yüksek üretim değeridir (Şekil 3.5).

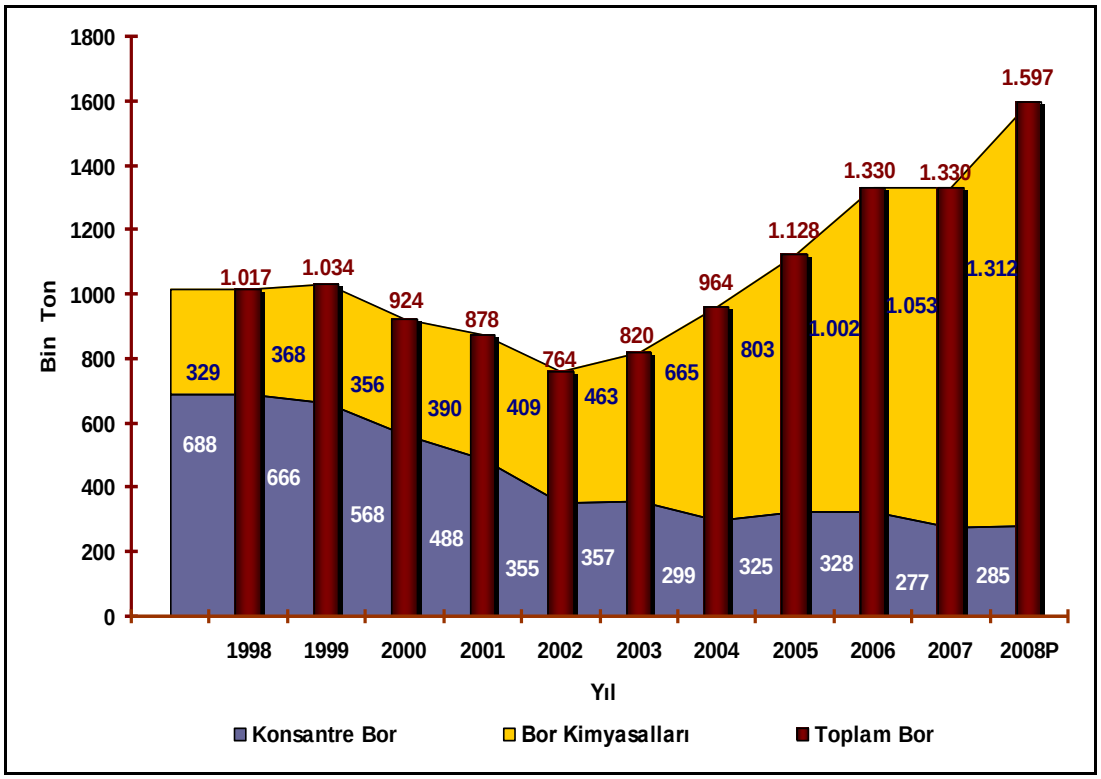


Şekil 3.5. Türkiye'de yıllara göre kolemanit konsantresi üretim miktarı (Eti, 2008)

3.2.7. Türkiye Bor Ürünleri İhracatı

Ülkemizin cevher, konsantre veya rafine olarak bor ürünü ihracatı önemli seviyelerdedir. Şekil 3.6'da bor ürünleri ihracat değerleri verilmiştir (Eti Maden, 2008). 1998-2008 yılları arasında bor satışları incelendiğinde, 2008 yılı konsantre bor satışının, 1998 yılı satışlarına göre %58,6 azaldığı ve bor kimyasallarındaki satışın ise 4,5 kat civarında arttığı belirlenmiştir.

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde deterjan üretiminde sodyum perborat tetrahidrat yerine, sodyum perborat monohidrat kullanımının artmasıyla, monohidrat ithalatında hızlı bir artış görülmüştür. Bu gelişmeye paralel olarak Eti Maden, 4,500 ton/yıl kapasiteli sodyum perborat monohidrat tesisini 1997 yılından itibaren devreye sokmuştur. Bu kapasitenin talebi karşılamaması üzerine 4,500 ton/yıl kapasite artışı yapılmıştır. 2004 yılında Sodyum perboratlar da yaklaşık 20,744 ton ithalat mevcut olup, perborat kapasitesinin 34,500 ton/yıl çıkarılması için yatırım çalışmalarına devam edilmektedir (ÖİK, 2006).



Şekil 3.6. Türkiye bor ürünleri ihracat değerleri (Eti Maden, 2008)

2007 yılı içersinde 105,000 ton borik asit üretimi planlanmış olmasına karşılık, 106,080 ton borik asit üretimi gerçekleştirilmiş olup, bu güne kadar elde edilen en yüksek üretim değerine ulaşılmıştır. Şekil 3.7'de Emet İşletme Müdürlüğü borik asit fabrikasında üretim görülmektedir. Eti Maden Genel Müdürlüğünün 2008 yılı satış geliri 600 milyon dolar ve 2012 hedefi ise 1 milyar dolar seviyesinde hedeflenmiştir (Eti Maden, 2009). İç satışlar, son yıllarda Türkiye'de bora dayalı sanayinin gelişmesi kapsamında uygulanan politikalarla artış trendine girmiş olmakla birlikte henüz çok düşük seviyededir. 2005 yılı toplam bor satışının miktar bazında %5'ini, değer bazında da %7'sini iç satışlar oluşturmuştur.

Ülkemiz bor ürünleri pazarlamasını yapan Eti Maden, yurt dışı satışlarını yurt dışındaki pazarlama şirketleri ve temsilcilik şirketleri aracılığıyla yapmaktadır. Pazarlama şirketleri, Eti Maden'in Türkiye'de ürettiği ve satışa sunduğu ürünlerle ilgili olarak faaliyet bölgesinde pazar oluşturmak, bu ürünlerin Türkiye'den ithalatını yapıp müşteriye en yakın noktalarda stoklar oluşturarak satışını ve buna bağlı olarak gerekli tüm lojistik desteği sağlayarak ürünlerin tüketiciye en hızlı ve güvenli bir biçimde ulaşmasını sağlamak amacıyla kurulmuştur.



Şekil 3.7. Emet İşletme Müdürlüğü borik asit fabrikasında üretim

Dünyanın en büyük bor pazarı; Kuzey ve Güney Amerika'dır. En çok bor tüketen ikinci bölge Asya pazarı olup üçüncü ise Batı Avrupa'dır. Ülkemiz Batı Avrupa pazarında lider konumundadır. Bu bölgede Eti Maden'in pazarlama şirketleri Etimine SA/Lüksemburg ve Etiproducts OY/Finlandiya faaliyet göstermektedir. Dünyanın ikinci büyük bor pazarı ise Uzak Doğu bölgesidir. Bu bölgeye Eti Maden'in satış ajanı olan Borochemie Int. Pte Ltd. aracılığıyla satış yapılmaktadır (Eti Maden, 2008).

3.2.8. Türkiye'nin Dünya Bor Pazarındaki Payı

Dünya bor pazarındaki dağılım itibariyle değerlendirme yapıldığında 1980'li yılların ortalarında %25,2 olan ülkemizin miktar bazındaki pazar payı %38 olmuştur (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18. Türkiye'nin yıllar itibariyle dünya bor pazarındaki payı (Eti, 2008)

Yıllar	Pay (%)
1980'ler	25,2
2001	31,0
2002	30,0
2003	30,0
2004	35,0
2005	38,0
2007	37,0
2008	40,0

Dünya bor pazarında ülkemizin ve ABD'nin iki büyük ve etkin güç olarak işgal ettikleri yerler, yıllar itibariyle pazara giren ve kapasitelerini artıran Rusya, Çin, Şili gibi ülkelerce de paylaşılmaya başlanmıştır.

Pazardaki iki büyük üreticiden biri olan US Borax firması konsantre bor ihracatı yapmamaktadır. Rafine bor üretim kapasitesinde çok önemli bir paya sahiptir. Eti Maden'in tahminlerine göre, yaklaşık 1,200 milyon dolar olan dünya bor pazarında, 2008 yılında ülkemizin miktar bazındaki satış payı %40 gelir bazındaki satış payı ise %38 olarak gerçekleşmiştir (Eti Maden, 2008).

Dünya bor pazarından daha büyük bir pazar hacmine sahip olan özel bor kimyasalları incelendiğinde, dünyada ticari değer taşıyan 300'den fazla özel bor kimyasallarının mevcut olduğu ve bu ürünlerden ancak bazılarının yüksek pazar

hacmine sahip oldukları görülmekle birlikte bunlardan özellikle Sodyum Borhidrür, Bor Triflorür, Bor Nitrür, Çinko Borat, Bor Karbür ve Disodyum Oktaborat Tetrahidrat'ın gelecekte pazar hacimlerinin artma potansiyelinin yüksek olacağı değerlendirilmektedir (ÖİK, 2006).

Hidrojenin yakıt enerjisi olarak kullanılması yönünde yapılan çalışmalar ve gelişmeler dikkate alındığında, hidrojen enerjisi üretiminde kullanılma potansiyeli yüksek ürünlerden biri olan sodyum borhidrürün gelecekteki tüketim potansiyeli, çok daha yüksek seviyelere çıkabilecektir.

Ülkemizde ise ulusal bor sanayimizin geliştirilmesi amacına yönelik olarak Eti Maden İşletmeleri tarafından 6 adet "izolasyon/tekstil tipi fiberglas, çinko borat, bor karbür, bor nitrür, ferrobor ve sır-sırça" ön fizibilite raporu hazırlanmış ve yerli/yabancı firmaların özel bor kimyasallarını ülkemizde üretmelerine yönelik yatırım yapmalarını teşvik etmek için hazırlanan ön fizibilite raporları firma temsilcilerine dağıtılmıştır.

Ülkemiz bor sanayinin geliştirilmesi için özel bor kimyasallarının mutlaka ülkemizde üretilmesi gerekmektedir. Bu çerçevede, yerli özel bir şirket tarafından bor karbür ve bor nitrür'ün deneme amaçlı üretimine başlamıştır. Ülkemiz seramik sektöründe bor tüketiminin teşvik edilmesine yönelik olarak başlatılan çalışmaların sonucu olarak yurt dışından ithal edilen yıllık 50 milyon dolarlık ithalatı kesmek için yine yerli özel bir şirket tarafından 15,000 ton/yıl kapasiteli Frit üretimi için yatırım kararı alınmış ve 2005 yılında deneme üretimine başlanılmıştır. Ayrıca Eti Maden İşletmelerince, özel sektörden özel bor kimyasalları üretimine yönelik olarak gelebilecek talepler teknik bilgi ve ham madde temini konularında desteklenecektir (Eti Maden, 2008).

Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü tarafından da özel bor ürünleri üretimi, gerek üniversiteler bünyesinde desteklenen araştırma projeleri, gerek araştırma kurumları ile birlikte yürütülen projeler, gerekse Enstitü bünyesinde yapılan çalışmalar ile geliştirilmektedir. Bu kapsamda, 2010 yılı itibariyle 64 adet araştırma projesi tamamlanmış ve 63 adet proje desteklenmeye başlanmıştır. Ayrıca, TÜBİTAK-MAM ile sodyum bor hidrür üretimi üzerine bir proje yürütülmektedir. BOREN

bünyesinde yeni ürün geliştirme çalışmaları da sürdürülmektedir (ÖİK, 2006 www.BOREN, 2010).

3.3. Kil

3.3.1. Kil Minerallerinin Tanımı ve Genel Yapısı

Killer, sulu alüminyum silikat olup bu sınıflama içerisindeki tüm mineraller için partikül boyu 1/256 mm veya 4 mikron olarak verilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda kil boyutunun 2 mikrona kadar düştüğü savunulmaktadır. Kil terimi jenezi belirtmez. Terim hem hidrotermal faaliyetin sebep olduğu bozuşma ürünleri için, hem de sedimantasyon yoluyla çökelmiş taneler için geçerli bir kavram olarak sayılmakta olup, bu tür küçük parçacıkları oluşturan minerallere göre kimyasal sınıflamalar yapılmıştır. Çizelge 3.19'da çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir (Tanışan, 1985).

Çizelge 3.19. Çeşitli kil minerallerinin kimyasal bileşimi (Vitra,2008)

Kil	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	TiO_2	H_2O	Toplam
Kaolinit	46,90	37,40	0,66	0,27	0,29	0,84	0,44	0,18	12,95	99,92
Nakrit	44,75	39,48	0,53	0,19	0,13	0,34	0,22	-	14,40	100
Dikit	46,86	37,12	1,43	0,09	0,22	0,60	0,07	0,51	12,99	99,89
Halloysit	44,75	36,94	0,31	-	0,11	0,60	-	-	17,42	100,01
Anauxit	54,32	29,96	2,00	0,14	0,32	-	0,37	-	12,64	99,75
Nontronit	40,54	5,19	31,63	0,06	1,92	0,24	0,14	-	20,75	100,47
Klorit	31,44	17,62	-	37,64	-	-	-	-	13,19	99,89
Proklorit	23,69	21,26	26,52	17,60	3,22	-	-	-	7,63	99,92
Sepiyolit	52,50	0,60	2,99	21,31	0,47	-	-	-	21,27	99,14
Atapulgit	57,85	7,89	2,82	13,44	0,30	0,08	0,53	-	16,95	99,86

Dünyada seramik, porselen ve özellikle süzülmüş kil üreticisi şirketlerin ürün standartlarının bir ortalaması olarak, fikir vermesi açısından ürün standartları tablosu oluşturulmuştur. Ancak, önemli olan fiziksel özelliklerine göre kil ile birlikte kullanılan hammaddelerin uygun kompozisyonunun sağlanması olmalıdır.

Bu nedenle kağıt üstündeki analiz değerlerinden ziyade kullanıcı şirketlerin reçetelerinin fiziksel özellikler bakımından uygunluğu daha önemlidir (ÖİK, 2001; Vitra, 2008).

Tek pişirime geçildiği bu dönemde döküm özelliği, yüzdürme özelliği, ham ve kuru mukavemeti, pişme rengi gibi özellikler her zaman kimyasal özelliklerden daha büyük önem kazanmaktadır. Çizelge 3.20'de killerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

3.3.2. Üretim Yöntemi ve Teknolojisi

Kil yatakları genellikle, açık işletme usulleri ile işletilirler. Yeraltı işletmeciliği nadir olup, daha çok şiferton yataklarında görülür. Dünya kil üretiminin büyük kısmı, açık işletme ekipmanlarının kullanıldığı, açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Daha az miktarda kil üretimi ise, kapalı (yeraltı) işletme yöntemleri ile yapılmaktadır.

Çizelge 3.20. Killerin fiziksel özellikleri (Vitra, 2008)

Özellik	Kaba Seramik	İnce Seramik	Karo kil	Bağlayıcı
Al_2O_3	25-35	20-30	20-28	32-35
Fe_2O_3	1-2	0-5	2-3	1-2
Pişme Rengi (1300ºC)	Krem	Beyaz	Kırmızı	Beyaz
Pişme Küçülmesi	5-6	3-4	5-6	%12'den az
Kuruma Küçülmesi	5-9	6	5-8	8-10
Kuru Direnç	45-55	18-20	18-20	20-25
Plastisite Suyu	20-35	30-40	20-30	35-45
Deformasyon sıcaklığı	1250	1500	1300	En az 1500
Ateş Zaiyatı	10-13	8-10	10-12	10-15

Gerek açık işletme, gerekse kapalı işletme yöntemlerinde, kil damarının kalınlığına göre makina ve ekipmanla üretimin yanı sıra, emek yoğun bir şekilde üretim de yapılmaktadır. Seramik kili üretiminin yaklaşık %90'ı açık işletme olarak yapılmakta olup, %10'luk çok az bir kısmı kapalı işletme şeklindedir.

Kilin oluşum sırasındaki şartlara bağlı olarak çok kısa mesafelerde yatay ve dikeydeğişmeler göstermesi, özellikle fayans-seramik-sıhhi tesisat, porselen ve elektro porselen yapımında kullanılan killerin harmanlanması ve homojenleştirilmesini gerektirmektedir.

Üretimi yapılan kilin kalitesine bağlı olarak, kil, tüvenan olarak kullanıldığı gibi kullanım amacına göre kilin zenginleştirilmesi de gerekebilmektedir. Bu amaçla üretilen kil, kırma işleminden sonra havuzlarda su içerisinde karıştırıcıların da yardımıyla çözülür.

Daha sonra ilkel yıkama, süzme veya hidrosiklonlar vasıtasıyla zenginleştirme işlemine tabi tutulur.

3.3.3. Dünya Kil Rezervleri

Dünyada literatür bilgileri kil ve kaolen olarak değerlendirildiği için seramik ve tuğla killerini bunların içinden genelde ülkeler bazında seçmek mümkün olmamaktadır.

2008-2010 yılları arasında toplam seramik ve tuğla kili rezervinin 80 milyar ton civarında olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.21'de dünya seramik ve tuğla kili rezervleri verilmiştir (Vitra, 2009).

Çizelge 3.21. Dünya seramik ve tuğla kili rezervleri (milyon ton) (Vitra, 2008)

Ülkeler	Miktar
İngilere	3,350
Özbekistan	10,100
Türkiye	2,730
ABD	25,350
İtalya	2,225
Almanya	7,644
Çek Cumhuriyeti	7,554
Brezilya	4,690
Ukrayna	4940
Diğer	22,237
Toplam	80,755,1

3.3.4. Türkiye Kil Rezervleri

Türkiye'de üretilen killerin ticaretinin %80'i tüvenan olarak yapılmakta, genelde boyut sınıflandırması için kurulan tesisler tüketici seramik şirketlerinde bulunmaktadır. Kil süzme tesislerinin hemen tamamı tüketici seramik şirketleri içindedir.

Seramik kili açısından Türkiye'nin 2 büyük bölgesi vardır. Söğüt ve İstanbul (Şile ve Kemerburgaz). Türkiye'de rezerv araştırması yapan en büyük kuruluş olan MTA Genel Müdürlüğü'nün her iki bölgede çalışmaları mevcuttur. Özellikle İstanbul bölgesi çalışmaları, refrakter kil amaçlı olup, seramik killerinin kullanılabilirlik alanına göre işletilebilir rezerv hesaplaması yapılmamıştır. Söğüt bölgesinde MTA tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 3.22'de Türkiyede başlıca kil üretim bölgelerinin rezervleri verilmiştir (ÖİK, 2001).

Çizelge 3.22. Türkiyede başlıca kil üretim bölgelerinin rezervleri (ÖİK, 2001)

Bölge	Fayans Kili	Seramik Kili	Döküm Kili	Tuğla Kili
Şile	30,000	8,000	15,000	-
Kemerburgaz	2,500	1,500	500	-
Küre	500	250	150	1000
Çaltı	200	150	10	250
Yakacık	350	2000	30	500
İnhisar	2000	5000	500	3500
Toplam	35,550	16,900	2,690	5,250

3.3.5. Killerin Kullanım Alanları

Dünyada çeşitli çevre sorunları ve özellikle Avrupada tek pişirim killerine ve beyaz pişen killere talebin artması, Türkiye seramik killerinin önemini arttırmıştır. Türkiye seramik kili rezervi 900 milyon ton'dur (Vitra, 2009). Türkiye seramik kili rezervi, ihtiyacı 36-40 yıl karşılayacak düzeyde olup renkli masseden ileriye doğru vazgeçildiği anda, 50 yıllık bir rezerv varlığı söz konusudur Rezerv azlığı killerin kullanım alanını kısıtlamaktadır (ÖİK, 2001).

Türkiye seramik sektörü için üretilen killerin en büyük tüketim alanı, fayans ve seramik'tir. Daha sonra, izalatör, sıhhi tesisat ve porselen sanayileri gelmektedir. Döküm kili ve kumlu killer özel killer olup, fayans ve seramikte tüketilen killerden farklı fiziksel özellikleri nedeniyle ayrılmaktadır.

Türkiye' de döküm kili ve kumlu kil üreten en önemli ve en eski bölge Söğüt Bölgesi olup, üretim miktarının artması nedeniyle son yıllarda kalite bozulmuştur. Çizelge 3.23'de killerin belli başlı kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 3.23. Killerin sektörel kullanım alanları

Pişirilen Kil Ürünleri (%45)	Diğer Tüketim (%35)
Tuğla, Kremit	Refrakter sanayi, Çimento
Drenaj boruları, Sıhhi tesisat	İlaç ve Kağıt Sanayi
Yapısal Karo, Fayans, Yer karosu	Sondaj Çamuru, Cam Elyaf
Porselen, Cam, Çini, Çömlek	Dolgu Maddesi, Lastik sanayi
Elektro Porselen	Kaplama malzemesi

Türkiye'de kil üreten şirketlerin son yıllarda tüvenan olarak Avrupaya, özellikle İtalya'ya kil ihracatları vardır. Bu killer tek pişirim seramiğe uygun mukavemeti yüksek killerdir. Avrupada kaliteli tek pişirim killerine talep ileride daha da artacaktır. Son yıllarda kil süzme tesislerinden elde edilen seramik killerinden de ihracat yapılmakta olup, miktarları düşüktür.

Çizelge 3.24'de Türkiye 2010-1014 kil üretim ve ihracat projeksiyonu verilmiştir (Vitra, 2009).

Çizelge 3.24. Türkiye 2010-1014 kil üretim projeksiyonu ve ihracatı (Vitra, 2008)

	2010	2011	2012	2013
Kil	2,876,420	2,910,527	3,055,200	3,150,000
	215,000	250,000	296,870	310,000

Planlanan bu ihracatlar, tüvenan ihracat olup, mevcut ve tesislerden süzülmüş kil ihracatı daha büyük önem kazanmaktadır. Ülkemizde 2000-2008 yılları arasında 2 milyon ton kil ihtiyacına karşılık rezervlerimiz sınırlı sayılacak düzeydedir.

Seramik sektörünün kil ihtiyacının artması sonucu, üretim miktarları artmış ve seramik sektöründe kil homojenleşmesinde problemler çıkmaya başlamıştır (Virta, 2008).

3.4. Agregalar

Agrega, çimento ve su ile birlikte betonu olusturan temel malzemelerden biridir (Erdoğan, 2007). Agregalar, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı madde yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi dogal kaynaklı veya yüksek fırın curuflu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzeme olarak tarif etmektedir.

3.4.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

a) Elde ediliş şekline göre;

- Doğal (kum, çakıl, kırmataş)
- Yapay
- Yan ürün olarak (yüksek fırın cürufu, uçucu kül agregası)
- Isıl işleme tabi tutulmuş (genleştirilmiş perlit, pişmiş kil)

b) Tane büyüklüğüne göre;

- iri
- ince
- Taş unu (filler)

c) Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre;

- Hafif ağırlıklı (özgül ağırlığı 2,4 gr/cm³'den daha küçük agregalar)
- Normal ağırlıklı (özgül ağırlığı 2,4-2,8 gr/cm³ arasında olan agregalar)
- Ağır (özgül ağırlığı 2,8 gr/cm³'den daha büyük agregalar)

Doğal agregalar, nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi doğadaki agrega yataklarından alınarak, doğadaki yapısında degişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmadan kullanılan, kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır. Yapı ağırlığının azaltılması amacıyla, hafif beton yapımında kullanılan pomza taşı ve bims gibi hafif agregalar ile yüksek dayanım isteyen yapılar için üretilen betonlarda

kullanılan hematit, barit, magnetit gibi ağır agregalar da doğal agregalar sınıfına girmektedir.

Yapay agregalar ise, beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen veya bir malzemeye ısıl işlem uygulanıp beton yapımı için uygun duruma getirilen agregalardır. Yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen agregalar, yüksek fırın cürufu agregası ile uçucu kül agregası, bir malzemeyi ısıl işleme tabi tutarak elde edilen agregalar ise genleştirilmiş perlit ile genleştirilmiş kil agregasıdır. Öte yandan, 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agrega iri agrega, bu elekten geçebilen agrega ise ince agrega olarak tarif edilmektedir (TS 706, 2003).

3.4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Betonu oluşturan malzemelerin ağırlıkça %60 ve %80'ının agrega tarafından oluşturulduğu bilinmektedir (Neville, 1995). Dolayısıyla agreganın nemi, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, kompasitesi, tane boyutu ve dağılımı, incelik modülü, tane şekli, mekanik özellikleri, yabancı ve organik madde içeriği gibi fiziksel özellikleri, beton özelliklerini önemli ölçüde etkilemekte ve bu nedenle bilinmesi gerekmektedir (Şimşek, 2004).

3.4.2.1. Agregada Su İçeriği

Agrega taneleri içerisinde iki tip bosluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyin de ince çatlaklar şeklinde oluşmuş veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla baglantılı olan su geçirgen boşluklardır. Bu tür boşlukların içerisine su girip çıkabilir. Diğeri ise, agrega yapısından gelen, agrega taneleri içerisinde oluşmuş olan "su geçirmez boşluklar" olarak ifade edilir.

Agrega tanelerinin, karşı karşıya kaldıkları ıslanma ve kuruma durumlarına göre, "su geçirgen boşlukların içerisinde hiç su bulunmayacagı gibi, bu boşlukların içerisi kısmen veya tamamen su dolu ve taneler suya doygun olup, tanelerin yüzeyi bir miktar su filmi ile kaplı da olabilir.

Agrega tanelerinden oluşan agrega yığını, içerdigi su miktarına göre Şekil 3.8'de gösterilen dört degişik durumdan birisine sahiptir.

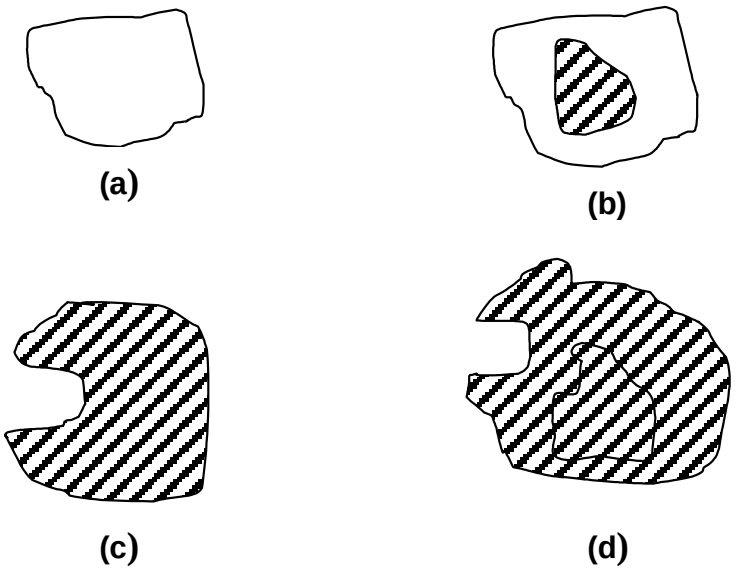
Agrega tanelerinin içerdikleri su oluşumu;

a) agreganın içerisinde hiç su olmadıgı tamamen kuru durum,

b) agreganın su geçirgen boşluklarının içerisinde bir miktar suyun oldugu hava kurusu durum,

c) su geçirgen boşluklarda tamamen su bulunduğu fakat agrega tane yüzeyinin kuru olduğu doygun - yüzey kuru durum,

d) su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve aynı zamanda tanelerin yüzeyinde bir miktar su filminin bulunduğu ıslak durum (Brooks, 1993).



Şekil 3.8. Agrega tanelerinin içerdikleri su durumu (a. tamamen kuru, b. hava kurusu, c. doygun yüzey kurusu, d. Islak)

Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agrega su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için %1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.

3.4.2.2. Birim Hacim Ağırlık

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa "gevşek birim ağırlık" ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise "sıkışık birim ağırlık" denir. Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir. Agreganın birim hacim ağırlığına etki eden faktörler;

- Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. boşluk miktarının az olması birim ağırlığı arttırır.
- Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
- Agrega belirli hacme sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır.
- Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agrega ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar.

Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığı 1300–1850 kg/m^3 arasında değişir. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur.

3.4.2.3. Özgül Ağırlık

Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır.

Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2–2,7 kg/dm^3 arasında olması istenir. Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar.

Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

3.4.2.4. Kompasite

Agreganın kompositesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir.

Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür. Agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir;

- Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur,
- Kullanılan çimento miktarı artar,
- Betonun maliyeti yükselir,
- Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur,
- Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır.

3.4.2.5. Su Emme

Dogal yapı malzemelerinin su emme oranının tayini için bulundugu sahanın degisik yerlerinden alınan numuneler önce yıkanıp etüve yerlestirilerek 105°C de kurutulur ve ayrı ayrı 0,01 gr hassasiyetinde tartılır. Tartılan numuneler bir kaba konularak numunelerin 1/4 ü su içinde kalacak sekilde su ilavesi yapılır. İki saat ara ile numunelerin 1/4 ünü kaplayacak oranda su ilave edilir. Bu numuneler, tamamen

üzerlerini örtecek miktarda su ilave yapıldıktan sonra iki gün su içinde bekletilirler. Doygun hale gelen numuneler tartılır.

3.4.3. Agreganın Mekanik Özellikleri

Agregaların Mekanik özelliklerinin tespiti için dayanımlarının ve aşınma dirençlerinin bilinmesi gerekmektedir. Yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için mekanik dayanımı belirli değerlere ulaşan agregalara gereksinim vardır. Bu nedenle agregaların tane dayanımlarını da belirlemek gerekir.

Agrega tane dayanımı, alındığı kayacın incelenmesi ile yaklaşık olarak degerlendirilebilir. Ayrıca, TS 706 EN 12620'ye göre agreganın basınç dayanımının 1000 kgf/cm^2'den az olması durumunda agregaların aşınma dirençlerinin deneylerle saptanması gerekmektedir.

Agregaların aşınmaya karşı mukavemeti, beton agregalarında aşınmaya dayanıklılık aşınma oranı tayini metodu isimli standartta verilen yöntemle tespit edilmektedir. Bu yöntem, en yaygın ismiyle "Los Angeles Aşınma Deneyi" olarak bilinmektedir.

3.4.3.1. Agreganın Basınç Mukavemeti

Basınç mukavemetinin malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega mukavemetini arttırır. Agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 600 kgf/cm^2 olması istenir.

3.4.3.2. Agreganın Aşınma Mukavemeti

Yol ve hava meydanlarındaki beton çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı büyük mukavemete sahip olması gerekir.

Basınç dayanımının 1000 kgf/cm^2 den az olması halinde, kuşkulu durumlarda veya yapay agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyleri sonuçlarına bakılır. Bilyalı Tanburla (Los angles aşınma cihazı) yapılan aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde 100 devir sonunda %50'den az, darbe ile aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde aşınmaya maruz beton yapımında kullanılacak agregalar için %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'en az kayıp bulunmuş ise, agrega yeterli olarak kabul edilebilir.

Deneyler sonunda saptanan kayıpların bu değerlerden büyük olması halinde söz konusu agrega ile beton yeterlik deneyi yapılmalıdır.

3.4.3.3. Agreganın Çarpma Dayanımı

Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Basınç deneyinden pek farklı olmayan çarpma deneyinde agrega çelik bir silindir içine yerleştirilir ve belirli bir mesafeden belirli bir ağırlık belirli sayıda düşürülmek suretiyle malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Elekten elenmek suretiyle çarpma etkisi altında agreganın dayanıklılığı hakkında fikir edinilebilir.

3.4.4. Agreganın Tane Boyutu ve Dağılımı

Agrega yığınındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agrega içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agrega üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agrega granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir.

Agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su miktarını tanelerin boyutu ne olursa olsun aynı kalınlıkta su filmiyle kaplı bulunduğunu kabul edilerek hesaplamak

doğru değildir. Taneler irileştikçe daha büyük kuvvetlerin etkisi altında bulunmalarından dolayı daha kalın bir su filmiyle çevrelenmesi gerekir.

3.4.5. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi

Agrega tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregalar oluşumları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun) oranı, 8mm tane büyüklüğündeki agrega içinde ağırlıkça %50 den fazla olmamalıdır. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agrega yığınının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulamamasıdır. Sonuçta taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelir (Şimşek, 2004).

Yuvarlak doğal agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırma agregaya göre) daha küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kırma agregalar köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür.

Kırma agregalar konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve çivi türü biçimsiz taneler içerirler. Bunun mahsuru ise betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğin güçleşmesidir. İşlenebilirliği sağlamak için daha çok su gerekecektir. Kaliteli beton yapımında kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir.

3.4.6. Agregada Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler

Agrega içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genişlemesine neden olur. Betonun parçalanmasına yol açar. Bir kısmı da agrega ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına engel olur ve beton dayanımı düşer. Şeker vb. maddeler betonun prizini geciktirici etki yapar. Nitrat gibi tuzlar donatının korozyonuna yol açan olumsuz etkiler meydana getirebilir.

Organik maddeler zayıf asit karakterindedirler. Agrega içerisindeki bitki artıkları ve humus gibi bazı organik maddeler çimentonun hidratasyon reaksiyonuna etki eden organik asitleri içerirler. Bunun yanında agrega içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddelerde değişik formlarda bulunabilirler.

Agregalarda organik madde içeriği basit bir asit-baz reaksiyonu ile denetlenir. Düşük konsantrasyonlu %3'lük NaOH eriyiği ile karıştırılan agrega, eriyik rengini 24 saat içinde değiştirir. Bir süre sonra eriyiğin aldığı renge göre organik madde içeriği belirlenir.

3.5. Bor Katkılı Yapı Malzemeleri

Dünyanın birçok yerinde ve farklı alanlardada kullanılan katkılı yapı malzemeleri üretimi bulunmaktadır. Bu katkılardan biriside bor mineralidir. Yapı malzemelerin de katkı malzemesi olarak kullanılan bor, ürünün özelliğine bağlı olarak kimi zaman yangın geciktirici özellik, bağlayıcılık, saydamlık ve kimi zamanda üretimde enerji sarfiyatı sağlayarak maliyet düşürücü gibi özellikler sunmaktadır. Bor mineralleri özellikle fiberglas, cam ve seramik sanayisinde pişme sıcaklığının düşmesine ve pvc, tuğla, sıva gibi yapı malzemelerinde bağlayıcı ve yalıtım amaçlı kullanılmaktadır.

Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN)'de, yukarıda bahsedilen çalışma konularıyla ilgili olarak ve farklı bor bileşikleri kullanarak proje çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının bu kısmında yapılan proje çalışmalarının bazılarından örnekler sunulmuş ve bor bileşiklerinin etkileri incelenmiştir.

3.5.1. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosunun Özellikleri ile Klasik ve Kütle Betonlarında Kullanılabilirliği (Türk Tipi Çimento-TS13353)

Günümüzde sürdürülebilir gelişme için enerji, doğal kaynaklar ve çevrenin korunması üç önemli olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada toplam CO_2 emisyonunun yaklaşık %7'si portland çimentosu üretimi esnasında meydana gelmektedir. Borlu Aktif Belit (BAB) çimentosu ile CO_2 emisyonunda %25'lere

varan oranlarda azalma ve enerjide de yaklaşık %10 civarında tasarruf sağlanmaktadır. Bu çimentonun üretilmesine neden olan etkenlerin en başında bu faktörler gelmektedir.

Üretimi endüstriyel olarak gerçekleştirilen BAB çimentosunun yapılan araştırmalar sonucunda teknik özellikleri açısından oldukça dikkate değer sonuçlar bulunmuştur. Bu araştırmada esas olarak Göltaş Çimento Fabrikası'nda deneme olarak üretilmiş olan Borlu Aktif Belit çimentosu ile normal portland çimentosu üzerinde kimyasal, fiziksel ve mekanik çimento deneyleri, taze ve sertleşmiş beton fiziksel ve mekanik deneyleri ile durabilite deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen tüm sonuçlar değerlendirilerek belirlenmiştir (BOREN; DSİ, 2007).

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi ve TÇMB'nin birlikte oluşturduğu teknik bir komisyon tarafından yürütülen çalışmalar sonucunda Türk Standartları Enstitüsünce TS 13353 standart no'su ile Borlu Aktif Belit çimentosu dünyada ilk defa bir türk çimentosu olarak standartlaştırılmıştır. Bu çimento ile üretilen betonlar üzerinde yapılan kapsamlı deneyler sonucunda çok önemli ve umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çimento, rapor içinde kısaca BAB çimentosu olarak gösterilmiştir. BAB çimentosunun en önemli teknik özelliği çok düşük hidratasyon ısısına (7 günde < 2,5 Cal/g) sahip olmasıdır. Bu yönden araştırılması amacıyla diğer katkılı (uçucu küllü çimento) ve portland çimentosu ile hidratasyon hızının ve ısısının ölçülmesine yönelik olarak yapılan izotermal kalorimetrik deney sonuçları karşılaştırmalı olarak bu raporda içinde verilmiştir. BAB çimentosunun normal bir portland çimentosuna oranla ilk 7 günlük erken dayanımı daha düşük, ancak 7. günden itibaren (28 güne kadar) portland çimentosu ile aynı düzeylerde gelişim göstermekte ve daha ileri yaşlarda ise (90 gün ve ilerisi) portland çimentosu dayanımından daha yüksek değerler verdiği gözlenmiştir. Bununla birlikte BAB çimentosunun erken dayanımı bazı ilâve önlemler alınmasıyla (inceliğinin artırılması, betonun w/c oranının azaltılması ve süper akışkanlaştırıcı veya priz hızlandırıcı katkılar kullanarak) normal düzeylere çekilebilmektedir. BAB çimentosu ile üretilen betonda elde edilen deney sonuçları da çimentoda elde edilenler ile paralellik göstermiştir. Özellikle, durabilite yönünden yapılan su geçirgenliği, klorür iyonlarının penetrasyonu ve ultrasonik

dinamik elastisite modülü gibi deney sonuçları bu çimento ile yapılan betonun normal portland çimentosu ile yapılana göre daha dayanıklı olduğunu göstermiştir (BOREN; TÇMB, 2004).

Bor katkılı çimento üzerinde DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı ve Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) arasında yapılan protokol ile çok yönlü bir araştırma programı başlatılmış olup araştırma ile ilgili deneysel çalışmalar tamamlanmıştır. Sonuçlar, beton yol uygulaması ile beraber bu kısımda anlatılmıştır.

3.5.1.1. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimnetosunun Üretimi ve Tanımı

Bor katkılı çimento, bir bor minerali olan kolemanit'in borik asit üretiminde yüksek tenörlü kısmının borik asit üretiminde kullanılmasının ardından kalan düşük tenörlü kısmının, diğer çimento hammaddelerine (farin) ilave olarak belirli bir miktarda kullanılması ile (bu araştırmada BAB çimentosu üretiminde hammadde içinde %10 oranında kolemanit kullanılmıştır) üretilmiştir. Bu değer nihai ürün içerisinde yaklaşık %2,5 B_2O_3 değerine tekabül etmektedir. Kolemanitin kullanım oranı gerçekte içindeki B_2O_3 tenörüne bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Klinker içinde %2,5 ila %3,0 arasında olacak şekilde girdi oranı ayarlanmalıdır. Nihai ürün içindeki B_2O_3 miktarının %2,5 ila %3,0 arasında olması en ideal veya optimum oran olarak bulunmuş değerlerdir. Kolemanitin çimento hammaddesi olan kireçtaşının yerine kullanılması ile pre-kalsinasyon işleminde enerji tasarrufu ve klinker pişirme sıcaklığı da 1450 °C' den 1325 °C' ye düştüğünden, büyük oranda enerji tasarrufu (yaklaşık %10) ve CO_2 emisyonunda %25' lere varan azalma sağlanmıştır.

Bor oksit (B_2O_3) kullanarak yapılan laboratuvar ve endüstriyel ölçeklerde çimento üretimlerinde C_3S yerine oluşan C_2S fazının hızlı soğutulması (>800 C/dak) ile daha kararlı ve aktif olan α ve/veya α'– C_2S polimorfunun oluştuğu gözlenmiştir. Bu nedenle çimentonun klinkerleşme sıcaklığı 1450°C yerine daha düşük sıcaklıkta oluşan C_2S'in oluşma sıcaklığında 1325°C'ye kadar inilebilmektedir. Bu nedenle, bu

çimento "Borlu Aktif Belit Çimentosu" olarak adlandırılmaktadır (BOREN ve TÇMB, 2004).

3.5.1.2. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosunun Özellikleri

BAB çimentosu ile yapılan betonların normal portland çimentosu ile yapılanlara göre erken (3 ve 7 gün) dayanım değerleri daha düşük tespit edilmektedir. Ancak, alınabilecek ilave önlemler ile bugünün teknolojisi ile bu sorunun çözüme kavuşturulması mümkün görülmektedir.

Belirli bir süre sonra (28 gün ile 90 gün arası), BAB çimentosu dayanımı ile Portland çimentosu dayanımının aynı seviyeye ulaştığı, uzun vadede (90 gün ve ötesi) ise, BAB çimentosunun öne geçtiği gözlenmiştir. Ayrıca, çimento inceliği arttırılmaksızın beton teknolojisinde sıkça kullanılan beton kimyasal katkıları (priz hızlandırıcılar, süper akışkanlaştırıcılar) ile de yüksek erken dayanım değerleri rahatlıkla elde edilebilecektir.

BAB çimentosu ile yapılan betonların normal portland çimentosu ile yapılan betona göre boşluk oranı (kapiler boşluklar) çok daha düşük olduğundan daha sıkı bir yapıya sahip olan (kompasitesi yüksek) betonun dayanımı ve dayanıklılığı da bu oranda yüksek olarak tespit edilmektedir.

Boşluk oranı diğer normal çimentolara göre çok daha düşük olduğundan aynı nispette geçirimsizliği de yüksek olmaktadır. Geçirimsizliği yüksek olan betonların durabilitesi ve servis ömrü daha uzun olacaktır

BAB çimentosunun hidratasyon ısısı çok düşük olduğundan özellikle ince kemer tipindeki baraj kütle betonlarında kullanılması çok uygundur. Bu çimentonun kullanılması ile ön-soğutma ve ard-soğutma gibi yüksek maliyetli işlemlerin kaldırılması mümkündür.

Kütle betonlarında kullanılacak olan çimentoların toplam hidratasyon ısısı değerlerinin 7 gün ve 28 günde sırasıyla 60 Cal/g ve 70 Cal/g değerlerini (kütle betonları için hidratasyon ısısı kriterleri) aşmaması gerekmektedir. BAB çimentosunda bu değerler, sırasıyla 50 Cal/g ve 60 Cal/g olarak elde edilmiştir.

BAB çimentosu ile yapılan betonun pH değeri 13,0 değerinden daha yüksek ölçülmüş ve bu değer normal PÇ ile aynı düzeydedir. Karbonasyon oluşumu ve ardından beton içindeki donatının korozyonu BAB çimentolu betonun daha az geçirimli olması ile büyük oranda engellenmektedir.

BAB çimentosu kullanılarak hazırlanan betonun karışım suyu ihtiyacının, PÇ kullanılana göre daha az olmasıdır. Bunun nedeni, BAB çimentosu ile yapılan betonun çökme (slamp) kaybının çok az olmasıdır. BAB çimentosu kullanılarak imal edilen düşük kıvamlı beton için hedeflenen dayanım değeri, daha düşük çimento dozajı ile sağlanabilir. Bu özelliği ile BAB çimentosunun hazır beton sektöründe avantaj sağlayacağı açıktır (BOREN; DSİ, 2007).

3.5.1.3. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu Deneyleri

Kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan çimento deneylerinde çimento olarak BOREN ve TÇMB'nin katkılarıyla öncelikle Denizli Çimento Fabrikası'nda ve daha sonra Isparta Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilen Borlu Aktif Belit çimentosu kullanılmıştır. Tüm beton deneylerinde ise çimento olarak Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilen Borlu Aktif Belit çimentosu kullanılmıştır.

Deneylerde kıyas yapmak amacıyla Göltaş Çimento Fabrikasına ait portland çimentosu olan TS EN 197-1'e uygun CEM I 42,5R (portland çimentosu) kullanılmıştır (BOREN ve DSİ, 2007).

3.5.1.3.1. Çimentonun Kimyasal Analizleri

Gerek Denizli Çimento Fabrikası'nda üretilen ve gerekse de Isparta Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilen Borlu Aktif Belit çimentosunun kimyasal analiz deney sonuçları Çizelge 3.25'de verilmiştir (BOREN; TÇMB, 2004).

Çizelge 3.25. Her iki fabrikada üretilen BAB çimentosunun kimyasal analiz deney sonuçları (BOREN ve TÇMB, 2004)

Bileşim (%)	Deney Metodu	Denizli BAB	Göltaş BAB
SiO_2	TS EN 196-2	20,8	19,1
Al_2O_3	TS EN 196-2	4,10	4,68
Fe_2O_3	TS EN 196-2	4,20	3,42
CaO	TS EN 196-2	59,0	57,1
MgO	TS EN 196-2	1,50	1,32
SO_3	TS EN 196-2	2,25	2,68
Cl	TS EN 196-21	0,026	0,001
B_2O_3	-	3,46	3,00
Kızdırma Kaybı	TS EN 196-2	1,40	3,82
Klinker Miktarı	TS EN 196-2	92,57	86,1

3.5.1.3.2. Çimentonun Fiziksel Özellikler

Göltaş Çimento Fabrikası ürünü Borlu Aktif Belit çimentoları (4 farklı incelik, Blaine değerleri 3562 cm^2/g, 3778 cm^2/g, 4056 cm^2/g ve 4273 cm^2/g) ve TS EN 197-1 standardına uygun Göltaş CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır.

Deneylerde yoğunluk, özgül yüzey, 45 μm elek kalıntısı, standard kıvam suyu, prize başlama süresi, priz sona erme süresi ve hacim genleşmesi deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3.26'da verilmiştir (BOREN ve DSİ, 2007).

Sonuçlar incelendiğinde, en düşük yoğunluk BAB-1 numaralı çimentodan elde edilmiştir. Ayrıca, BAB çimentosu özgül yüzey alanının, portland çimentosuna göre arttığı görülmüştür.

Çizelge 3.26. Göltaş çimento fabrikası ürünü BAB çimentosunun fiziksel özellikleri (BOREN ve DSİ, 2007)

Deney Adı	CEM 42,5 R	BAB-1	BAB-2	BAB-3	BAB-4
Yoğunluk (g/cm^3)	3,11	3,09	3,10	3,15	3,16
ÖzgülYüzey (cm^2/gr)	3265	3562	3778	4056	4273
Kıvam Suyu (%)	26,4	22,0	23,0	24,2	25,2
Priz Başlama Süresi (dak.)	155	145	130	100	90
Priz Sona Erme Süresi	190	180	180	145	125
Hacim Genleşmesi	0,5	1	1	1	1
45 μm Elek Kalıntısı	21,2	28,0	21,6	18,2	15,4

3.5.1.3.3. Çimentonun Mekanik Deneyleri

Denizli Çimento Fabrikası ürünü Borlu Aktif Belit çimentosu (Blaine değeri 4309 cm^2/g), Göltaş Çimento Fabrikası ürünü Borlu Aktif Belit (BAB) çimentoları (4 farklı incelik, Blaine değerleri 3562 cm^2/g, 3778 cm^2/g, 4056 cm^2/g ve 4273 cm^2/g) ve TS EN 197-1 standardına uygun Göltaş CEM I 42,5 R portland çimentosu ile 2, 4, 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük basınç dayanımı deneyleri için numuneler alınmış olup, elde edilen basınç dayanım gelişimleri Çizelge 3.27' de verilmiştir.

Çizelge 3.27. Denizli ve Göltaş BAB ve CEM 42,5 R çimentosundan elde edilen basınç dayanımı gelişimleri (BOREN ve DSİ, 2007)

Deney Yaşı (Gün)	Göltaş BAB Blaine-1 3562 (MPa)	Göltaş BAB Blaine-2 3778 (MPa)	Göltaş BAB Blaine-3 4056 (MPa)	Göltaş BAB Blaine-4 4273 (MPa)	Denizli BAB Blaine : 4309 (MPa)	Göltaş CEM I 42,5R 3265 (MPa)
2	13,4	13,6	15,5	16,9	17,4	26,8
4	23,1	29,0	31,6	34,0	30,5	34,0
7	28,4	38,0	40,6	43,5	41,5	40,6
14	35,5	44,5	49,0	55,0	55,0	46,0
28	41,5	50,0	54,0	61,0	65,0	50,0
90	50,2	58,5	61,5	67,0	70,0	55,0
180	54,6	62,5	66,0	69,5	72,0	57,0
365	58,5	67,0	70,0	72,0	74,0	58,0

3.5.1.3.4. Çimentonun Hidratasyon Isısı

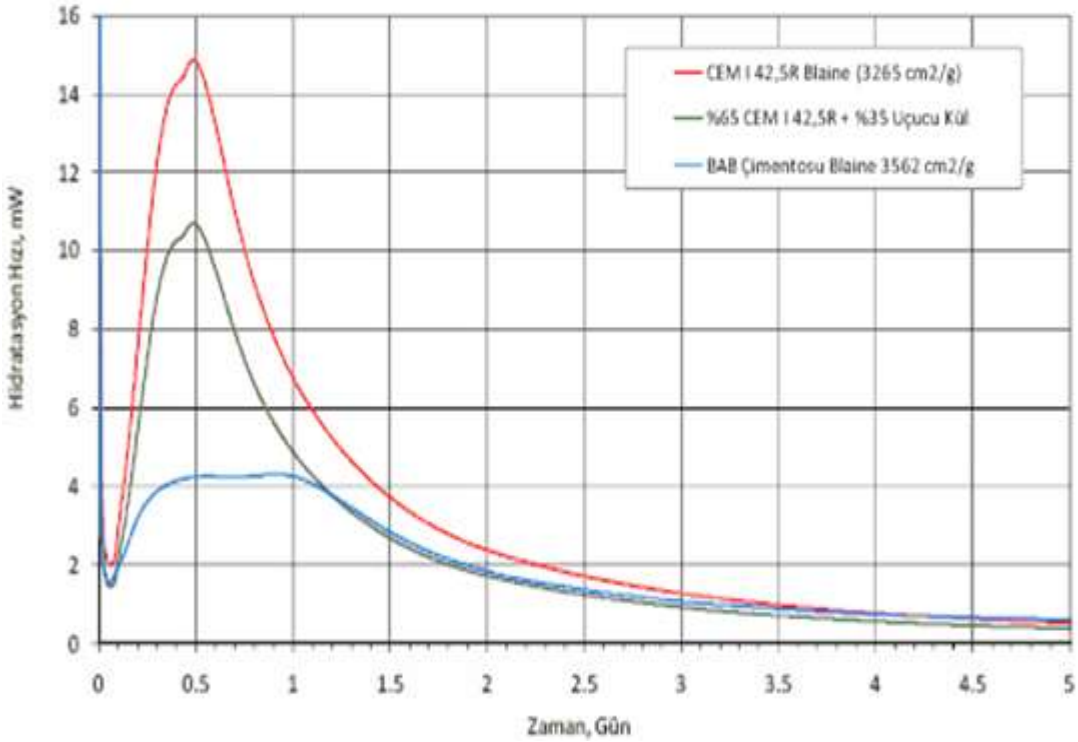
Portland çimentosunun su ile olan hidratasyon reaksiyonlarının hepsi ekzotermik reaksiyonlardır. Daha açık olarak bu reaksiyonların sonucunda ısı açığa çıkar. Bundan dolayı, özellikle kütle betonunun sertleşmesi esnasında çok fazla ısı açığa çıkarıyorsa sürekli olarak içeriden ısınmaya devam edecek ve betonun iç sıcaklığı artacaktır. Bir beton yapı içerisinde sıcaklık yükselmesi en başta çimento ile ilgili bir konudur ve aynı zamanda açığa çıkan ısı hızı ile beton yapının çevreye doğru ısı kaybetme hızına bağlıdır. Bu nedenlerle, betonda ısı yayılım hızı çok önemli bir parametre olmaktadır.

BAB çimentosunun en önemli özelliklerinden bir tanesi hiç kuşkusuz çok düşük toplam hidratasyon ısısına (260 kJ/kg) sahip olmasıdır. Normal bir portland çimentosunun toplam hidratasyon ısısı yaklaşık 500 kJ/kg veya daha yüksek olarak bilinmektedir. Hidratasyon ısısı ile ilgili olarak izotermal kondüksiyon kalorimetre cihazı ile yapılan çalışmalar ile farklı incelik değerlerinde BAB çimentosu ve normal CEM I 42,5R portland çimentosu ile belirli bir oranda (%20 ve %35) uçucu kül ve kimyasal katkı ilavesi ile karşılaştırmalı olarak yapılmıştır (Şekil 3.9-3.10).

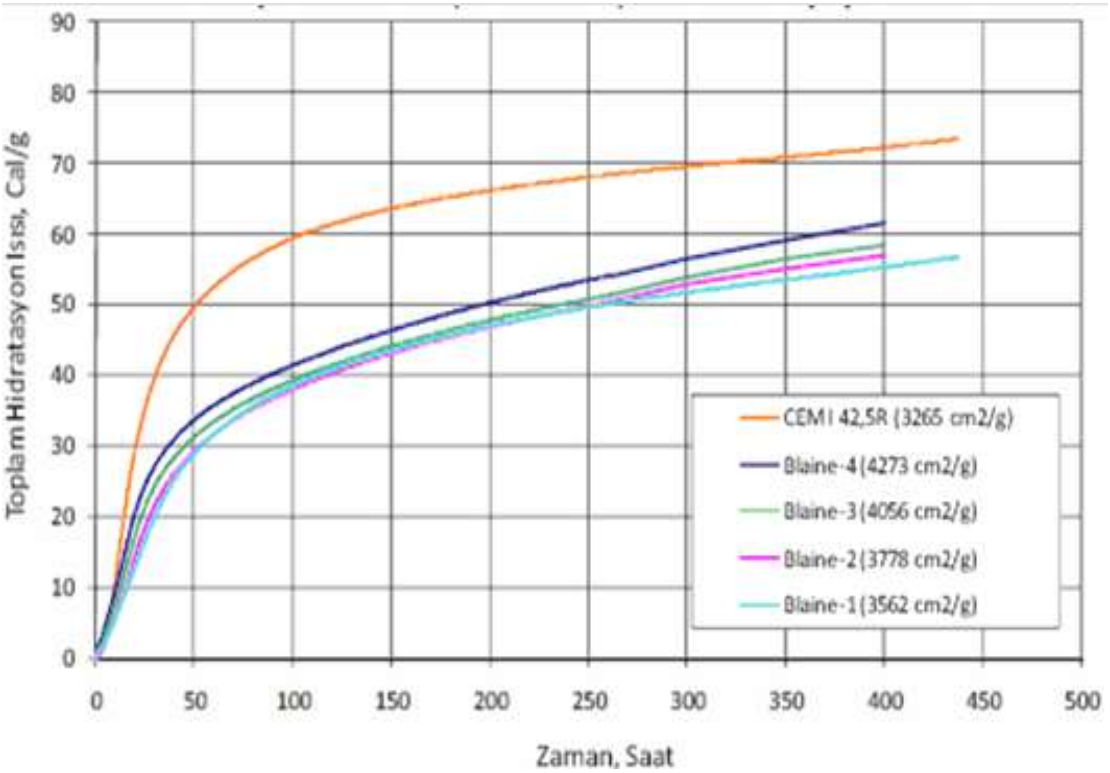
Normal olarak kütle betonu uygulamalarında sıklıkla kullanılan %65 portland çimentosu ve %35 uçucu küllü bağlayıcı (çimento+uçucu kül) karışımı dahi hidratasyon ısısı problemi yaratabilmektedir. Hidratasyon ısısı özellikle erken yaşlarda kütle betonlarında problem yaratmakta ve ilk 2 ila 4 günde açığa çıkan ısı nedeniyle betonda adyabatik sıcaklık artışı meydana gelmektedir (BOREN ve TÇMB, 2004).

Meydana gelen adyabatik sıcaklık artışı nedeniyle beton yapı içinde oluşan sıcaklık gradientinin belirli bir sıcaklık değerini aşması sonucunda (literatürde genellikle 20°C olarak verilmektedir) beton merkezi ve yüzeyi arasında oluşan termal gerilimler sonucunda beton çatlamaya maruz kalmaktadır. Bu çatlaklar kimi zaman daha küçük boyutta kalırken kimi zamanda çok büyük beton elemanların ortadan ikiye bölünmesine yol açmaktadır (BOREN ve DSİ, 2007).

BAB çimentosunun hidratasyon ısısı yönünden diğer çimentolara oranla çok daha düşük hidratasyon ısısı tespit edilmiştir. Özellikle erken yaşlarda hidratasyon hızının düşük olması kütle betonunda adyabatik sıcaklık artışını önemli mertebede azaltmaktadır. BAB çimentosunun hidratasyon ısısı son derece düşük olmasına karşın basınç dayanımı gelişimi ve artış oranı ise iyi düzeydedir. Her ne kadar erken dayanım yönünden normal portland çimentosuna göre bir miktar geride kaldığı görünse de ileri dönemlerde normal portland çimentosunu geride bıraktığı da deneylerle tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. BAB çimentosu hidratasyon hızının portland ve uçucu küllü çimento ile karşılaştırılması (BOREN ve DSİ, 2007)



Şekil 3.10. Dört farklı incelikte Göltaş BAB ve portland çimentolarının toplam hidratasyon ısılarının karşılaştırılması (BOREN ve DSİ, 2007)

3.5.1.4. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu İle Üretilen Beton

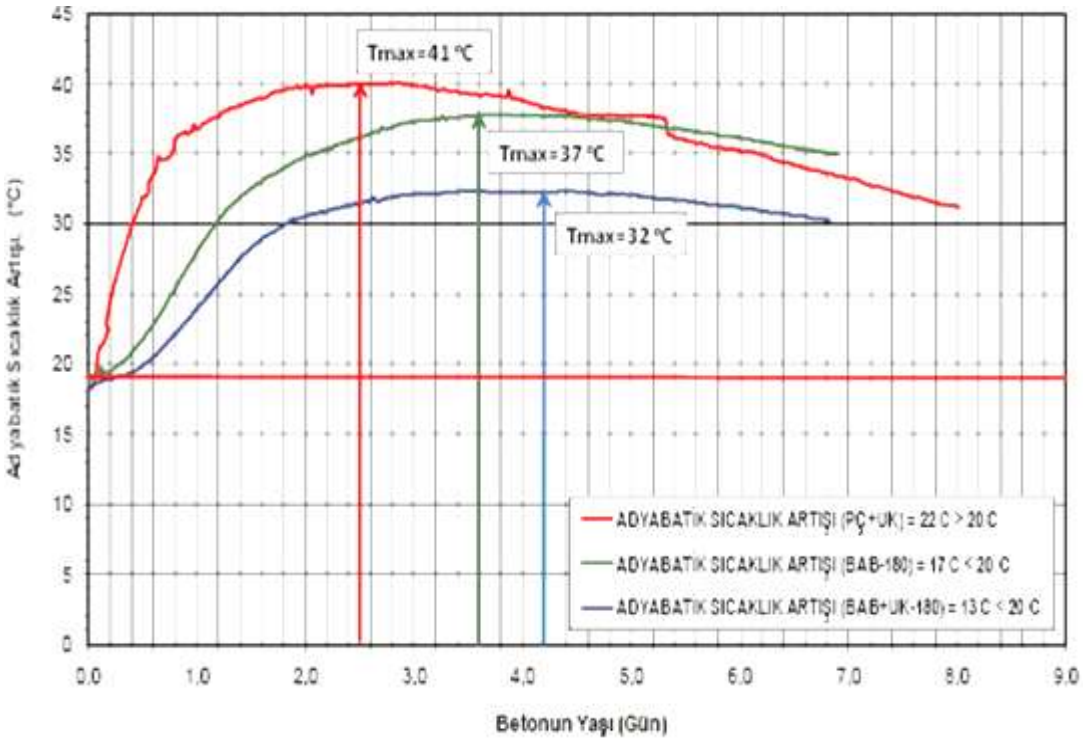
BAB çimentosu ile gerek çimento ve gerekse beton fazında özellikle durabilite ve performans deneylerine yönelik bir kısım deneyler gerçekleştirilmiş ve kayda değer sonuçlar elde edilmiştir. Beton teknolojisinde durabilite ile ilgili en önemli parametre w/c (Su/Çimento) oranıdır. w/c oranı azaldıkça betonun hem basınç dayanımı ve hem de geçirgenliğinin azalmasından dolayı durabilitesi artmaktadır. Bu nedenle betonda durabilite konusunda özellikle bu yönde çalışmalara yönelinmiştir.

3.5.1.4.1. Betonun Adyabatik Sıcaklık Artışı Deneyleri

Normal CEM I 42,5N portland çimentosu+%35 uçucu kül kullanılarak üretilen beton blokta oluşan adyabatik sıcaklık artışı merkezde maksimum 41°C olarak meydana gelmiştir. Buna karşın, sadece BAB çimentosu ve BAB çimentosu + %20 uçucu kül kullanılarak üretilen beton blokların merkezlerinde ise sırasıyla 37°C ve 32°C civarında sıcaklık artışları meydana gelmiştir. Bu değerler sadece beton blokların merkezlerinde oluşan sıcaklık değişimini göstermektedir. Adyabatik sıcaklık artışları ise betonların yerleştirme sıcaklıkları ile merkezlerinde oluşan maksimum sıcaklık farkından hesaplanabilmektedir.

Sadece normal CEM I 42,5N+%35 uçucu küllü çimento ile yapılan betonun yerleştirme sıcaklığı 19°C olarak ölçülürken diğerlerinin yerleştirme sıcaklıkları 20°C olarak ölçülmüştür. Bu durumda adyabatik sıcaklık artışları sadece BAB çimentolu 180 kg/m^3 dozajlı kütle betonunda 17°C olurken, BAB çimentosu+%20 uçucu küllü bağlayıcılı betonda 13°C olarak ölçülmüştür. Buna karşın normal CEM I 42,5N çimentosu+%35 uçucu küllü beton blokta 22°C'lik bir adyabatik sıcaklık artışı meydana gelmiştir. Normal portland çimentosu ile uçucu küllü betonda maksimum sıcaklığa 2,5 günde ulaşılırken BAB çimentolu betonlarda sırasıyla 3,5 gün ve 4,2 günde pik sıcaklıklar ortaya çıkmıştır. Bu durum da BAB çimentosu için diğer bir avantajı göstermektedir (Şekil 3.11).

Kütle betonu yapısı içinde herhangi iki nokta arasındaki sıcaklık farkı belirli bir dereceyi aşmamalıdır. Bu fark en fazla beton bloğun merkezi ile genellikle üst yüzeyi arasında meydana gelmekte ve mevsimsel etkiler dikkate alınmalıdır (BOREN; DSİ, 2007).



Şekil 3.11. Üç farklı bağlayıcı ile yapılan beton blokların adyabatik sıcaklık artışı

3.5.1.4.2. Kütle Betonu Tasarım Deneyleri

BAB çimentosu ile kütle betonu tasarımına yönelik olarak da araştırma deneyleri başlatılmış ve BAB çimentosu ile üretilen betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü ve klorür iyonları penetrasyonuna karşı dirençleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerde 150, 175, 200, 225 ve 250 kg/m^3 dozajlar tayin edilmiş ve 125 mm maksimum agrega tane boyutlu beton 37,5 mm elekten ıslak eleme yoluyla ayrılarak (15x30) cm'lik 7, 28, 56 ve 90 günlük olmak üzere 4 ayrı yaşta silindir şekilli numuneler alınmıştır.

Çizelge 3.28, 3.29 ve 3.30'da sırasıyla basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deney sonuçları verilmiştir (BOREN; DSİ, 2007).

Çizelge 3.28. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımları (BOREN; DSİ, 2007)

BAB Çimento Dozajı (kg/m^3)	Basınç Dayanımı, Mpa			
	7 Gün	28 Gün	56 Gün	90 Gün
150	15,2	21,8	24,0	26,2
175	22,4	30,3	34,6	37,4
200	27,9	34,9	39,1	41,6
225	34,0	40,5	45,1	48,6
250	42,6	47,3	51,2	54,2

Çizelge 3.29. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımları (BOREN; DSİ, 2007)

BAB Çimento Dozajı (kg/m^3)	Yarmada Çekme Dayanımı, Mpa			
	7 Gün	28 Gün	56 Gün	90 Gün
150	2,1	2,7	3,4	3,5
175	2,8	3,6	4,2	4,4
200	3,3	3,6	4,2	4,7
225	3,3	4,2	4,8	5,2
250	3,6	4,5	5,2	5,8

Çizelge 3.30. Borlu Aktif Belit çimentosu ile yapılan betonların 7, 28, 56 ve 90 günlük elastisite modülü değerleri (BOREN; DSİ, 2007)

BAB Çimento Dozajı (kg/m^3)	Elastisite Modülü, Gpa			
	7 Gün	28 Gün	56 Gün	90 Gün
150	12,1	18,3	23,8	26,7
175	13,2	19,7	26,9	31,9
200	13,7	20,6	27,2	33,6
225	14,6	22,1	28,9	36,4
250	14,5	22,8	30,1	38,4

Ermenek Barajı şantiyesinde kütle betonu adyabatik testleri esnasında betondan alınan 7, 28 ve tahmin edilen 90 günlük silindir numunelere ait basınç dayanım sonuçlarından oldukça dikkate değer sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıda Çizelge 3.31'de elde edilen deney sonuçları verilmiştir.

BAB çimentosu ve bu çimentoya %20 uçucu kül ilavesi ile yapılan betonların basınç dayanımları, CEM I 42,5N ve Uçucu Küllü yapılan betonun dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3.31. Ermenek Barajı BAB çimentosu, BAB+%20 uçucu kül ve CEM I 42,5+%35 uçucu kül ile yapılan betonların 7, 28 ve tahmini 90 günlük basınç dayanım değerleri (BOREN; DSİ, 2007)

Beton Adı	Ermenek Barajı Kütle Betonu Basınç Dayanımı, Mpa			
	7 Gün	28 Gün	56 Gün	90 Gün
%65NPÇ+%35UK	16,1	22,4	25,7	29,1
BAB	27,2	32,5	37,3	42,3
%80BAB+%20UK	20,2	31,2	34,9	39,0

3.5.1.4.3. Betonun Penetrasyon Deneyleri

BAB çimentosu ile kütle betonu tasarımına yönelik olarak yapılan betonlardan alınan numuneler üzerinde betonların geçirimliliklerini ölçmek amacıyla ASTM C1202 standardına göre klorür penetrasyonu deneyleri gerçekleştirilmiş ve oldukça dikkate değer sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 3.32). 150 kg/m^3 toplam bağlayıcı dozajında dahi klorür iyonlarına karşı düşük özellikte geçirimsizlik elde edilmiştir (BOREN; DSİ, 2007).

Çizelge 3.32. BAB çimentosu ile farklı dozajlarda yapılan betonların 90 günlük klorür iyonları penetrasyon direnci değerleri (BOREN ve DSİ, 2007)

No	Dozaj	Su İçeriği	w/c Oranı	Coulomb Değeri	Geçen Akım, mA	Permeabilite Sınıfı
1	150	100	0,67	1950	248	Düşük
2	175	100	0,57	1348	236	Düşük
3	200	100	0,50	1068	211	Çok Düşük
4	225	100	0,44	1031	173	Çok Düşük
5	250	100	0,40	988	168	Çok Düşük

3.5.1.5. Beton Yol Tasarımı

BAB çimentosu ile beton yol uygulamaları da yapılarak normal CEM I 42,5 çimento ile karşılaştırma yapılmasına olanak sağlanmıştır. Ankara'da Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) Genel Müdürlüğü içerisinde (1 km), Ordu-Sivas karayolu üzerinde yaklaşık (2 km) ve Isparta İli sınırları içerisinde Isparta-Burdur karayolu üzerinde (4 km), BAB çimentosu ve normal CEM I 42,5R çimentolar ile tasarlanmış ve beton dökümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.12-3.15).



Şekil 3.12. Isparta-Burdur karayolunun beton dökümü için hazırlanması



Şekil 3.13. Beton harcının dökümü



Şekil 3.14. Finişer makinesiyle beton yol yapımı



Şekil 3.15. Beton yolun genel görüntüsü

BAB çimentosu ile tasarlanan betonların basınç ve eğilme dayanım sonuçları normal ve CEM I 42,5R ile yapılan betonlardan daha yüksek olarak elde edilmiştir. BAB çimentosu ile yapılan betonların eğilme dayanım sonuçları basınç dayanım sonuçlarında olduğu gibi aynı oranda yüksek çıkmıştır (Çizelge 3.33).

Her iki tip çimento ile yapılan betonların eğilme dayanımları agrega tipi ve cinsine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Agreganın fiziksel kalitesi yüksek (boşluksuz, çatlaksız, kırıksız, masif, kompakt, altere olmamış vb.) ve özellikle kırmataş ise betonda eğilme dayanımı daha yüksek çıkabilmektedir. Bu gözlem laboratuvarda eğilme dayanımı deneyinden sonra kırılma bölgesinin gözle muayenesi esnasında görülebilmektedir (BOREN; DSİ, 2007).

Çizelge 3.33. Isparta-Burdur karayolu BAB ve CEM 42,5R çimentosu ile tasarlanan betonlara ait basınç ve eğilme dayanımı değerleri

Deney (Mpa)	**Dozaj Kg/m^3**	**PÇ**	**PÇ**	**BAB**	**BAB**
		7 Gün	**28 Gün**	**7 Gün**	**28 Gün**
Basma Dayanımı	350	48	57,5	54	60
Eğilme Dayanımı	350	5,4	6,3	5,9	7,7

BAB çimentosu ve normal portland CEM I 42,5R çimentosu ile yapılan 15 cm slamplı ve 10 cm slamplı betonların klorür penetrasyonuna karşı dirençlerinin ölçülmesi amacıyla ASTM C1202 standardına uygun olarak deneyler yapılmıştır. BAB çimentosu ile yapılan betonların klorür penetrasyonlarının normal portland çimentosu ile yapılan betona göre daha iyi oldukları açık şekilde tespit edilmektedir.

Ayrıca, BAB çimentosu ile yapılan sertleşmiş betonların kürlenmeleri esnasında suya bor ve arsenik elementlerinin geçtiği tespit edilmiş ve bu konuda bir araştırma yapılmıştır.

Bilindiği üzere BAB çimentosunun üretilmesi için kolemanit kullanılmakta ve içerisinde eser miktarlarda (10-12 ppm) arsenik de tespit edilmektedir Bulunan sonuçlara göre su içerisine geçen bor ve arseniğin miktarlarının WHO'nun (dünya sağlık organizasyonu) belirlemiş olduğu limitlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

3.5.2. Bor Katkılı Bimsblok Üretimi

Bu çalışmanın amacı, bağlayıcı olarak kolemanit minerali kullanarak çimento miktarının düşürülmesi, daha hafif ve sağlam bimsblok üretilebilirliğinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında kullanılan bor, Hisarcık-Espey kolemanit atık ve Hisarcık-Espey cevher grubu olarak üç ana grup altında sınıflandırılması yapılmıştır.

Daha sonra her ana bor grubu içerdiği çimento ve kolemanit oranına göre altı farklı gruba ayrılmıştır. Son olarak her grup içerisinde bulundurduğu pomza, çimento ve kolemanit yüzdesine göre 28 farklı karışım oranlarına ayrılmıştır (Yaşar, 2006).

3.5.2.1. Karışım Hazırlama ve Pres ile Kalıplama

Deneylerde, pomza (%80-100), çimento (%5-10), kolemanit (%2-10) ve su (0,4-0,6) oranları kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Pres kalıp makinesinde belirlenen optimum basınç altında tutularak sıkıştırılıp kalıplanması sağlanmıştır. Basınç oranı deneme yanılma yoluyla en uygun değerin 90 bar olduğu tespit edilmiştir.

3.5.2.2. Numunelerin Pişirilmesi

Pres altında baskıda tutulup şekillendirilen ve sıkıştırılan numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır. Daha sonra 700, 750, 800, 900 ve 1000°C sıcaklıklar altında aşağıda gösterilen fırında pişirilmeleri sağlanmıştır. Ön fizibilite çalışmalarından elde edilen sonuçlar neticesinde hazırlanan yapı malzemeleri karışımlarında kolemanit içerikleri 750°C'de ergiyip pomza ve çimentoyla bağ yaptığı bu sıcaklık altında bağlayıcılık yapmadığı, 750°C üzerindeki sıcaklıkta ise bozunup dayanımda azalmalar meydana geldiği görülmüştür (Yaşar ve ark, 2006).

3.5.2.3. Nihai Ürün

Pişirme sonrası, numunelerin fiziksel ve mekanik deneyleri yapılarak genel mühendislik karakteristikleri belirlenmiştir. Son olarakta en yüksek mukavemet sunan karışım oranları tespit edilmiştir.

Deneyler, 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman dilimleri boyunca laboratuarda uygun TSE şartları altında gerçekleştirilmiştir. Bekletilen numunelerin birim hacim ağırlığı, basma dayanımı, ısı iletkenliği, su emme ve porozite değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra bu karışımın nedenlerini araştırmak amacıyla en yüksek dayanım veren karışımın XRD ve SEM analizleri yapılmış ve fotoğrafları çekilerek mineraller arasındaki bağların yapısı detaylı olarak görülmüştür (Yaşar ve ark, 2006).

Altı farklı karışım türüne ait denemeler sonucunda en uygun fiziksel ve mekanik değerleri sunan karışım reçetesi tespit edildikten sonra, endüstriyel alanda kullanım alanı bulan bir sıra üç boşluklu 100 mm (genişlik) x 400 mm (boy) x 190 mm (yükseklik) olacak şekilde nihai üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Nihai bimsblok üretimi

3.5.3. Bor Katkılı Selüloz Yünü Üretimi

Atık gazete kağıtlarının geri kazanılması, defibrasyon yöntemiyle işlenmesi ve ürün haline getirilmesiyle elde edilen yalıtım malzemesidir (Şekil 3.17). Malzeme, ağırlıkça %70-75 atık kağıt ve %23 bor içermektedir. Kullanılan bor malzemenin aleve karşı direncini arttırmaktadır.

Katkı maddesi olarak amonyum fosfat veya amonyum sülfat (%2 den fazla olmayacak) ve malzemenin yapışma özelliğini sağlayan cam suyu, zamk veya buğday nişastası kullanılmaktadır. Katkı malzemeleri uygulamaya göre değişmektedir. Malzeme aleve, haşerelere ve diğer faktörlere karşı etkili olmakla birlikte iyi bir ses ve ısı yalıtımı sağlar (Çelik, 2008).

İzolasyon malzemesi plaka ve selüloz yünü şeklinde üretilmektedir. Boren'de yapılan çalışmalarda, mekanik karıştırıcıda ağartılan atık malzeme hamur hale getirilmiştir. Hamur malzemeye preslenerek plaka yalıtım malzemeleri üretilmektedir. Selüloz yünü, 3000 devir/dk hızla hareket eden makaslar kullanılarak üretilmektedir. Atık kağıt kırpılmakta ve pamuk hale getirilen malzemeye bor takviye edilerek uygulamaya hazır hale getirilmektedir. Selüloz malzemesi (plaka ve yün) duvar ve çatı uygulamalarında kullanılmakatdır (Şekil 3.18).

3.5.3.1. İzolasyon Malzemesinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çalışmalarda, sanayi ölçekli üretilen malzemelerin teknik özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Çizelge 3.31'de selülozik izolasyon malzemesinin ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümü'nde yapılan deney sonuçlarına göre belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir (Çelik, 2008).

Çizelge 3.31. Selülozik izolasyon malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri

Isı İletim Katsayısı (W/mK)	Yoğunluk (kg/m^3)	Su Emme (%)	Buhar Difüzyon Direnç Katsayısı	Mekanik Dayanım (ton/m^2)	Yanma DIN 4102	Ses İzolasyonu	Paslanmaya Karşı Etki
0,036-0,045	30-90	35-45	1	1,5-6,5	A Sınıfı Yanmaz	iyi	İyi



Şekil 3.17. Bor katkılı selüloz yünü



Şekil 3.18. Selüloz yünü çatı uygulaması

3.5.4. Bor Bileşikleri Kullanarak Kompozit Malzeme Üretimi

BOREN tarafından desteklenen proje kapsamında, orman edüstri atıklarlarından elde edilen odun unu, plastikler (yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen), uyum sağlayıcılar (maleik anhidritli polietilen ve polipropilen) ve yangın geciktiriciler (borik asit, boraks, kolemanit, çinko borat), amonyum polifosfat ve her ikisinin kombinasyonu kullanılarak ektrüzyon yöntemiyle yanmaya dayanıklı odun/plastik kompozitleri (OPK) üretimi gerçekleştirimiştir.

OPK aleve karşı hassastırlar ve ısı bozunmalarına neden olur. İçeriğinde bulunan; odun ve kullanılan plastik yanıcıdır, fakat zehirleyici duman üretmezler. Yangın geciktirici özellik son kullanım alanlarında çok önemli yer tutar.

Yanma hızı yanmadan koruyan maddeler katılarak yada PVC gibi yanmaya dayanıklı plastikler kullanılarak yavaşlatılabilir. PVC yanma sırasında çok kuvvetli ve toksik asit yaydığı için kullanımı çevre dostu olarak sayılmaz ve ekonomik değildir (Kurt, 2006).

3.5.4.1. Kullanılan Malzemeler

Kahramanmaraş'ta faaliyet gösterilen kereste atölyelerinden satın alınan sarıçam talaşlarının planya ve kalınlık makinesi yongalarından oluşmasına dikkat edilmiştir. Bu kompozit üretiminde kullanılacak olan odun unlarının homojenliği ve kabuk, çamur, taş ve aşındırıcı maddeler gibi artık maddeler içermemesini temin etmiştir. Odun talaşları willey değirmeninde öğütülerek odun unu haline dönüştürülmüştür.

Proje kapsamında plastik olarak; yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve polipropilen (PP) kullanılmıştır. Maleik anhidritli polipropilen (PP'li OPK'lar için) ve maleik anhidritli polietilen (YYPE'li OPK'lar için) uyum sağlayıcı olarak kullanılmıştır (Kurt, 2006).

3.5.4.2. Örneklerin Hazırlanması

OPK üretiminden önce üretimde kullanılacak en uygun borlu bileşikler (BB) oranı ve yangın geciktirici formülasyonlar belirlenmiştir. Polietilen ve polipropilen %50-80 arası, odun unu %20-40 arası ve borlu bileşikler %3-20 arası kullanılmıştır.

Buradaki amaç malzemenin ekstruder içerisinde güvenli bir şekilde işlenmesi ve üretilen malzemenin renginin değişmemesi için kullanılabilecek BB miktarının belirlenmesi olmuştur. Yapılan üretimler sonucunda genel olarak BB miktarının %3-10 civarında olmasının uygun olduğu tespit edilmiştir (Kurt, 2006).

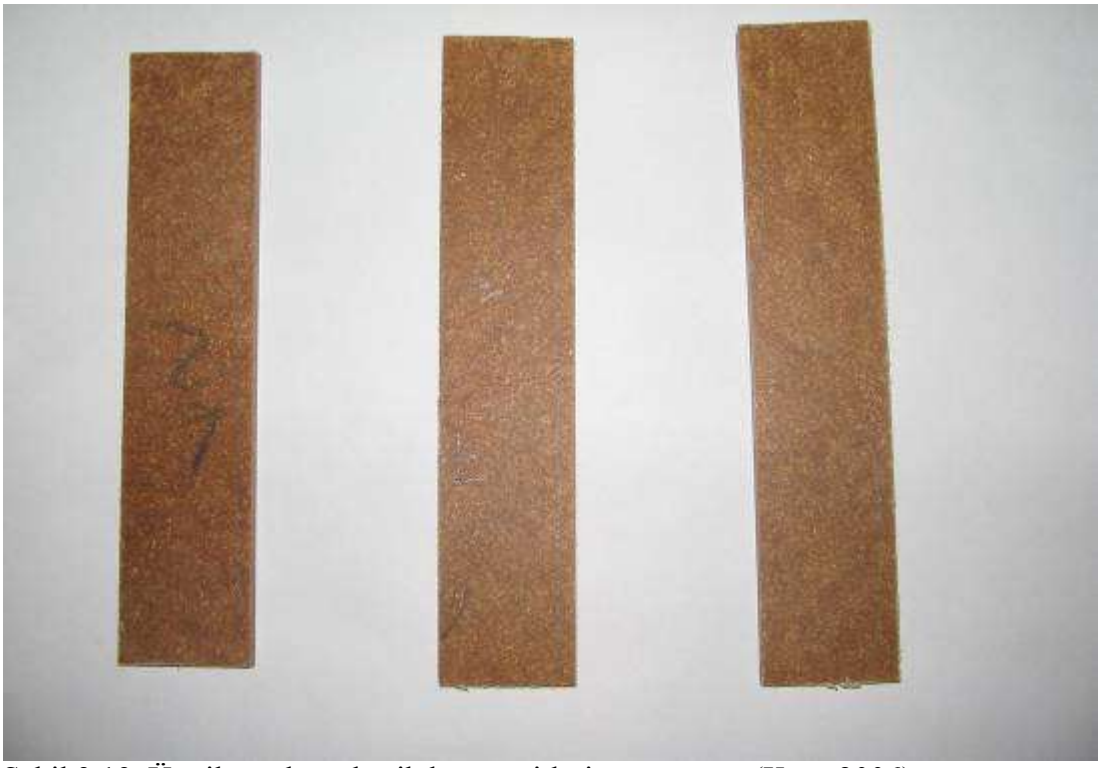
3.5.4.3. Yangın Geciktirici Formülasyonun Belirtilmesi

Kullanılacak BB'nin güvenli çalışma oranının %3 olarak belirlendiğinden, yanmaya direnç etkisinin daha fazla arttırılması amacıyla plastiklerde etkili yangın geciktirici olarak kullanılan amonyum polifosfatdan (APP) yararlanılmıştır. Buna göre %3-10'lük BB; %10-20 ve %20-30'lik APP' ye katılmıştır. Bu sayede BB ve APP arasında sinerjistik bir etkinin olup olmadığı da değerlendirilmiştir (Kurt, 2006).

3.5.4.4. Kompozitlerin Hazırlanması

Oluşturulan homojen karışım ekstruder içerisindeki sıcaklık ve sürtünmenin etkisiyle eritilmiş ve fazla rutubet uzaklaştırılmıştır. Üretim sırasında kullanılan sıcaklık profili kullanılan plastiğin erime sıcaklığından yüksek ve ağaç malzemenin bozunma sıcaklığından düşük olacak şekilde belirlenmiştir. Üretilen OPK karışımı laboratuarda bulunan kesiciler vasıtasıyla küçük boyutlu peletler haline dönüştürülmüştür (Şekil 3.19).

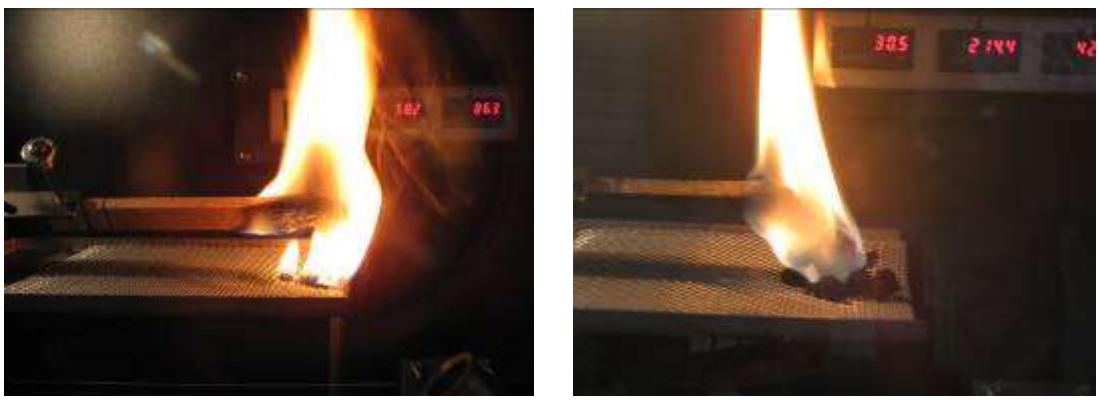
Ekstruder içerisinde farklı ısıtma zonları bulunmaktadır. Bu kısımlar plastiğin eritilmesi ve odun unu ve diğer katkı maddeleriyle homojen karışım haline gelmesini sağlamaktadır. Yapılan denemeler sonucunda OPK üretiminde kullanılacak parametreler (sıcaklık, süre, karışım ve basınç) belirlenmiştir. Çalışmaların sonunda, OPK' ların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir (Kurt, 2006).



Şekil 3.19. Üretilen odun-plastik kompozitlerin görüntüsü (Kurt, 2006)

Numunelerin yanma hızı testleri ASTM D635 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu standart, laboratuar şartlarında, küçük boyutlu örneklerin göreceli yanma hızlarını hızlı birşekilde belirlemek için kullanılır.

Kontrol örneğinde alevin şiddeti ve artık oluşumu ve %25 oranında yangın geciktirici ilavesiyle oluşan alevin şiddeti Şekil 3.20'de gösterilmiştir (Kurt, 2006). Çalışmaların sonucunda OPK üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimde kullanılan bor bileşikleri kompozitlere yangın direnci kazandırmıştır.



Şekil 3.20. Kontrol ve yangın geciktirici ile oluşan görüntü (Kurt, 2006).

3.5.5. Bor ve Perlit Katkılı İzolasyon Liflevhası

Çalışmanın amacı, bor bileşiklerinden boraks pentahidrat ve kalsine tinkal kullanarak perlit katkısı ile zenginleştirilmiş, yangın geciktirici özelliği olan, ısı yalıtımı yüksek ve pek çok alanda kullanılabilecek dekoratif nitelikli izolasyon liflevhası üretmektir. Ayrıca, masif ağaç malzemeye alternatif olarak geliştirilen liflevha, bitki saplarından (şeker kamışı, pamuk ve buğday sapı) yapılabilir olduğunu araştırmaktır. Bu malzemeler, dış kaplamalarda, hafif bölmelerin yapımında, bölmeler arası ısı izolasyonun da, çatı katı inşaatında ve betonarme alanların kaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Batar ve ark, 2009).

3.5.5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çalışmalarda, bor bileşiklerinden boraks pentahidrat ve kalsine tinkal, genleştirilmiş perlit, üre formaldehit (yapıştırıcı), %85 yapraklı ağaç ve %15 iğne yapraklı ağaç odunundan elde edilmiş liflerin karışımı ve amnonyum klorür (sertleştirici) olarak kullanılmıştır.

3.5.5.2. Liflevhaların Hazırlanışı

Deneylerde altı çeşit karışım grubu hazırlanmıştır (Çizelge 3.31). Hazırlanan karışımlar presleme makinesinde şekillendirilmiş ve kurutma fırınında (0-300°C) sıcaklıkta pişirilerek deneylere hazır hale getirilmiştir. Çalışmalarda, farklı pişme süresi (30, 45, 270 dk) ve basınç oranı (30, 50, 60 bar) kulanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm presleme işlemleri liflevha üretimi (25x25 cm) için en uygun sıcaklık olan 175°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir (Batar, 2009).

Çalışmalarda, lifler karıştırma makinesine konularak bor bileşikleri ile hazırlanmış tutkal püskürtülmüş ve katkı malzemeleri liflere olabildiğince homojen olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım liflevha yapımı için belirlenen sıcaklık ve basınç şartlarında preslenerek üretilmiştir. Liflevhaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.31. Çalışmalarda kullanılan altı adet liflevha karışımı (Batar ve ark, 2009)

No	Perlit (%)	Boraks Pentahidrat (%)	Kalsine Tinkal (%)
Şahit	-	-	-
1	-	1,5	-
2	1,5	1,5	-
3	1,5	1,5	1,5
4	3,0	1,5	3,0
5	4,5	1,5	4,5

3.5.5.3. Liflevhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Deneyler sonunda üretilen liflevhaların fiziksel özellikleri (yoğunluk, şişme, ses ve ısı yalıtım) Çizelge 3.32'de ve mekanik deney sonuçları Çizelge 3.33'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.32. Üretilen liflevhaların fiziksel özellikleri (Batar ve ark, 2009)

No	Yuğunluk(g/cm^3)	Şişme (%)	Isı İletkenlik(W/mK)	Ses Yalıtımı (%)
Şahit	0,450	10,58	0,1392	24,0
1	0,441	16,69	0,1201	22,6
2	0,440	15,28	0,1195	23,4
3	0,442	16,18	0,1197	23,0
4	0,432	13,35	0,1205	22,3
5	0,491	24,62	0,1184	24,9

Çizelge 3.33. Üretilen liflevhaların mekanik özellikleri (Batar ve ark, 2009)

No	Eğilme Direnci(N/mm^2)	Çekme Direnci(N/mm^2)
Şahit	19,47	3,68
1	16,79	1,55
2	17,81	1,99
3	17,50	2,40
4	17,11	2,16
5	16,95	1,81

Liflevhaların fiziksel özellikleri incelendiğinde, yoğunluk (0,170-0,550 g/cm^3), şişme (%10-20) istenilen aralıkta olduğu belirlenmiştir. Liflevhalarda bor ve perlit katkı oranındaki artışın ısı iletkenlik katsayısını düşürdüğü ve ısı yalıtım özelliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, liflevhaların eğilme (10-55 N/mm^2) ve çekme (10-55 N/mm^2) direnci değerlerinin standartlara uygun aralıkta olduğu belirlenmiştir (Batar ve ark, 2009).

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Bu doktora tez çalışmasında, hammadde olarak perlit ve bağlayıcı olarak kolemanit, kil, CMC (karboksi metil selüloz ve yapı malzemesinin pişmesini kolaylaştıran kömür tozu kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere değişik bölgelerden temin edilen hammaddelerin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla kimyasal, petrografik, fiziko-mekanik ve termal analizler yapılmıştır. Analizlerle kullanılan hammaddelerin karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Tuğla üretiminde ana hammadde olarak, Eti Maden işletmelerine ait İzmir perlit genleştirme tesisinde üretilen genleştirilmiş perlit kullanılmıştır.

4.1.1. Kullanılan Malzemeler Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmalarda ana hammadde olarak Eti Maden işletmelerinden temin edilen İzmir (Menderes) genleştirilmiş perlitleri kullanılmıştır. Çimentonun yerine bağlayıcı olarak Eti Maden işletmelerinden temin edilmiş Emet (Espey) konsantre kolemanit minerali ve Güven Tuğla Sanayi A.Ş'den temin edilmiş ateş tuğlası yapımında kullanılan Ankara (İmrahor) kil minerali ile bir katkı malzemesi olarak Set Çimento fabrikasından temin edilmiş kömür tozu ve CMC (karboksi metil selüloz) kullanılmıştır.

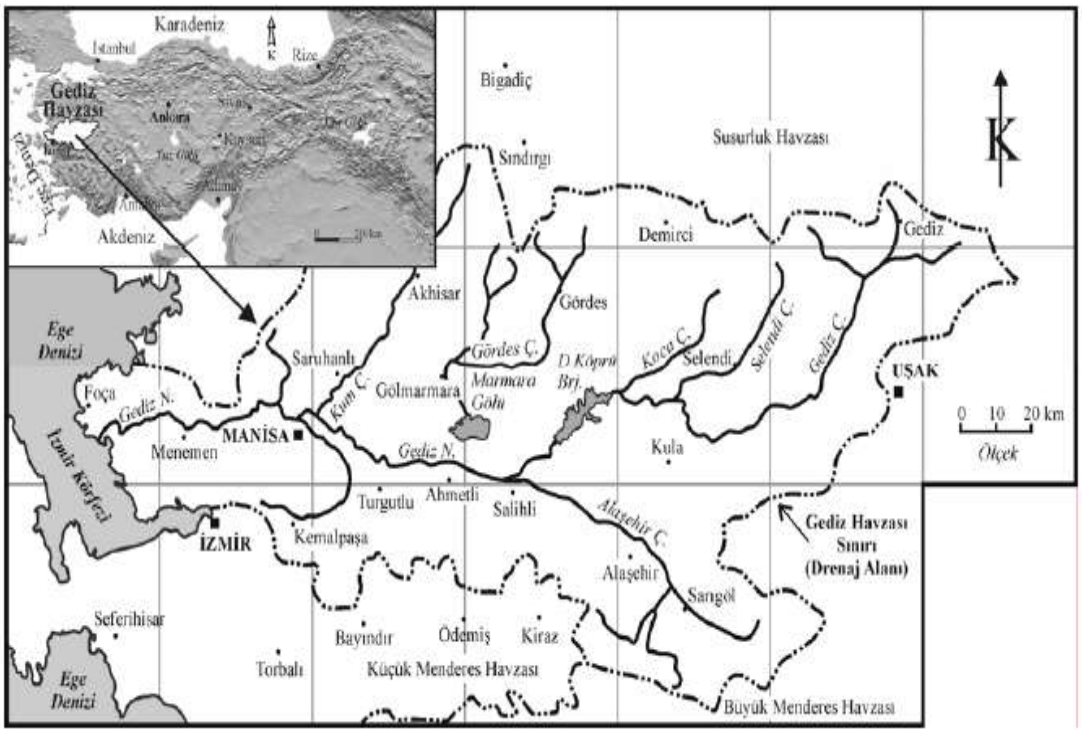
Temin edilen numuneler üzerinde incelemeler yapmak amacı ile Ç.Ü ve ODTÜ Maden Müh. Bölümü Laboratuarları'na getirilmiştir. Hammaddeler (Kolemanit, kil ve kömür tozu) kırıcı ve öğütücüden geçirildikten sonra safsızlıklardan uzaklaştırılmak üzere 1 mm'lik elekten elenerek katkı malzemesi olarak kullanılabilir hale getirilmiştir.

4.1.1.1. İzmir (Menderes) Perlitleri

Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak genleştirilmiş perlit kullanılmıştır. Perlit agregaları Eti Maden İşletmeleri İzmir (Cumaovası) perlit yataklarından temin edilmiş burada bulunan fabrika fırınlarında 800°C sıcaklıkta genleştirilerek perlit tuğla üretiminde kullanılabilir hale getirilmiştir.

Bölge İzmir İl merkezinin 15-20 km doğusunda NE-SE doğrultusu uzanımlı bir fay ve bunun 5-10 km batısında hemen hemen birinci faya paralel kabul edilen Manisa-Akhisar-Sandırgı muhtemel fay çizgisi Cumaovası bucak merkezinin 5-10 km güneyinde bulunan volkanizma alanındaki perlitler 6-7 ayrı zuhur halinde bulunmaktadır.

Yataklara ait yer bulduru haritası Şekil 4.1'de ve örnek alınan ham perlit zuhurları ise Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Menderes Cumaovası perlit yatakları yer bulduru haritası (Doğdu ve ark, 2006)



Şekil 4.2. Menderes (Cumaovası) perlit yatakları cevher zuhurları

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü İzmir (Cumaovası) perlit İşletmesinden hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılmak ve genleştirilmek üzere temin edilen numuneler araziyi temsil edecek şekilde farklı bölgelerden alınmıştır.

Alınan numuneler işletmede (0,2-2 mm) boyut ve (150-180 kg/m^3) yoğunluğa gelecek şekilde özel olarak genleştirilmiştir (Şekil 4.3 ve 4.4).

Perlit genleştirme işlemleri Eti Maden Menderes İşletmesinde bulunan fabrika fırınları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşletmeden temin edilen ham perlitler, tesislerde bulunan kırma ve elem işlemlerine tabi tutularak sınıflandırılımıştır. Sınıflandırılan ham perlit yüksek sıcaklık fırınları kullanılarak 800°C sıcaklıkta genleştirilmiştir.

Malzemeler silolar yardımıyla alınarak paketlenmiş ve yapı malzemesi üretimine hazır hale getirilmiştir.

Genleştirilmiş perlit numunesinin mineralojik, petrografik, fiziko-mekanik ve kimyasal (XRD, XRF, DTA ve SEM) özelliklerini belirlemek üzere numuneler alınmış ve yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere Maden Müh. Bölümü Malzeme Laboratuarları'na gönderilmiştir.



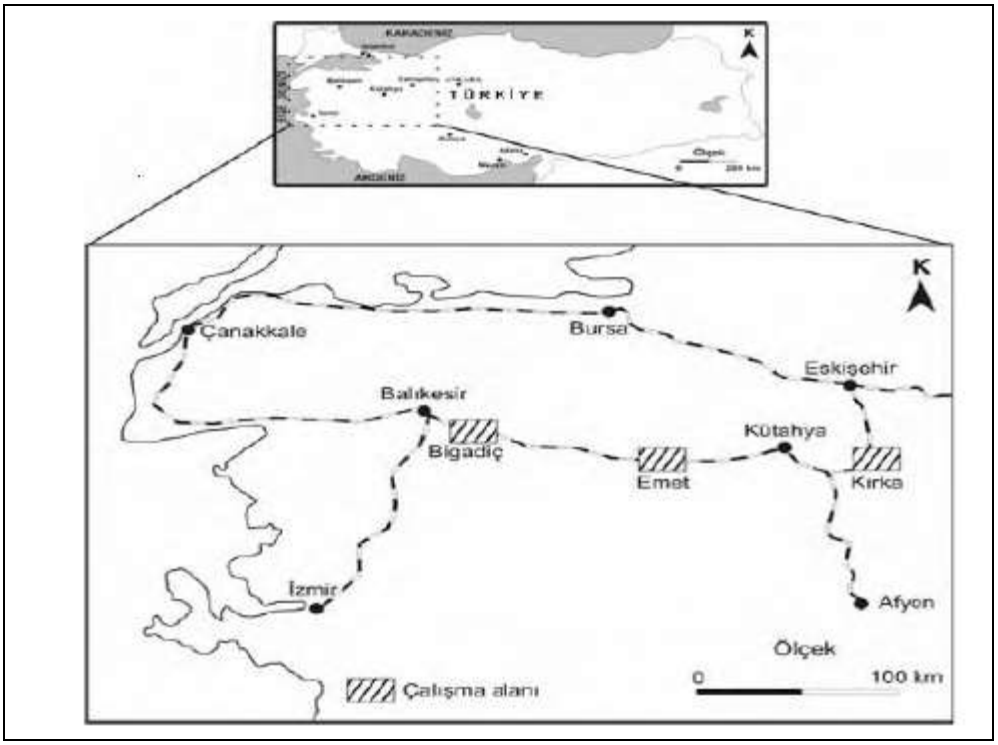
Şekil 4.3. Menderes (Cumaovası) genleştirme fırınının genel görünümü



Şekil 4.4. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmış genleştirilmiş perlit agregası

4.1.1.2. Kütahya (Emet-Espey) Kolemanit Minerali

Emet borat yatakları, Batı Anadolu'daki bilinen borat yataklarının orta kısmında, Eskişehir ve Bigadiç borat yataklarının arasında, Kütahya'nın batı kesiminde; Gediz, Simav ve Tavşanlı arasındadır. Borat yataklarının çökelme havzası kuzey-güney yönünde uzanmakta ve Emet nehrinin doğusunda, Dereköy'den hemen hemen Killik'e kadar olan alanda mostra vermektedir. Madencilik, Emet ilçesinin kuzeyinde bulunan Espey'de yapılmaktadır. Yatakların yer bulduru haritası Şekil 4.5' de verilmiştir.



Şekil 4.5. Emet-Espey bor yatağı yer bulduru haritası

Sahaların genel jeolojisi incelendiğinde, alt kireçtaşının çökelmesinden sonra, havzanın boyutu genişlemiş ve başlıca klastik sedimanlardan oluşan kırmızı seri çok hızlı bir biçimde oluşmuştur. Bu periyotta ki sedimantasyon oldukça hızlıdır ve ayrıca yakındaki kaynak kayaçlardaki erozyonun hızında belirtmektedir. Kırmızı serideki linyitin varlığı, çökelme havzasının zaman zaman sığ bir göl veya bataklık olduğunu göstermektedir (Helvacı ve Alaca, 1991).

Boratların; kil, tüf ve marn ile çevrilmiş ardalanmalı tabakalarının oluşumu, havza alçaldıkça devam etmiştir. Borat zonunun oluşumunun tamamlanmasından sonra, sedimanlar borat göllerinde biriktikçe, çökelme havzası alçalmış ve üst kireçtaşı oluşurken havzanın boyutu ve derinliği artmıştır. Çört, marn ve kil tabakaları içeren üst kireçtaşı biriminin çökelmesi ile sedimantasyon tamamlanmıştır (Helvacı, 1984).

Yapının en altında ince kömür kırıntılı marnlı killer, mikritik kireçtaşı, üste doğru orta kaba taneli kumtaşı, ortalama tane boyu 8 mm olan kuarsit, çört, kireçtaşı çakıllarından oluşmuş çakıltaşı ile kumtaşı içinde çört yumrucuklu kireçtaşı araseviyesinden ibarettir. Kumtaşı bolca mika pullan ve kil içerikli olup ince taneli olanları gevşek ve kaba taneli olanları çakıl ve çakılcıklı daha sıkı yapılıdır. Çakıltaşı ve kaba kumtaşlarında kalsiyum karbonat çimento %25-40 arasında değişir. Ayrıca, alttaki kireçtaşında ve ince marn arakatmanlarında bitki fosilleri ve gastropodlar bulunur. Diğer bazı yerlerdeki plaket kireçtaşında böcek fosillerine rastlanmaktadır. Alttaki kireçtaşı ve marnlar beyaz, sarımsı bej, orta ve üst kırıntılı bölüm kırmızı ve yeşilimsi renktedir.

Genel olarak Emet bölgesi yeşil, gri renkli killer içinde tüf , marn, kireçtaşı ardalanmasından oluşan ve ortalama 125 m kalınlığındaki bir kuşakta bulunur. Emet'in kuzeyinde Killik ve Espey mevkilerinde 40-50 m kolemanit seviyelerinin varlığına karşın, yamaç döküntü molozları nedeniyle geniş yüzleklerine rastlanmamıştır (Helvacı, 1977).

Çalışma kapsamında kullanılan diğer bir hammadde kaynağı ise Kütahya (Emet-Espey) bor minerallerinden konsantre kolemanittir. Ülkemizde Eti Maden İşletmeleri tarafından 800.000 ton/yıl kolemanit üretimi bulunmaktadır. Deneylerde %35 tenörde B_2O_3 içeren kolemanit minerali kullanılmak üzere temin edilmiştir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).

Numuneler araziyi temsil edecek şekilde cevher yığınlarının farklı kısımlardan numune alma yöntemleri kullanılarak alınmıştır. Kolemanit mineralinin, tuğla üretiminde bağlayıcılık özelliğinden faydalanılması düşünülmektedir.



Şekil 4.6. Emet-Espey Açık Ocak İşletmesi üretim hattı ve örtü tabakası



Şekil 4.7. Emet-Espey Ocağı kolemanit yığınları (0-3 mm)



Şekil 4.8. Kolemanit yığınlarından numune temini

4.1.1.3. Ankara (İmrahor) Kil Minerali

Ankara kent merkezinin güneydoğusunda yer alan İmrahor vadisi arazilerinin bulunduğu bölgedir. Arazinin denizden yüksekliği 914-1160 metreleri arasındadır. Bölgede zengin kil yatakları bulunmaktadır.

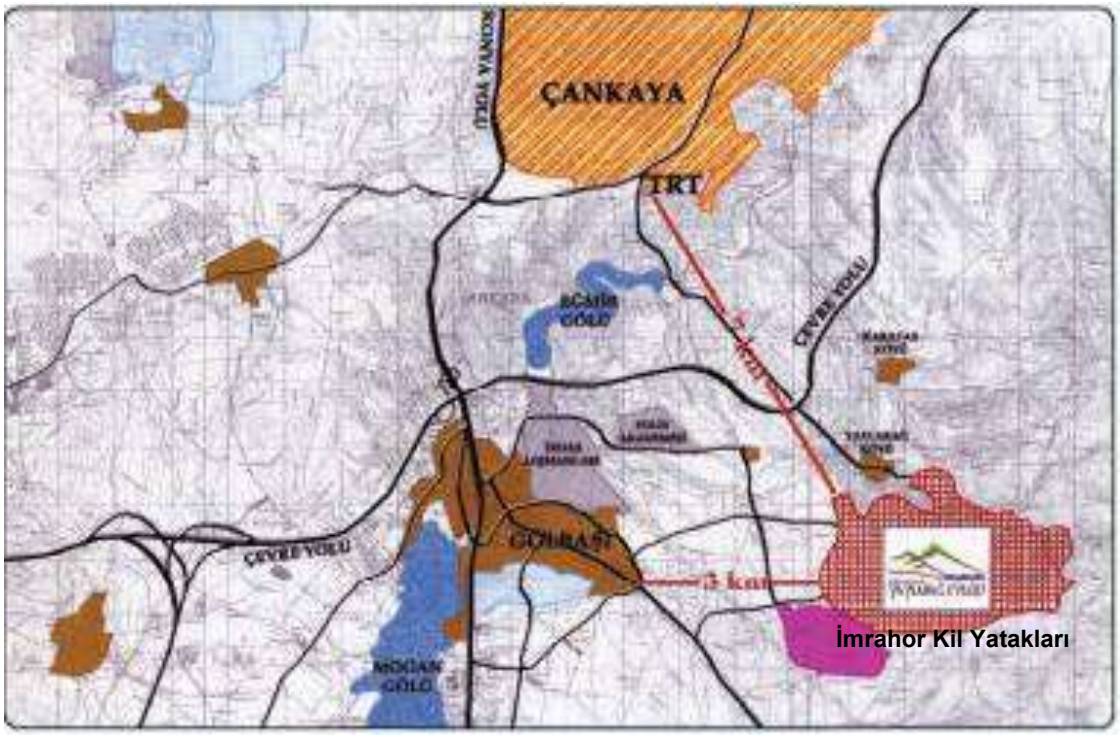
Yatakların genel jeolojisi incelendiğinde bölgede üç farklı jeomorfolojik gelişim şekli dikkati çekmektedir. Bunlar, vadi tabanı, yamaçlar ve sırtlardan plato düzlükleridir. En genç yaşlı jeolojik formasyon kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Bu kırıntılı birimler vadi boyunca yaygın olarak izlenirler. Vadinin yine her iki yamacında devam etmekte olan gölbaşı formasyonu da kırıntılı kayaçlardan oluşmuştur.

Bu kayaçların üzerinde kireç taşı, marn ve kumtaşlarından oluşan üst miyosen yaşlı kavaklı formasyonu yer almaktadır. Havzada en yaşlı birimler olarak sırasıyla

kretase yaşlı karadağ formasyonu, triyas yaşlı elmadağ, eymir formasyonları ve imrahor üyesi yüzeylenmektedir.

Karadağ formasyonu volkano klastiklerden, elmadağ formasyonu meta kırıntılardan, eymir formasyonu metamorfiklerden ve imrahor üyesi de kireç taşlarından oluşmuştur. İmrahor bölgesi kil yatakları çoğunlukla tabakalanmasız olup bazı yerlerde yatay tabakalıdır.

Kumtaşları ve çamurtaşları arasında moloz akması süreçleriyle oluşmuş konglomeralar yaygındır. Kumtaşı ve konglomeranın tane ve çakıllarını kuvarsit, bazalt, çeşitli kireçtaşları diyabaz, metamorfik kayaç parçaları, radyolarit, serpantinit ve gabro oluşturur. Çimento, kalsit ve kilden oluşmaktadır. Bu formasyon gri, boz, kırmızı renkli, tutturulmuş veya az tutturulmuş farklı kökenli konklomera ve kumtaşından oluşmaktadır. Bölgede fosile rastlanmamaktadır (ÖİK, 2001). Şekil 4.9' da İmrahor kil yataklarının yer bulduru haritası verilmiştir.



Şekil 4.9. İmrahor kil yatakları yer bulduru haritası (www.mta.gov.tr)

Üretilen kil cevherleri büyük oranda ateş tuğlası yapımında kullanılmaktadır. İmrahor bölgesine gidilmiş ve Güven Tuğla Sanayi A.Ş'den proje kapsamında kullanılmak üzere 100 kilo civarında kil numunesi alınmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. İmrahor bölgesinden kil numunesi temini

4.1.1.4. Kömür Tozu

Çalışmalarda kullanılan kömür tozu Set Çimento Fabrikasından temin edilmiştir. Kömür tozu, klinker pişirme amacıyla kullanılan petrokok ürünü artıklar olarak değerlendirilmektedir. Deneylerde katkı malzemesi olarak tercih edilmiş ve üretilen numunelerin homojen olarak pişmesini sağlayacağı düşünülerek kullanılmıştır.

Kömür tozu 6000 kcal civarında kaloriye sahiptir. Laboratuarda öğütüldükten sonra 1mm'lik elekten geçirilerek içindeki süreksizlikler uzaklaştırılmış ve katkı malzemesi olarak kullanılabilir hale getirilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Katkı malzemesi olarak kullanılan 1mm'lik elekten geçirilmiş kömür tozu

4.1.1.5. Karboksi Metil Selüloz (CMC)

Karboksimetilselüloz genelde gıda sektöründe yoğunlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Krem renkte ve toz halde bulunmaktadır. Su ile temas ettiğinde jel kıvama gelmekte ve sıcaklıkla temas ettiğinde bünyeden uçmaktadır. Deneylerde Merck kalitede CMC kullanılmıştır.

Deneylerde kimyasal bağlayıcı olarak kullanılan CMC, tuğlalara presleme esnasında şekil vererek doğal kurumayı sağlamak ve pişmeye kadar numunelerin bozulmasını engellemek amacıyla kullanılmıştır (Şekil 4.12).

4.1.2. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar

Deneyler de kullanılan pres makinesi, karıştırıcı, tuğla kalıp ve başlıkları Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü (BOREN) desteği ile yaptırılmıştır.

Üretilen tuğla numunelerinin mekanik mukavemet (tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm^2), nokta yük indeksi (kg/cm^2) ve sonik hız (m/sn) ve ısı ve ses yalıtım değerleri Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarlarındaki makine ve teçhizat kullanılarak belirlenmiştir. Deneylerin bir kısmı ODTÜ Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarlarında bulunan ekipmanlar kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.12. Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan CMC (karboksimetilselüloz)

Tuğla kalıpları ve başlıkları Ankara Ostim'de yaptırılmıştır. Kalıplar 80x80 cm ebadında ve 2 cm kalınlığında paslanmaz çelik plaka kullanılarak imal edilmiştir.

Deneylerde numunelerin üretiminde kullanılan pres Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarında mevcut olup 200 bar basınç sağlayabilmektedir. Tuğla hammaddesi mekanik karıştırıcı yardımıyla hazırlanmıştır.

Üretilen tuğla numuneleri 1200°C sıcaklığa çıkabilen fırın kullanılarak pişirilmiştir. Tuğlalar kür odasında 24 saat bekletilmiş ve doğal ortamda bünye nemi uzaklaştırılarak deneylere hazır hale getirilmiştir.

Numunelerin kimyasal, termal ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskop), EDS (Nokta Parametre) analizleri MTA'da bulunan makine ve teçhizat kullanılarak hizmet alımı ile yaptırılmıştır. Numunelerin mekanik özellikleri bölüm laboratuarlarında bulunan ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Üretilen tuğla numunelerinin ısı ve ses iletim değerleri Ç.Ü. Maden Müh. Bölüm laboratuarında bulunan ekipmanlar kullanılarak yapılmıştır.

Isı iletim katsayısı (W/mK) değerleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuarında bulunan KEMQTM 500 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tuğlaların ısı tutma deneyi (Cp) İYTE'de bulunan TA Insturument-Q 10 DSC cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tuğlaların nötron tutma özelliğinin belirlenmesi için TAEK bünyesinde bulunana Büyük Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi laboratuarlarındaki cihazlar kullanılmıştır.

4.1.2.1. Pres (Baskı) Kalıp Makinesi

Makine Adana sanayi bölgesinde yaptırılmıştır. Pres makinesi hidrolik kollu aşağı yukarı hareket edebilen oynar başlıklı, portatif kullanılabilecek şekilde ve 60x60 cm ebadında hazne açıklığına sahip olup 200 bar basınç uygulayabilecek şekilde imal edilmiştir (Şekil 4.13).

Deneylerde, tuğla numunelerinin üretiminde uygulanacak basınç değerinin belirlenmesi ve optimize edilmesi önemlidir. Bu nedenle makine bünyesinde bulunan basınç gösterge ibresi sayesinde, numune pres basınç değeri istenilen değerlerde uygulanarak kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.13. Pres kalıp makinesi (a: basınç göstergesi, b: hidrolik kol, c: pres başlığı, d:: kalıp başlığı)

4.1.2.2. Tuğla Kalıp ve Başlıkları

Tuğla kalıpları ve başlıkları Ankara-Ostim sanayi'de yaptırılmıştır. Kalıplar 80x80 cm ebadında ve 2 cm kalınlığında paslanmaz çelik plaka kullanılarak ve 250 bar basınca dayanıklı olacak şekilde imal edilmiştir. Kalıplar 4 farklı (100x50x100 mm, 100x150x100 mm, 100x200x100 mm ve 100x250x100 mm) ebatlarda lazerle kesilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir (Şekil 4.14). Tuğla kalıp duvarları vidalama geçme sistemi ile takılıp sökülebilmekte ve numuneler kalıp içersinden kolaylıkla alınabilmektedir.

Pres başlıkları 2 cm kalınlığında paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Preslemede kullanılan makine hidrolik aksanına portatif takılabilecek şekilde üretilmiştir. Başlıklar, tuğla üretim esnasında kolaylıkla takılıp sökülecek şekilde tasarlanmış ve kalıp içinde hazırlanmış tuğla hammaddesine şekil vermek amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. Deneylerde kullanılan çelikten imal kalıplar



Şekil 4.15. Deneylerde kullanılan çelikten imal başlıklar

4.1.2.3. Mekanik Karıştırıcı

Tuğla hammaddesini homojen olarak karıştırmak için yatay ve ayarlanabilir sabit hızla dönebilen mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Mekanik karıştırıcının, karıştırma süresi ve hızı ayarlanabilmektedir.

Karıştırıcı 0,5-1 dm^3 hacme sahip olup tek seferde değişik ebatlarda 15-20 adet tuğla üretilebilecek hammadde karıştırılabilmektedir. Şekil 4.16'da hammadde üretiminde kullanılan karıştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mekanik karıştırıcı

4.1.2.4. Numune Pişirme Etüvü

Yapılan bu tez çalışmasında farklı karışım ve zaman dilimlerine bağlı olarak üretilen perlit tuğla örneklerinin pişme sıcaklığı, süresini ve ısı iletim katsayısını tespit etmek amacıyla deneylerde Şekil 4.17'de gösterilen 3 hazneli etüv kullanılmıştır.



4.17. Deneylerde kullanılan numune pişirme etüvü

Sıcaklık değişimi etüv üzerinde bulunan dijital bir düğme ile istenilen sıcaklık seviyesinde ve süresinde pişme yapılabilmektedir. Deneylerde kullanılan bu etüv üretilen tuğlaların sıcaklık değişimi ve süresinin optimizasyonunun tespitinde önemli bir yer tutmaktadır.

Etüvün 1. ve 3. ısı derecesini ölçmek için etüve bağlı 1200°C ye kadar ölçüm yapabilen ve istenilen sıcaklığa ayarlanıp etüvü istenilen sıcaklıkta sabit tutabilen dijital bir termometre bulunmaktadır.

Etüv 3 hazneden oluşmaktadır. Birinci hazne ısıyı üreten kısım olup sıcaklık 1200°C ye kadar çıkabilmektedir.

İkinci hazne, ısı iletim katsayısı tespiti istenen malzemelerin konduğu ve yalıtımın sağlandığı kısımdır.

Üçüncü kısım ise izolasyon değeri istenen malzemeden geçen ısı miktarının bulunduğu ve ne kadarlık bir ısı miktarının geçtiğinin ölçüldüğü haznedir. Isısal parametrelerin, perlit tuğla karışım hesaplarında yer alacak malzeme oranları üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır.

4.1.2.5. Ses Ölçüm Cihazları

Deneyler, bölüm malzeme laboratuarında bulunan ve yapı malzemelerinin ses geçirgenliğini belirleyen düzenek kullanılmıştır. Ses yalıtım deneyleri, duvarları dışarıdan etkilere maruz kalmayacak şekilde izole edilmiş kapalı bir odada gerçekleştirilmiştir. Ses seviyesi ölçer olarak, DT-8820 model dijital dB metre kullanılmıştır. Kullanılan bu cihaz ile, 30-130 dB ses şiddeti seviyesi aralığında 0,1 dB çözünürlük ile 1 dB hassasiyette ölçüm yapılabilmektedir. Ölçüm esnasında, özel kondanser mikrofon, ses kaynağına doğru yönlendirilmektedir. Ses kaynağını içeren deney düzeneğinin karşısında, hoparlörden 1m ötede pozisyonlandırılan ses seviyesi ölçer ile, amfi tam güçte işaret üretirken uygulanan frekans bandına bağlı olarak 30-130 dB arasında bir değer ölçülmektedir (Erdoğan, 2007).

Ses yükseltici olarak, Master M-323 mono amfi kullanılmıştır (Şekil 4.18). Amfi, maksimum 75 W ses gücü verebilmektedir. Ses işaret üreticisi olarak "ses sinyal üretici" cihazı kullanılmıştır. Kullanılan cihaz Şekil 4.15'de ses yükselticisiyle birlikte genel görünümü verilmiştir. Bu cihaz, istenildiği takdirde, birinci kademede 10 Hz' den başlayarak onuncu kademede 1 MHz'e kadar işaret üretebilmektedir.



Şekil 4.18. Amfi ve ses sinyal üreticisi

Üretilen yapı malzemesinin ses geçirgenliği, Şekil 4.19'da görülen ölçüm düzeneğinde ses yalıtım büyüklüğü ölçülecek olan perlit tuğlanın kutu içerisine yerleştirildikten sonra, ayni frekans değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler kaydedilmektedir. Buradan elde edilen değer farklılıkları ile bir malzemenin gürültü azalması veya ses yalıtım değeri belirlenebilmektedir.

Ses ölçümleri için hazırlanmış odanın bazı bölgelerindeki ses şiddeti seviyesi, kaynağın ses, kaynağın ses şiddetinden bile daha yüksek olmakta ve bu şekilde "rezonans" oluşumuna neden olmaktadır. Bu nedenle, çalışmada kullanılan ortamın duvarlarında, uygun absorbant malzemeler kullanılarak, büyük oranda yankısız bir oda tasarlanmıştır (Erdoğan, 2007).



Şekil 4.19. Perlit tuğla yerleştirilmiş ses ölçüm haznesi

4.1.2.6. Sonik Hız Test Cihazı

Kayaçların P dalga geçirimliliğinin belirlenmesi amacıyla deneyler ISRM (1981)'e göre yapılmıştır. Bu deneyde kullanılmak üzere 100 adet değişik ebatlarda tuğla numunesi hazırlanmıştır. Numunelerin enini ve boyunu ölçmek için kumpas, örneklerin alıcı ve vericiye temas eden yüzeylerine sürmek için ise gres yağı kullanılmıştır. C.N.S. Elektronik tarafından üretilen RS 232 model, mekanik sinyali elektrik sinyale dönüştüren bir alıcı, elektronik sinyalleri mekanik sinyallere dönüştüren bir verici ve gönderici ile alıcı arasındaki bağlantıyı sağlayan bir çevirgeç ünitesinden oluşan sismik bir ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.20).

P dalga hızı laboratuarlarda doğrudan yada dolaylı olarak ölçülebilir. Dolaylı yöntemler doğrudan yöntemlere kıyasla daha kolaydır. Bu nedenle eğer doğrudan P dalga hızı ile dolaylı P dalga hızı arasında güçlü bir ilişki kurulabilse, doğrudan P dalga hızı değeri, dolaylı ölçümlerden tahmin edilebilir ve böylece ölçümleri daha da kolaylaştırabilir (Kahraman, 2002).



Şekil 4.20. Sonik hız test cihazı

4.1.2.7. Basınç Dayanım Cihazı

Üretilen perlit tuğlaların mukavemet testleri, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü malzeme laboratuarında bulunan dijital mekanik pres kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.21'de gösterilen mekanik pres, 5000 kg yük kapasiteli, 1kg hassasiyette, 50mm/dk yükleme hızıyla hareket eden, dijital göstergeli ve mekanik motorla çalışan bir cihazdır. Bu cihaz, numune sıkışamaya başladığında ve kırılma anındaki maksimum yük değerini ekranda tutabilmekte ve ölçümlerdeki hata payını oldukça düşürmektedir.

Numuneler, basınç deneyi yapılmadan önce, kalıplardan kaynaklanan üst yüzeylerindeki pürüzlülük nedeni ile zımparalanarak düzeltilmiştir. Böylece pres tablasının numune yüzeyi ile tam olarak teması sağlanarak ölçümlerdeki hata payı minimuma indirilmiştir. Üretilen tuğlaların mukavemet değerleri belirlenirken, doğru ve güvenilir sonuç almak için numune hazırlama ve alma işlemleri numune alma yöntemlerine uygun şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.21. Basınç dayanım cihazı

4.1.2.8. Nokta Yükleme Aleti

Deney için, yükleme pompası, yük göstergesi, konik başlıkları ve ölçüm cetvelinden oluşan ELE marka 77-0110 standart nokta yükleme aleti kullanılmıştır.

Tuğla numunelerinin boyutlarının belirlenmesi için kumpas kullanılmıştır. Deneyler ISRM, 1981'e göre yapılmıştır. Deney yöntemi olarak numune eksenine dik yönde yükleme yapılan eksensel yöntem seçilmiştir.

Çalışmalarda kullanılan nokta yük deney aleti Şekil 4.22'da verilmektedir. Nokta yük deneyleri, farklı abat ve reçetelerde üretilen tuğla numunelerinin her birinden 10 adet numune kullanılarak yapılan deneysel çalışmaların sonuçları kaydedilerek belirlenmiştir.



Şekil 4.22. Nokta yükleme aleti

4.1.2.9. Kare Gözlü Elekler

Deneyler BOREN Laboratuarındaki kare gözlü elekler kullanılarak yapılmıştır. Bir agrega yığını içersindeki tanelerin, büyüklüklerine göre gösterdikleri dağılım oranına granülometri (gradasyon) denilmektedir. Agrega yığınının

granülometrisinin saptanmasında, agrega taneleri büyüklüklerine göre sınıflara ayrılır. Her boy gurubundaki tanelerin toplam ağırlıkları bulunarak, bunların tüm agrega içersinde ne oranda yer aldığı saptanır.

Granülometri olarak isimlendirilen, agrega tanelerinin büyüklüklerine göre dağılım oranı, elek analizi denilen bir yöntemle bulunabilmektedir.

TS 130'a göre elek analizi deneyinde, 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm kare göz açıklıklı elekler kullanılmıştır (Şekil 4.23).

Deneylerde elekler, en büyük göz açıklığı olan en üstte, daha küçük olan bir altta ve en küçük olan en altta olacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru dizilir. En küçük elekten geçebilecek olan agregayı da yerlere dökülmeden bir arada tutabilmek amacıyla, en küçük göz açıklı eleğin altına da delikleri olmayan bir kap yerleştirilir.



Şekil 4.23. Kare göz açıklı elekler

Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş agrega numunesi, en büyük elek üzerine yerleştirilir ve titreşimli vibratörde sağa-sola ve yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılır her elek üzerinde ağırlıkça, yüzde ne kadar agrega kaldığı hesaplanır. Böylece değişik boy sınıfındaki agrega miktarı, agreganın tane dağılımı belirlenir (TS 130).

Daha kolay görülebilmesi için yüzde olarak ifade edilen elek analizi sonuçları, genellikle yarı logaritmik bir grafik üzerinde eğri şeklinde gösterilir. Böyle bir grafikte, elek boyutları yatay eksen üzerinde, agrega yüzeyleri de düşey eksen üzerinde gösterilir.

4.2. Metod

Bu tez çalışmasında, doğal yapı malzemelerinden Menderes perlitleri genleştirilerek ana hammadde ve Emet kolemanitleri ile İmrahor kil minerali bağlayıcı olarak kullanılması düşünülmüştür. Kullanılan malzemelerin gözenekli yapısı, hafifliği, kayaç yapısı incelenip endüstriyel alanda kullanılması amaçlanmaktadır. Numune örneklerinin iç bileşenlerindeki mineral yapılarının tespiti için kalitatif mineralojik ve petrografik analizleri yapılarak malzemelerin türleri tanımlamaya çalışılmıştır.

Malzeme üretiminde kullanılmak üzere arazinin değişik bölgelerinden temin edilmiş numuneler, Maden Mühendisliğinin bölüm laboratuarlarına gönderilerek burada kırıcı ve öğütücüden geçirilmiştir. Hazırlanan hammaddeler 1 mm'lik elekten geçirilerek bünyelerinde bulunan safsızlıklardan uzaklaştırılıp homojen olarak katkı malzemesi olarak kullanılabilir hale getirilmiştir.

Bu aşamadan sonra, kullanılan hammaddelerin ve üretilen yapı malzemelerinin kimyasal bileşimleri (XRF), minerolojik bileşimleri (XRD), SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri, yüzey alanı ölçümleri, kızdırma kaybı, TG-DTA çekimleri ile termal, fiziksel ve mekanik özellikleri, deneysel analizlerle tespit edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, TS 706' ya uygun olarak bulunan perlit örneklerinden, tuğla üretimi için en uygun karışım oranının tayini amacıyla, kil

ve bor katkısı ile karışım reçeteleri hazırlanmış, hazırlanan reçetelerden sonra en yüksek mukavemete sahip en düşük birim hacim ağırlığı değerini veren karışım miktarları deneme yanılma yoluyla tespit edilmiştir.

Bor ve kil katkısı ile ayrı ayrı üretilen perlit tuğlaların en yüksek mukavemet değerleri ele alınmış ve nihai ürün üretimi için katkı malzemesi miktarları belirlenmiştir. Ayrıca, kontrol numunesi katkısız olarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin karışım yüzdelerinin belirlenmesi ile birlikte pres basınç değeri, pişme sıcaklığı ve süresi belirlenerek optimize edilmiştir.

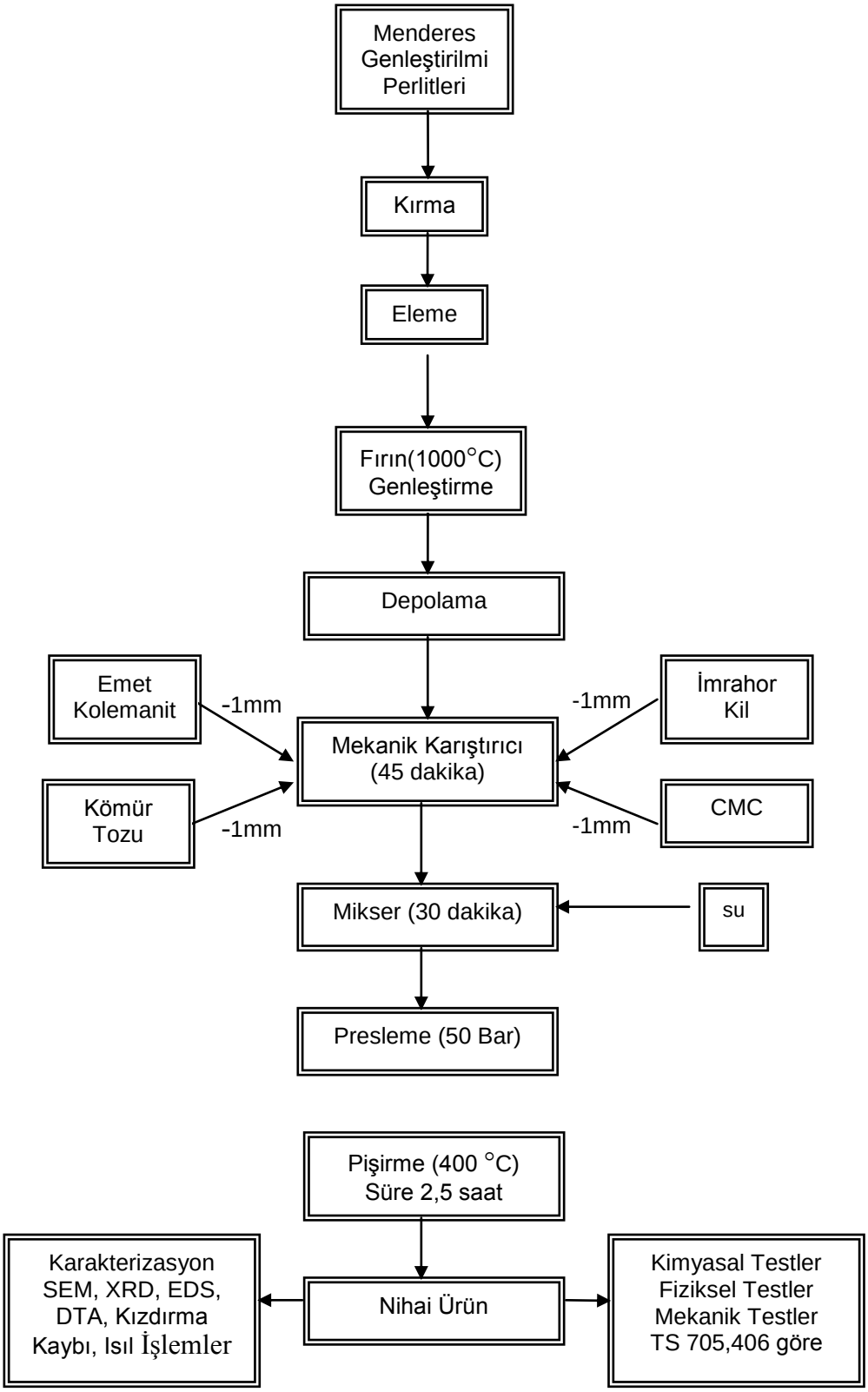
Uygun karışım miktarlarının bulunmasında temel unsur olarak üretilen tuğlaların mukavemet değeri esas alınmıştır. Elde edilen en yüksek mukavemetli karışımdan sonra üretilen tuğla numunelerinin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmesi için testler yapılmıştır. Üretilen tuğla numunelerinin ısı ve ses iletim değerleri belirlenerek TS 415'e uygunluğu araştırılmıştır.

Farklı karışımlarda hazırlanan numunelerin fizikomekanik ve teknolojik özellikleri incelendikten sonra endüstriyel alanda kullanılan diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Üretilen numunelerin kalite parametrelerini belirlemek amacıyla farklı karışım oranları denenerek en uygun reçete tespit edilmeye çalışılmıştır.

Belirlenen nihai reçeteden sonra farklı ebattaki 4 ayrı kalıpta (5x10x10 cm, 10x15x10 cm, 10x20x10 cm ve 10x25x10 cm) üretilen tuğla numunelerinin boyut analizi yapılarak 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük kür sürelerinde fizikomekanik özellikleri ile ısı ve ses iletim değerleri belirlenerek TS normlarına uygunluğu araştırılmıştır.

Nihai ürünlerin SEM, XRD analizleri ve nötron tutma özelliği belirlenmiştir. Deneyler MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü) ve TAEK (Atom Enerjisi Kurumu)'de gerçekleştirilmiştir.

Malzemelerin ısı iletim katsayısı İYTE ve ses geçirgenliği, fiziksel ve mekanik özellikleri ise bölüm laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde laboratuarda üretilmiş 10'ar adet tuğla numunesi kullanılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanarak kaydedilmiştir. Şekil 4.24'de numune üretim prosesi akım şeması verilmiştir.



Şekil 4.24. Tuğla üretim prosesi akım şeması

4.2.1. Kimyasal Analiz

Deneylerde kullanılan hammaddeler (Emet kolemanit, İmrahor kil, CMC, kömür tozu) araziden getirilen numunelerden kırılıp öğütülüp elendikten sonra parçalar alınarak kompozisyonunu belirlemek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Alınan örneklerin kimyasal analizleri XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) kullanılarak MTA'nın teknoloji laboratuarlarında yapılmıştır.

Kimyasal analizlerle, hammadde ve üretilen numunelerin sıcaklık etkileşiminde oluşan ve kaybolan mineral dalgalanmaları ile beraber başlıca; SiO_2, Al_2O_3, FeO, CaO, MgO, B_2O_3 gibi içerikleri tespit edilmiştir.

X-ışınları yüksek enerjili elektronların yavaşlamasıyla veya atomun iç orbitallerindeki elektronların elektronik geçişleri ile oluşturulan kısa dalga boylu elektromanyetik ışınlardır (Jenkis ve ark., 1995).

4.2.2. Petrografik İnceleme

Araziden getirilen malzemelerden petrografik incelemelerin gerçekleştirilmesi için örnekler alınarak 0,02 mm kalınlığında ince kesitler yapılmıştır. Bu kesitler üzerinde polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile paleontolojik incelemeler yapılmıştır.

4.2.3. Fiziksel Deneyler

Deneylerde kullanılan hammaddeler ve üretilen numuneler üzerinde; birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, porozite ve sonik hız gibi fiziksel özelliklerin tespiti için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler TS 699, TS 705 ve TS 3529 gibi doğal yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerini veren standartlara uygun olarak yapılmıştır.

4.2.3.1. Birim Hacim Ağırlık

Bu deney, doğal yapı malzemelerinin ve üretilen tuğlaların yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini amacı ile yapılmaktadır. Deney TS 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler 4.1 ve 4.2 nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\rho = \frac{W}{V} \tag{4.1}$$

$$\gamma = 9.81 \times \rho \tag{4.2}$$

ρ: Yoğunluk (g/cm^3)

γ: Birim hacim ağırlık (kN/m)

W : Örnek ağırlığı (g)

V : Örnek Hacmi (cm^3)

4.2.3.2. Su Emme Oranı

Ağarlıkça ve hacimce su emme deneyi kayaç örneklerinin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, içerdikleri boşlukların alabileceği su miktarının hesaplanması amacı ile yapılmaktadır. TS 699 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler 4.3 nolu eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$A_w = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \tag{4.3}$$

A_w : Ağarlıkça su emme oranı (%)

W_s : Suya doyurulmuş örnek ağırlığı

W_d : Kuru örnek ağırlığı (g)

4.2.3.3. Porozite ve Boşluk Oranı

Düzenli bir geometriye sahip kayaç örneklerinin gözenekliliğinin ve boşluk oranının belirlenmesi amacı ile yapılmaktadır.

Bu deneyde kullanılan aletler, cam beher, kumpas, (0,1 mm hassasiyetli), terazi (0,1 g hassasiyetli), saf su (beheri dolduracak miktarda) ve fırın ((105±5 °C)'dır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler 4.4 ve 4.5 nolu eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\eta = \frac{V_v}{V} \times 100 \tag{4.4}$$

$$V_v = \frac{W_s - W_d}{\rho} \times W \tag{4.5}$$

η : Porozite (%)

V_v : Boşluk hacmi (cm^3)

V : Kütlesel hacim ($x10^{-9}m^3$)

W_s : Suya doyurulmuş örnek ağırlığı (g)

4.2.3.4. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık tayini kayacın veya zeminin bağıl yoğunluğunun ölçümü ile ilgilidir. Çalışma sahasının değişik yerlerinden alınan temsili numuneler 0,2 mm elek açıklığı olan eleklerden geçecek şekilde öğütülür ve sabit ağırlığa gelinceye kadar 105°C sıcaklıkta etüvde kurutularak, oda sıcaklığına kadar desikatör içinde soğutulur. Deneyde kullanılan aletler, piknometre, saf su (beheri dolduracak miktarda) cam plaka, pipet, etüv, terazi ve desikatör'dür.

Deney sonucunda elde edilen veriler 4.6 nolu eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{W_4 - W_1 - W_3 - W_2} \tag{4.6}$$

G_s : Özgül ağırlık (bağıl yoğunluk)

W_1 : Piknometre ağırlığı (g)

W_2 : (Piknometre + deney numunesi) ağırlığı (g)

W_3 : (Piknometre +deney numunesi + su) ağırlığı (g)

W_4 : (Piknometre + su) ağırlığı (g)

4.2.4. Mekanik Deneyler

Perlitten üretilen yapı malzemesi (tuğla) örneklerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla,

- tek eksenli basma dayanımı,
- nokta yük dayanımı,
- sonik hız, gibi deneyler yapılmıştır.

Bu deneyler TS standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.4.1. Tek Eksenli Basma Dayanımı

Basma dayanımı, üzerine uygulanan basma yüklerine karşı kayaların kırılmadan önceki dayanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Hazırlanan karot örnekleri hidrolik pres çelik plakalar arasına yerleştirilmektedir. Kırılmaya bırakıldığı andaki numunenin kırıldığı andaki yükü P, numune yüzey alanı A ve tek eksenli basınç direnci σ_b ile gösterilmekte ve 4.7 nolu eşitlik ile hesaplamalar yapılmaktadır.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \tag{4.7}$$

σ_b : Basma dayanımı (kg/cm^2)

P : Uygulanan yük (kg)

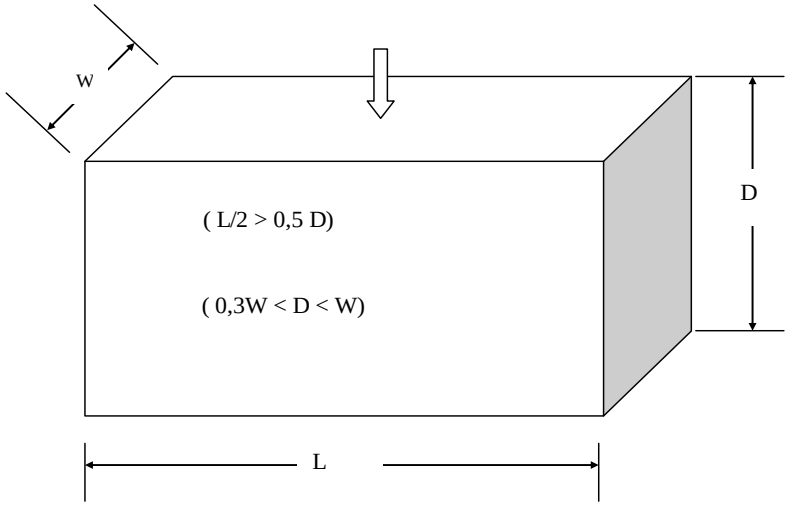
A : Numune yüzey alanı (cm^2)

Prese ekstansometre bağlanarak her P yükünde bir ΔL deformasyon değeri elde edilmektedir. Elde edilen ΔL değerleri parçanın deneyden önceki uzunluğuna bölünerek $\Delta L/L = \varepsilon$ her P yükü için deformasyon değeri elde edilmektedir.

4.2.4.2. Nokta Yük Dayanımı

Nokta yük deneyi, kayaçların tek eksenli basınç dayanımını tahmin etmek için uygulanmıştır. Deney yöntemi olarak numune eksenine dik yönde yükleme yapılan eksenel yöntem seçilmiştir.

Bu deney için her bir ebatta en az 10 cm boya sahip, her bir deney için en az 8 adet numune örneği hazırlanmıştır. Şekil 4.25'de deneylerde kullanılan numunelerin genel görünümleri verilmiştir.



Şekil 4.25. Nokta yük dayanımı belirlenen numunelerin kesit görünümü

ISRM, 1981'e göre yapılan deneyler sonucu bulunan ortalama nokta-yük dayanım değerleri 10 cm yükseklikteki numunelere göre standartlaştırılarak Is_{50} değerleri tespit edilmiştir. Hesaplamalar için düzetilmemiş nokta yük indeksi Is;

$$Is = P/De^2 \quad (4.8)$$

De : Eşdeğer numune çapı (cm)
De^2: D^2 (Çapsal deneyde, cm)
De : $4A/\pi$ (Eksenel deney, blok ve düzensiz örnekler, cm)
A : W.D (Örnek en küçük kesit alanı, cm^2)

Boyut düzeltmesinde Is değeri, çapsal deneyde D' nin diğer deney türlerinde ise De'nin fonksiyonu olarak değişir. Bu nedenle Is değeri eş değer numune kalınlığı (De = 50 mm) göre düzeltilmiştir. Bu maksatla nokta yük dayanım indeksi eşitlik 4.9 ve 4.10'da verilen bağlantılar kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Is_{(50)} = FxIs \quad (4.9)$$

$$F = (De/50)^{0,45} \text{ (Boyut düzeltme faktörü)} \quad (4.10)$$

4.2.4.3. Sonik Hız Deneyi

Sonik hız deneyi, kayaç örnekleri içersinden geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yaralanılarak, malzemelerin basınç dayanımları, gözenek yapısının ve poisson oranının belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanabilmektedir. Deneyler ISRM (1981)'e göre yapılmıştır.

Aynı ebatta hazırlanan numuneler doygun hale gelene kadar suda bekletilmiştir. Doydun haldeki numunelerin yüzeyi kurulandıktan sonra alt ve üst yüzeylerine gres yağı sürülerek kalibrasyonu yapılmış olan ultrasonik dalga cihazının verici ve alıcısı arasında tutularak elektronik sinyallerin numuneyi katettiği hız

değerleri tespit edilmiştir. Ayni işlemler, örnekler etüvde kurutulduktan sonra tekrarlanmıştır. Böylece tuğlaların doygun ve kuru haldeki P dalga hızları tespit edilmiştir.

P ve S dalgaları için yayılma hızının hesaplanması için 4.11'deki eşitlik kullanılmıştır.

$$V = (L/T)x10^{6} \quad (4.11)$$

V : Dalganın yayılma hızı (m/sn)
L : Deney örneğinin boyutu (m)
T : Dalganın etkin ilerleme hızı (sn)

4.2.5. Kalitatif ve Yarı Kantitatif Analiz (XRD)

X-ışını tüpünden elde edilen ışınla uyarılan hiçbir ön işleme uğramamış numune daha sonra analiz bitince tekrara eski halinde değişmeksizin kalmaktadır. Dalga boyu ayrımlı cihazlarda yatay eksen genellikle 2θ cinsinden verilmekte olup bu değer monokromatörün kristal açıklığı bilindiği takdirde kolaylıkla dalga boyuna çevrilebilmektedir.

Ardından elementlerin emisyon çizgilerini içeren çizelgedeki değerlerle karşılaştırılarak pikler belirlenmektedir (Skoog ve ark, 1998).

4.2.6. Termal Yöntemler

4.2.6.1. Termogravimetrik Yöntemler (TG)

Bu analizde kontrol edilen bir atmosferdeki bir numunenin kütlesi, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak artan sıcaklığa (zamanla doğrusal olarak) karşı kaydedilmektedir. Kütlenin veya kütle yüzdesinin zamana karşı grafiği termogram veya termal bozunma eğrisi olarak adlandırılmaktadır.

Termogravimetri analizleri için kullanılan cihazlarda duyarlı bir analitik terazi, fırın, inert gaz atmosferi temin etme sistemi ve cihaz kontrolü ve veri değerlendirilmesi için mikro bilgisayar/mikro işlemci bulunmaktadır. Ayrıca deney sırasında gaz atmosferini değiştirebilmek için isteğe bağlı temin edilen başka bir gaz süpürme sistemi de bulunabilmektedir (Skoog ve ark, 1998).

4.2.6.2. Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Bu yöntemde, numune ve referans madde arasındaki sıcaklık farkını uygulanan sıcaklığın fonksiyonu olarak incelemktedir. Genellikle sıcaklık programı uygulanırken numunenin sıcaklığı T_s zamanla doğrusal olarak artacak şekilde, numune ve referans maddesi ısıtılmaktadır. Numune ve referans madde sıcalığı T_r arasındaki fark $\Delta T = T_r - T_s$ izlenerek grafikleme işlemi yapılmaktadır (Skoog ve ark, 1998).

4.2.7. Özgül Yüzey Alanı Ölçümü

-198 °C' deki sıvı azot ortamında azot (N_2) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak bilgisayar donanımlı cihaz ile katıların m^2/g olarak yüzey alanları ölçülebilmektedir. Bu yöntemle özellikle katı maddelerin kendi aralarındaki kristal yapı farklılıklarının ve aynı bir maddenin farklı sıcaklıklarda ısıl işlem görmesi veya asit vb. kimyasallarla muamelesi sonucunda mikro yapılarında meydana gelen değişikliklerin incelenmesi sağlanmaktadır. Minimum 0.01 m^2/g değerine kadar ölçüm yapabilmektedir. Sonuçlar bilgisayar monitöründen multi-point BET yüzey alanı, single-point BET yüzey alanı ve multi-point Langmuir yüzey alanı değerleri şeklinde alınabilmektedir (Skoog ve ark., 1998)

4.2.8. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)

Taramalı elektron mikroskopta, katı numune yüzeyi raster düzeninde yüksek enerjili bir elektron demeti ile atarnmaktadır. Bu teknikte yüzeyden çeşitli sinyaller

oluşturulmaktadır. Bunlar geri saçılmış elektronlar, ikincil elektronlar, Auger elektronları, X-ışını floresans fotonları ve değişik enerjili diğer fotonlardır.

Bütün bu sinyaller yüzey çalışmalarında kullanılmış olmakla birlikte bunların içinde en yaygın olan iki tanesi taramalı elektron mikroskopisinin temelini oluşturan geri saçılmış ve ikincil elektronlar ve elektron mikroprob analizinde kullanılan X-ışını emisyonudur (Skoog ve ark., 1998).

4.2.9. Hammaddeler Üzerinde Yapılan İncelemeler

4.2.9.1. Kızdırma Kaybı

Kullanılan hammaddeler ve üretilen numunelerin özellikle yangın gibi yksek sıcaklık gösteren bölgelerde, agrega ve bağlayıcıların sıcaklık etkisiyle bileşimleri bozulmakta ve kütle kaybına uğramaktadır. Bu amaçla hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılması düşünülen hammaddelerin sıcaklık etkisiyle bir kayıp olup olamadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Deney TS 32 (1999)'ye ve TS 1114 EN 13055-1 standartlarında öngörülen deneylerin sonucunda hammaddedeki kızdırma kaybı ağırlıkça %5'den fazla olmaması istenmektedir. Analiz sonuçları ise eşitlik 4.12 'ye göre hesaplanmaktadır.

$$KK = \frac{B - C}{B - D} x100 \qquad (4.12)$$

KK : Kızdırma kaybı (%)
D : Krozenin kütlesi (g)
B : Kroze+deney numunesinin deneyden önceki kütlesi (g)
C : Kroze+deney numunesinin deneyden sonraki kütlesi (g)

4.2.9.2. Agreganın İnce Madde Oranı Analizi

Genleştirilmiş perlit agregalarının ana hammadde olarak tuğla yapımına uygun olup olmadığının belirlenmesinde yapılan deneylerden bir diğeride pomza agregasında bulunan ince maddelerin analizidir.

Bu deney genel itibariyle TS 1114 EN 13055-1 standartlarında belirtilen kriterlerin altında, 0,063 mm açıklığındaki bir elekten malzemenin elenmesi ve elek altında kalan malzemenin elek üstündeki malzemelerle yüzde olarak oranlanmasıyla tespit edilen bir deney olarak adlandırılmıştır.

Deney yıkama yöntemine göre yapılmıştır. Bu yöntemde, 0.063 mm'lik elek açıklığına sahip elek kullanılarak yaş ortamda agregaların yıkanması prensibine dayanır. Bu yöntemde yıkama sonrasında, elek altında kalan agrega miktarı ile elek üstündeki agrega miktarının oranlanmasıyla ince madde oranı belirlenmektedir. Genleştirilmiş perlit agregasında ince madde oranının tayini eşitlik 4.13'e göre belirlenmektedir.

$$Im = \frac{W - Wa}{W} x100 \qquad (4.13)$$

Im : 0,063 mm elekten geçen agreganın yüzdesi(%)

W : Yıkama öncesi kuru malzeme ağırlığı (g)

Wa : Yıkama sıonrası kurutulmuş toplam elek üstü malzeme (g)

4.2.9.3. Organik Made İçeriği

Organik maddeler**,** yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılacak agregaların bileşiminde bulunması büyük sakıncalar yaratmaktadır. Özellikle organik bileşiklerin varlığı yapı malzemesinin mukavemetini düşürdüğü gibi zamana bağlı olarak paslanma, yumuşama ve en önemlisi bağlayıcı olarak kullanılan hammaddelerin sıcaklık reaksiyonlarına etki ederek bağlayıcı özelliğinin düşürme hatta kaybettirme yeteneğine sahiptir.

Genleştirilmiş perlit agregası %3-5 arasında değişen NaOH kimyasal bileşimine 24 saat maruz bırakılarak aldığı renkler belirlenmiştir. Deney TS EN 1744-1'de belirtilen kriterlere göre yapılmıştır.

4.2.10. Isı ve Ses İzolasyonu

4.2.10.1. Isı İletimi

Yapı amaçlı olarak kullanılan malzemelerde (youtong, bimsblok, briket, tuğla, hazır beton vb.) ısı iletkenliği ile akustik konforun sağlanması , günümüzde temel olarak aranılan özelliklerin başında gelmektedir. Bu bakımdan inşaat yapı malzemelerinin fizikomekanik özellilerinin yanı sıra, ısı iletkenliğinin belirlenmesi, detaylı bir çalışma gerektirmektedir (Erdoğan, 2007).

Yapıların ısı konfor hesaplamaları, bina ısı yalıtım analizlerinde, günümüz ısı yönetmelikleri bakımından önemli bir konu olmuştur. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yürürlüğe konana "Binalarda Isı Yönetmeliği" ve 2000 yılında yürülüğe giren " TS 825 Isı Yalıtım Standardı" yeni yapılan konutlarda ısısal konforun sağlanması, prensip, uygulama kriterlerinin belirlenmesini ve ısısal konfor açısından malzemelerde aranan özellikleride belirtmektedir.

Genleştirilmiş perlit'den üretilen tuğlaların ısı iletim özelliklerinin incelenmesinin yapılması, çalışmanın diğer bir amacını oluşturmaktadır. Bu amaçla Menderes perlitlerinden üretilen yapı malzemeleri (tuğla) iyi bir ısı yalıtım malzemesi olurken enerji tasarrufunada imkan sağlayacaktır.

Laboratuar ortamında hazırlanan numuneler İYTE'ne gönderilmiş ve KEMQTM 500 ısı iletim katsayısı belirleme cihazı kulanılmıştır. Deneyler TS 415 (2000) standartalrına uygun yapılmıştır. Numunelerin ısı iletkenliğinin tespitinde Fourie kanunu olarak da bilinen, Fourie'nin ısı iletimi ile bulmuş olduğu denklem kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır (Kakaç, 1998).

Üretilen tuğla numunelerinin ısı iletim değeri eşitlik 4.14'e göre hesaplanmaktadır.

$$\lambda = \frac{Qxh}{Ax\Delta x\Delta t} \quad (4.14)$$

λ : Isı iletkenlik değeri (W/mK)
Q : Isı miktarı (W/m^2)
h : Isı iletiminin yapıldığı bimsbloğun kalınlığı (m)
A : Isıtılan biriketin yüzey alanı (m^2)
Δ t: Tuğla üzerinde ısı farklılığı (°C)
t : Isıtma süresi (saat)

Ayrıca ısı iletknlik değeri, malzemenin su içeriğine, porozite, kristal ve mineral yapısına, süreksizliklerin durumuna ve tane büyüklüğüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu özelliklerin her biri ısı iletkenlik değerlerini değiştirdiğinden bu özelliklerin her birinin ayrı ayrı çalışılması hem bilimsel alanda hemde inşaat sektöründe olumlu gelişmelere imkan sağlayacaktır (Erdoğan, 2007).

4.2.10.2. Ses İletimi

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemeleri (tuğla, youtong, briket, bims vb.)'nin ses absorbsiyon özellikleri incelendiğinde bu konu ile ilgili bilimsel niteliği olan çalışmalara az rastlanılmaktadır. Bu nedenle yapı sektöründe kullanılan her türlü mazlemenin konforlu, ses ve gürültü önleyici ortamlarda yaşanılma isteğiyle daha detaylı incenilmesi gerekmektedir (Özer,1979).

Menderes genleştirilmiş perlitlerinden üretilen tuğlaların ses absorbsiyon değerlerinin belirlenmesi için Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde yapı malzemelerinin ses absorbsiyon özelliklerini belirlemek amacıyla öanceki çalışmalarda yaptırılmış olan laboratuar ve donanım kullanılmıştır. Laboratuarda yapılan deneylerin sonucunda elde edilen verilen değerlendirilmiştir.

Numunelerin ses absorbsiyonlarının tespiti, iç kaplaması ses geçirmez bir kılıfla kaplanarak oluşturulmuş ses odasında gerçekleştirilmiştir. Bu odada bir adet ses üreticisi bir amfi bulunmaktadır. Amfiden alınan elektirik enerjisini ses enerjisine

dönüştüren hoparlör bulunmaktadır. Ses yalıtım özellikleri belirlenecek olan numune örneğinde belirli bir mesafede sabit bir konumda yerleştirilen bir ses ölçme cihazı ile ölçüm gerçekleştirilmektedir (Erdoğan, 2007).

Ses seviyesi ölçer olarak, DT-8820 model dijital dB metre kullanılmıştır. Kullanılan bu cihaz ile, 30-130 dB ses şiddeti seviyesi aralığında, 0,1 dB çözünürlük ile 1 dB hassasiyette ölçüm yapılabilmektedir. Ölçümlerin yapılış şekli, ses yalıtım büyüklüğü ölçülecek olan tuğla numuneleri, izolasyonlu kutunun içersine konmadan önce fon ölçümü yapılarak, malzeme kutu içersine yerleştirildikten sonra, ayni frekans değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler kaydedilir. Buradan elde edilen değer farklılıkları ile, bir malzemenin azalması veya ses yalıtım değeri (Syd) olarak, malzemenin iki tarafında ortaya çıkan ses basınç düzeyleri arasındaki farkın belirlenebilmesi sağlanmaktadır (TS 1477 EN ISO 266, 2000). Üretilen tuğla numunelerinin ses absorbsiyon (tutma) değeri eşitlik 4.15'e göre hesaplanmaktadır.

$$Syd = S_1 - S_2 \quad (4.15)$$

S_1 : Malzeme üzerine gelen gürültünün ses basınç seviyesi (dB).

S_2 : Malzeme üzerinden iletilen gürültünün ses basınç seviyesi (dB).

4.2.11. Nötron Tutma (Absorbsiyon) Özelliği

Kolemanit minerali, tuğlaların üretiminde bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Bor yüksek sıcaklıkta kimyasal reaksiyona girerek erime başlangıcı oluşturmakta ve perlit taneleri arasında bağ yaparak tuğla hammaddesinin sinterlenmesini sağlamaktadır. Bor minerallerinin nötron tutma özelliğinin olduğu bilinmektedir. Üretilen tuğlaların nötron tutma özelliğinin belirlenmesi, yapı sektöründe radyoaktif yayılımların tutulması açısından önemli bir konudur. Bu amaçla deneyler TAEK bünyesindeki ÇANAEM (Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi)'de gerçekleştirilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tezin bu kısmında, laboratuar ve deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen bulgular yorumlanarak ayrıntılı olarak verilmiştir. Tezin başlangıcında hammadde yataklarına gidilerek, homojen ve araziyi temsil edecek şekilde örnekler alınmış (her bir yataktan 200 kg) ve bu örnekler üzerinde analizler yapılarak karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda ana hammadde olarak kullanılan perlit ve doğal bağlayıcı olarak kullanılan kolemanit, kil ve kömür tozunun mineralojik, jeolojik, kimyasal, fiziksel, XRD (x-ışını difraktometresi), SEM (Taramalı Elektron Mikroskop), TG (Termogravimetrik Yöntemler), DTA (Diferansiyel Termal Analiz), özgül yüzey alanı ölçümü ve kızdırma kaybı deneyleri yapılmıştır.

Çalışmaların ilk aşamasında, hammadde yataklarının jeolojisi ve petrografisi incelenmiş, deneylerde kullanılmak üzere (araziyi temsil edecek şekil ve yeterli miktarda) numuneler alınmış ve hammadde üretim yöntemleri hakkında bilgiler toplanmıştır.

Tezinin ikinci aşamasında hammadde karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon deneylerinden sonra hammaddelerin yapı malzemesi üretiminde kullanılabilir olduğu belirlenerek laboratuar çalışmalarına başlanmış ve tuğla üretimi (kontrol numunesi, kolemanit katkılı, kil katkılı ve nihai ürün) 4 ayrı reçetede gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise laboratuarda üretilen ürünler üzerinde TS 705 ve 406' ya uygun deneyler yapılarak kalite parametreleri belirlenmiş ve yapı sektöründe kullanılan eş değer ürünlerle karşılaştırılmıştır.

Deneylerde Emet-Espey kolemanit mineralleri (%32-36 B_2O_3), Menderes-Cumaovası genleştirilmiş perlitleri (0,2-4 mm) ve diğer doğal bağlayıcı olarak (kil ve kömür tozu) kullanılmıştır. Genleştirilmiş perlit ve doğal bağlayıcı kullanarak 4 adet ana karışım grubu elde edilmiştir. Bu karışım grupları farklı reçetelerde üretilerek, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C ve 600°C'de pişirilmiş ve optimum sıcaklık belirlenmiştir.

Pişirilmiş ürünler üzerinde TS' ye ve uluslararası standartlara göre kimyasal, fiziksel ve mekanik testler yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

Çalışmalar sonucunda, üretilen numunelerin içerisinden en iyi karışım oranı (nihai ürün), boyutlandırma, mekanik mukavemet, pişme, optimum pres basınç değeri gibi parametreler belirlenerek optimize edilmiştir.

5.1. Kullanılan Hammaddelerin Karakteristik Özellikleri

5.1.1. Kimyasal Analiz

Tuğla üretiminde kullanılması düşünülen perlitlerin ve bağlayıcı olarak düşünülen minerallerin kimyasal özelliklerinin oldukça iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca, tuğla üretiminde kullanılacak hammaddelerin kimyasal ve mineralojik bileşimlerinin incelenmesi, mineral etkileşimlerinin pişme reaksiyonlarına etkisinin ve pişme sıcaklığı ve süresinin belirlenmesinde önemlidir. Bu yüzden yapılan tez çalışmasında tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin (genleştirilmiş perlit, kolemanit, kil, kömür tozu ve CMC) kimyasal bileşimleri detaylı olarak belirlenmiştir.

İzmir-Menderes genleştirilmiş perlitleri, Kütahya-Emet kolemanit ve Ankara-İmrahor kil minerallerinden parçalar alınarak kompozisyonlarını belirlemek amacıyla kimyasal analizler yapılmıştır. Alınan örneklerin kimyasal analizler 105 °C'de kurutularak, XRF (Siemens SRS 300 X-ray Fluoresans Spectrometer) cihazı kullanılarak MTA'nın teknoloji laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1-5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Genleştirilmiş perlitlerinin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO+MgO (%)	Diğer (%)
1	70,7	13,0	3,6	4,6	0,8	3,9	3,4
2	69,8	12,1	3,3	4,2	1,1	3,5	4,8
3	71,4	13,8	3,8	3,9	1,6	3,6	2,2
4	70,4	13,4	3,5	4,4	1,0	3,9	3,3
5	71,1	12,9	3,5	4,6	0,7	4,0	3,2
Ortalama	**70,68**	**13,04**	**3,54**	**4,34**	**1,04**	**3,78**	**3,38**

Çizelge 5.2. Emet kolemanit mineralinin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	B_2O_3 (%)	CaO (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO+SrO (%)	Diğer (%)
1	31,6	11,2	35,8	10,4	0,9	3,1	7,1
2	29,2	12,1	35,4	8,7	1,4	3,2	9,2
3	33,3	12.0	37,8	7,3	1,2	3,3	5,1
4	27,9	13,2	34,7	8,9	1,5	2,9	10,1
5	30,3	12,2	35,5	7,9	1,2	3,0	9,8
Ortalama	**30,46**	**12,14**	**35,84**	**8,64**	**1,24**	**3,1**	**8,26**

Çizelge 5.3. İmrahor kil minerallerinin kimyasal analiz sonuçları

Numune No	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO+MgO (%)	Diğer (%)
1	60,6	16,1	2,1	2,4	6,8	6,0	6,0
2	60,4	17,8	2,2	2,1	6,9	5,8	4,8
3	61,1	16,8	2,0	2,2	6,3	5,9	5,7
4	60,7	16,5	2,0	2,5	7,1	6,1	5,1
5	60,9	16,2	2,1	2,5	6,7	6,0	5,6
Ortalama	**60,74**	**16,68**	**2,08**	**2,34**	**6,76**	**5,96**	**5,44**

Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kömür tozunun kimyasal analiz sonuçları

Numune No	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	V_2O_5 (%)	K_2O+NiO (%)	Fe_2O_3+SO_3 (%)	CaO+MgO (%)	Diğer (%)
1	33,1	8,2	28,7	6,2	3,1	4,1	16,6
2	31,6	8,0	27,5	6,4	3,2	4,1	19,2
3	31,0	8,2	28,2	6,0	3,1	4,0	19,5
4	30,7	8,1	28,5	6,2	3,0	4,2	19,3
5	31,0	8,3	28,6	6,1	3,2	4,0	18,8
Ortalama	**31,48**	**8,16**	**28,3**	**6,18**	**3,12**	**4,08**	**18,68**

Çizelge 5.5. CMC (Karboksimetilselüloz) bağlayıcısının analiz sonuçları

Numune No	Renk	Görünüm	Viskozite (cP)	Aktif Madde Oranı (%)	Nem (%)	C (%)
1	Krem	Toz	135	58	10	70,5
2	Krem	Toz	142	60	7	69,8
3	Krem	Toz	148	63	9	73,4
4	Krem	Toz	138	58	8	68,2
5	Krem	Toz	143	63	7	71,4
Ortalama			**141,2**	**60,4**	**8,2**	**70,7**

Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılan genleştirilmiş perlit numunelerinin bileşiminde tuğla yapımında istenmeyen ve mukavemeti düşüren safsızlıkların (CaO, MnO ve MgO) miktarının düşük olduğu belirlenmiştir. Doğal bağlayıcılarda da bu safsızlıkların miktarı oldukça azdır. Kimyasal analizlerin sonucunda, kullanılan tüm hammaddelerde tuğla yapımında taneler arası bağ oluşturarak mukavemet artışı sağlayan Al_2O_3 (>10) varlığı görülmektedir. Ayrıca yapılan analizlerde tüm minerallerde SiO_2 miktarının %60-72 arasında olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kolemanit mineralleri %35 B_2O_3 içermektedir.

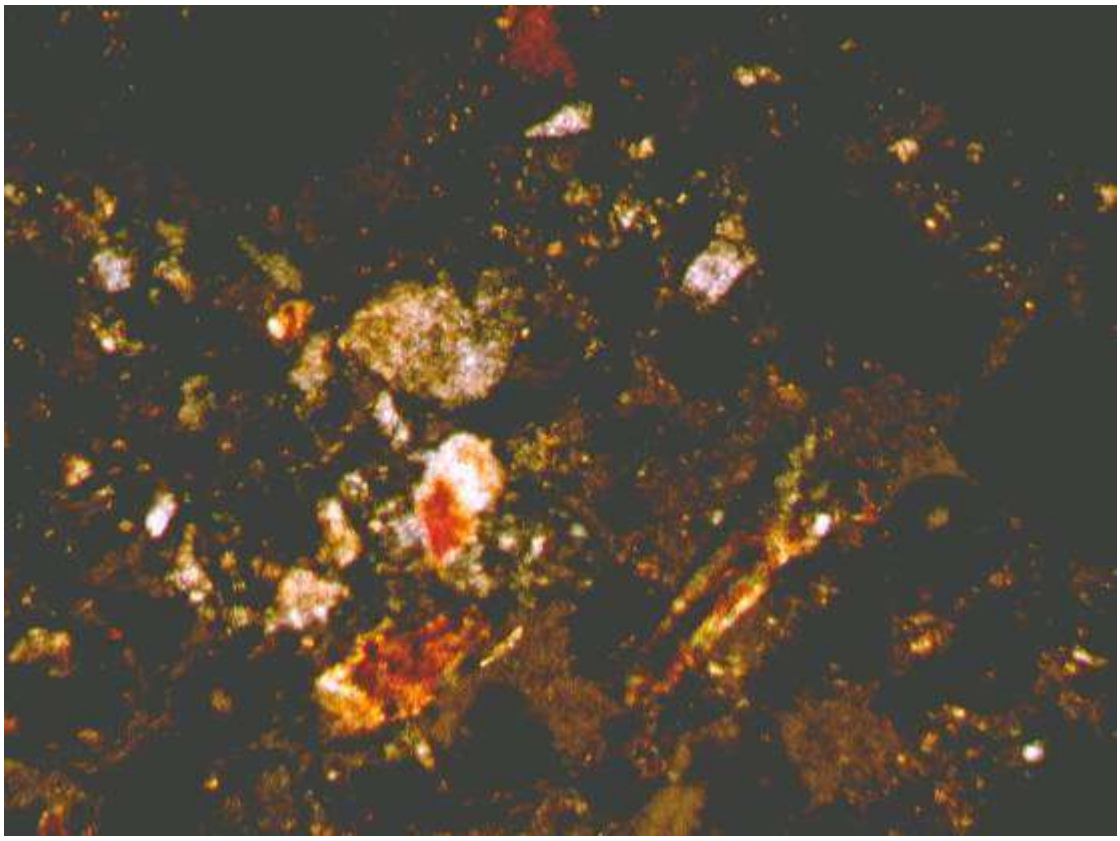
5.1.2. Petrografik İnceleme

Tez çalışmasında kullanılan (perlit, kolemanit ve kil) hammaddelerin'den 0,02 mm kalınlığında ince kesitler hazırlanmıştır. Bu kesitler üzerinde polarizan mikroskop (Olympus BH-2) ile incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemelerde, genleştirilmiş perlitlerde gözenekli ve camsı bir yapı görülmüştür. Perlit bünyesinde bulunan bu gözenekler ve camsı yapı, perlite hem hafif bir ağırlık sunmakta hem de ısı ve ses iletimi yönünden oldukça büyük bir avantaj sağlamaktadır. Perlit, renk ve kimyasal bileşim bakımından en çok pomzaya benzemektedir. Perliti diyatomit, pomza ve diğer volkanik kökenli kayaçlardan ayırmanın en etkili yolu yapılan mineralojik ve petrografik analizlerdir. Bu analizlerde özellikle mineral birleşimi, renk ve gözenek yapısı ile perlit diğer kaya türlerinden ayrılarak tanımlaması yapılabilmektedir.

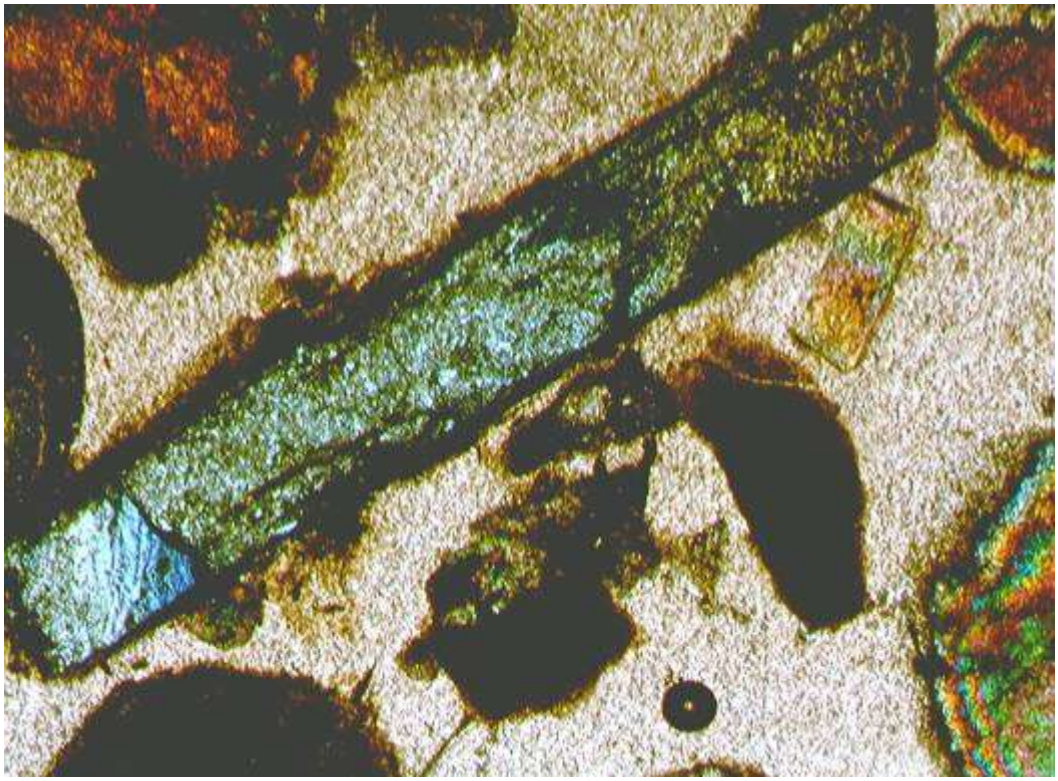
Yapılan incelemelerde, çalışmalarda kullanılan perlitlerin içeriğinde, opal-CT, feldspat, mika, illit ve kuvars minerallerinin varlığı belirlenmiştir (Şekil 5.1). Perlitler 1000°C sıcaklıkta bünye suyunu bırakarak hacimce genleşmekte ve oldukça hafif bir malzeme haline gelebilmektedir. Mikroskop altında incelendiğinde gözenekli ve camsı bir yapı gözlenmekte ve gözeneklerin sayılmayacak kadar fazla ve değişik mikron boyutlarında olduğu görülmüştür.

Malzeme üretiminde simektit ile beraber doğal bağlayıcı olarak kullanılan bor mineralinin kolemanit olduğu tespit edilmiştir. Kolemanit numunelerinin bileşiminde Fe ile birlikte kuvars, klorit (çok çok az), feldspat, mika ve illit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.2).

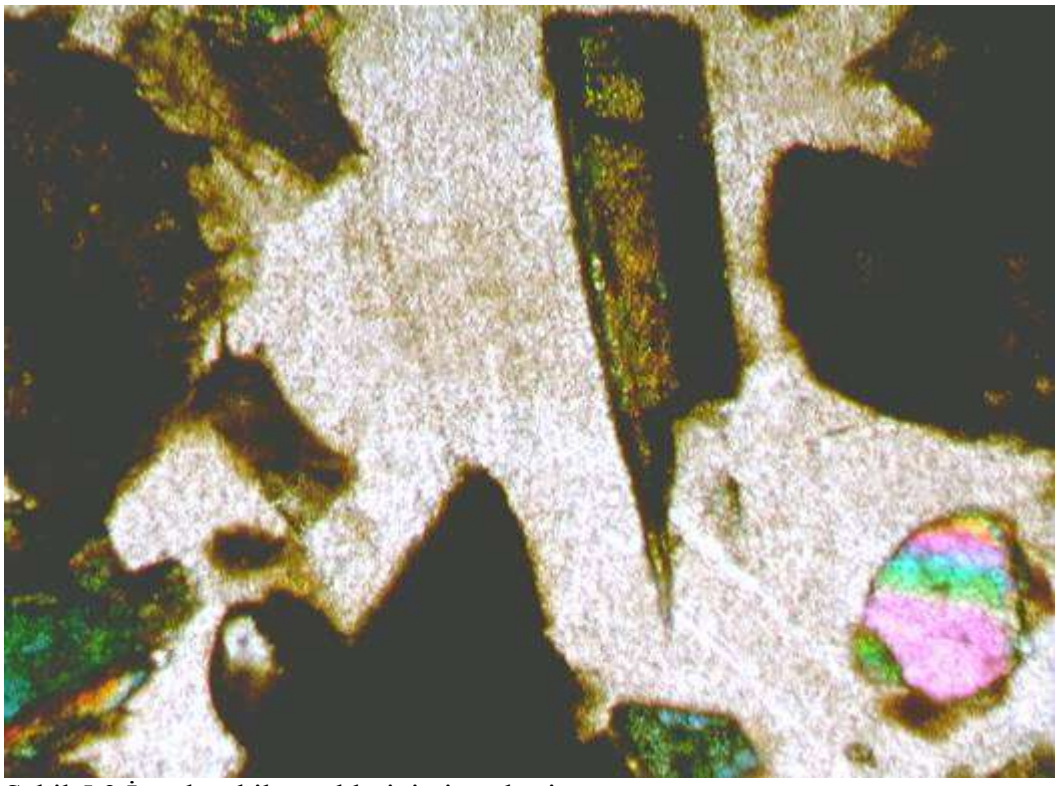
Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan kil, ateş tuğlası yapımında kullanılmaktadır. Mikroskop incelemelerinde killerin Si ve Al'ca zengin bir çeşit kil minerali olan simektit olduğu bulunmuştur. Simektit mineralinin içeriğinde amorf silika, kalsit, klorit, kuvars ve illit mineralleri varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.1. Menderes perlit örnekleri içersinde yer alan opal ve kuvars kristalleri



Şekil 5.2. Espey kolemanit örneklerinin ince kesit görünümü



Şekil 5.3 İmrahor kil örneklerinin ince kesit görünümü

5.1.3. Kalitatif Mineralojik Analiz

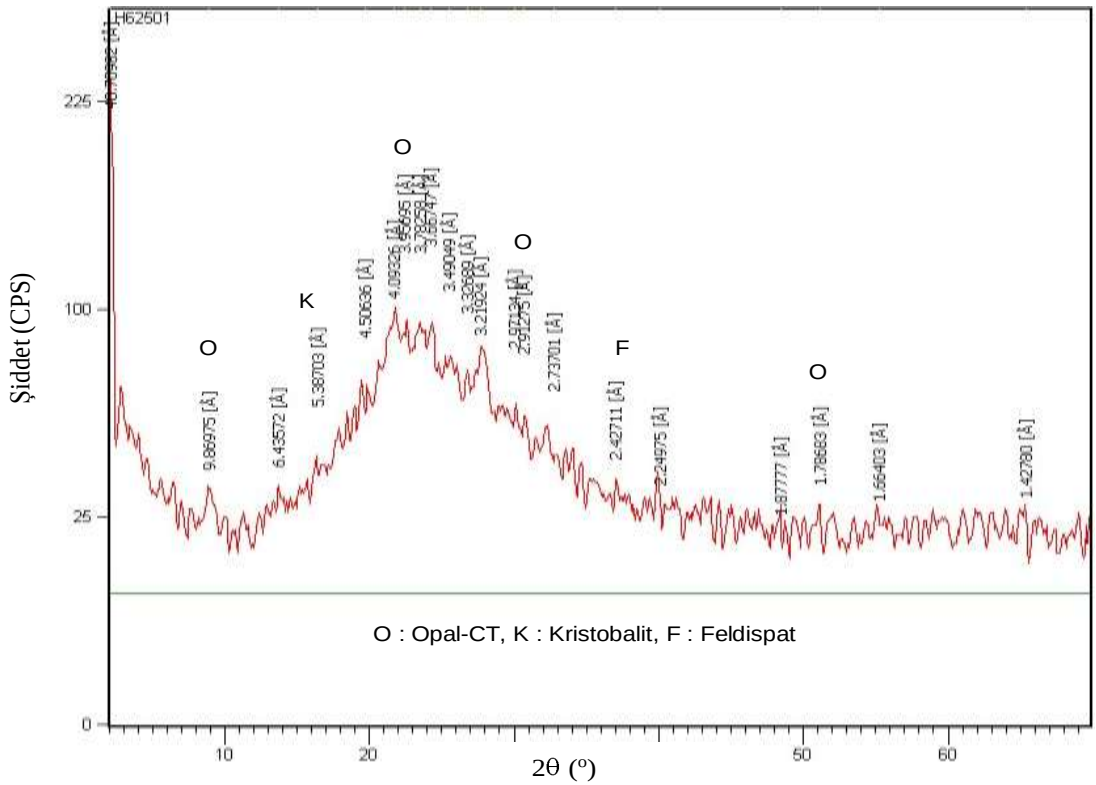
Deneylerde ana hammadde olarak kullanılan Menderes genleştirilmiş perlitleri ve doğal bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil ile Emet kolemanit mineralleri ile pişmeyi kolaylaştırması için kullanılan kömür tozu numunelerinden alınan örnekler üzerinde MTA tarafından Cu X-ışın tüplü Rigaku Geigerflex XRD cihazı kullanılarak mineralojik analizler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemelerin kalitatif mineralojik analiz sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan hammaddelerin kalitatif mineralojik analiz sonuçları

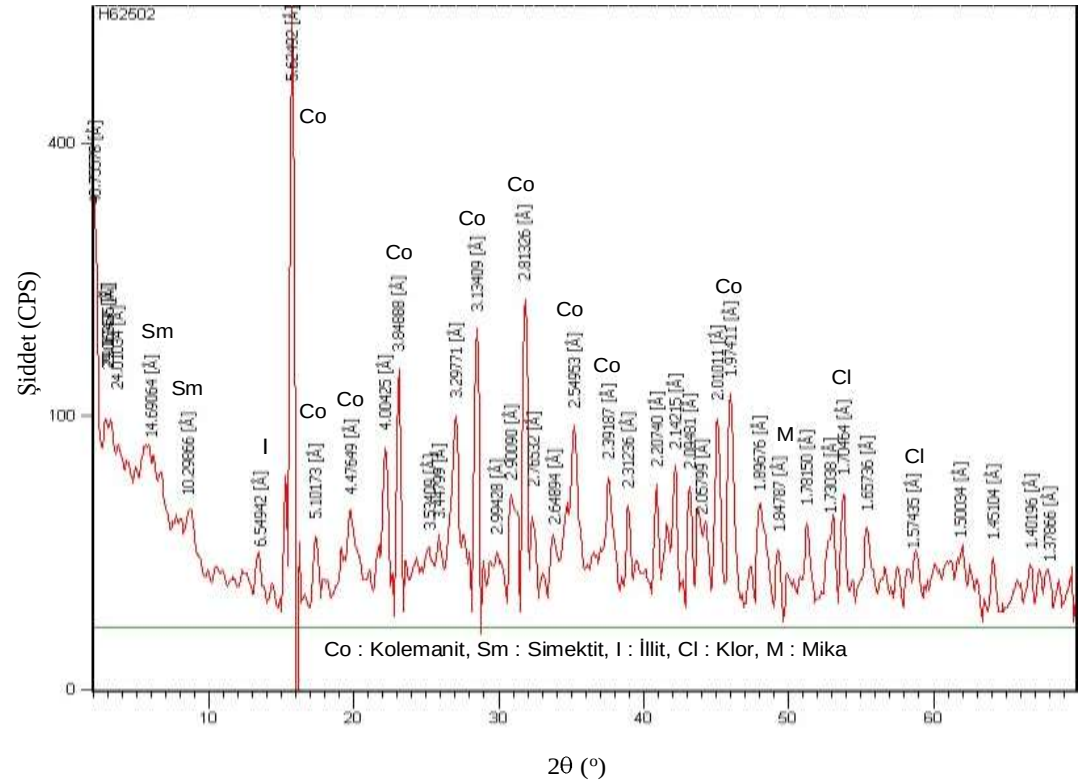
Numune Adı	Kalitatif Mineralojik Analiz
Menderes Perlit	Opal-A ve Opal-CT (%95) ve eser miktarda kuvars ve feldispat
Emet Kolemanit	Kolemanit (%80-85), simektit, İllit ve eser miktarda klorit
İmrahor Kil	Simektit 14 (%85) ve klorit, illit, feldispat (k-feldispat ve plajiyoklas), hornblent, kalsit, kuvars ve eser miktarda dolamit ve serpantin
Kömür Tozu	Organik maddeler (%90) ve kuvars, eser miktarda dolomit

Yapılan faz (mineralojik) analizi sonucunda perlit örneklerinin çok büyük oranda amorf silis ve opal-CT (%98)'den oluştuğu görülmüştür. Eser miktarda feldispat ve kuvars varlığı görülmektedir (Şekil 5.4). Doğal bağlayıcı olarak kullanılan bor örneğinde ana mineralin kolemanit (%80-85) olduğu belirlenmiştir. Kolemanit mineraline simektit ve illit (%10) ve eser miktarda klorit ve mika minerallerinin eşlik ettiği bulunmuştur (Şekil 5.5).

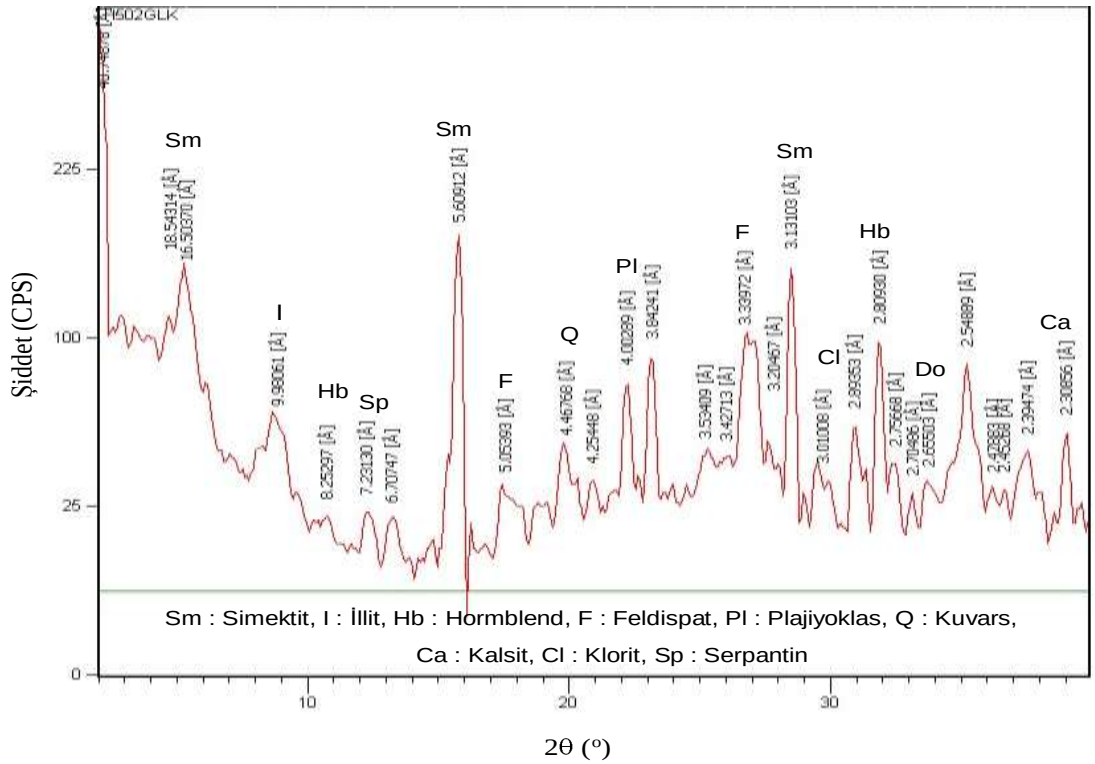
Deneylerde kullanılan diğer doğal bağlayıcılardan, İmrahor killerindeki hakim mineral simektittir (%85). Yapılan glikozlu, normal ve yönlenmiş XRD çekimlerine göre (Şekil 5.6, 5.7), hakim kil mineralinin simektit 14 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu kil minerallerine, bolluk sırasına göre klorit, illit, feldispat (k-feldispat ve plajiyoklas), hornblent (amfibol minerali), kalsit, kuvars, dolomit ve eser miktarda serpantin eşlik etmektedir. Numunelerin pişme sıcaklığı ve süresini düzenleyen kömür tozu, büyük oranda organik maddelerden (%90) oluşmaktadır. Kömür tozu numunelerinin, nadiren kuvars ve çok az miktarda dolomit minerali içeren petrokok olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.8).



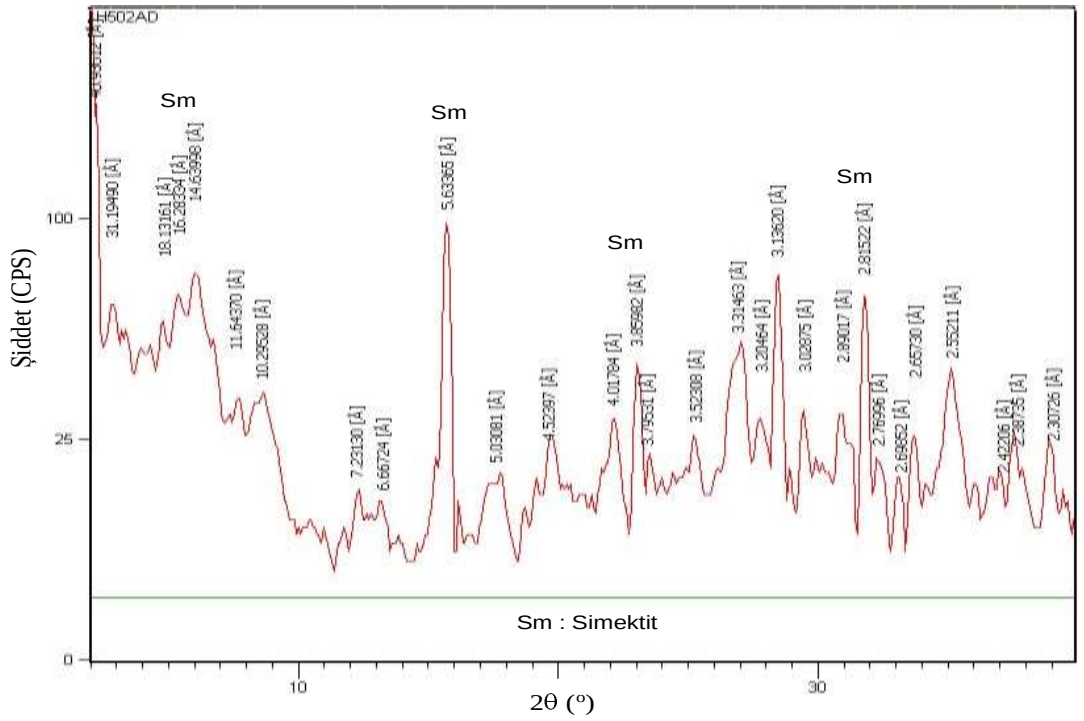
Şekil 5.4. Menderes perlitlerine ait X-ışını difraktometre analiz sonucu



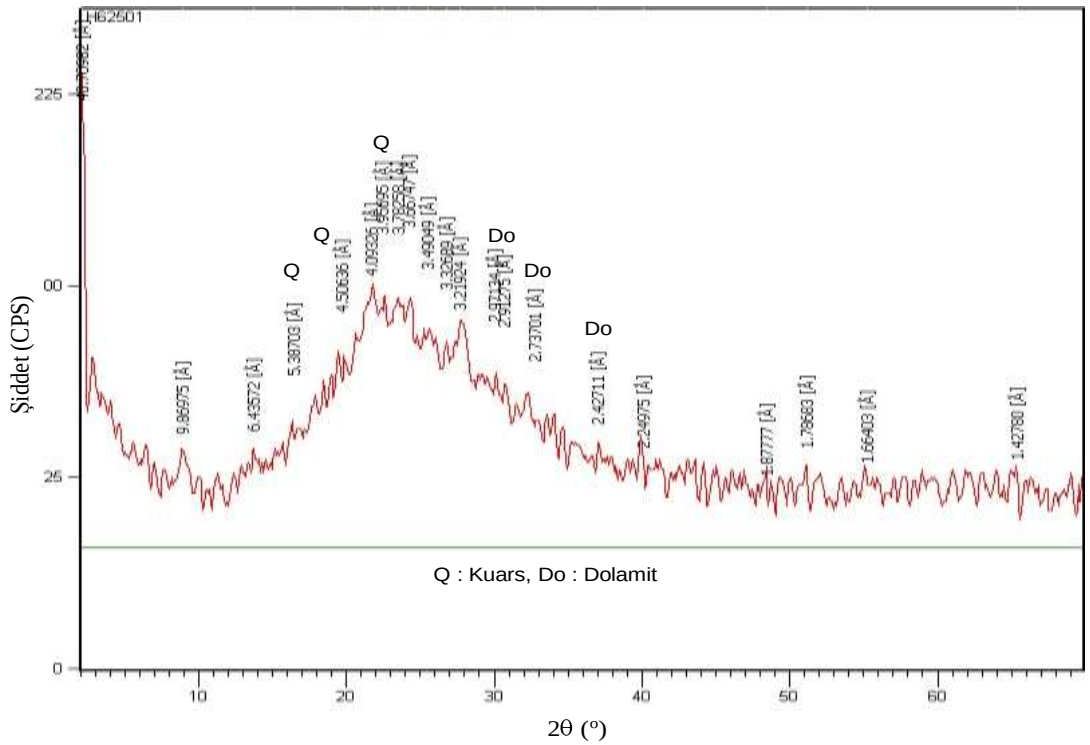
Şekil 5.5. Emet borlarına ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları



Şekil 5.6. İmrahor killerine ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları (glukollu)



Şekil 5.7. İmrahor killerine ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları (normal)

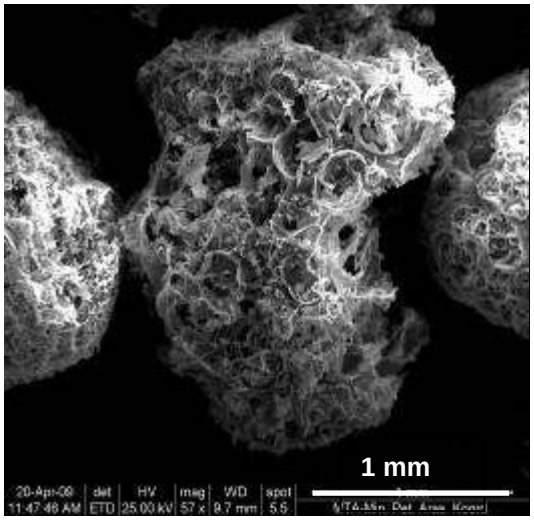


Şekil 5.8. Kömür tozlarına ait X-ışını difraktometre analiz sonuçları

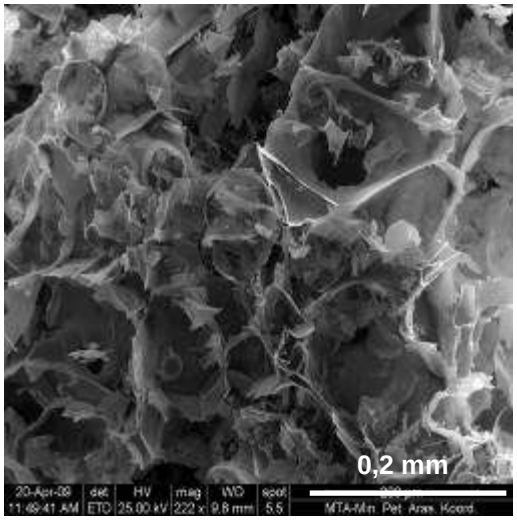
5.1.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskop)

Deneylerde kullanılan malzemelerden alınan örnekler 1 mm'lik elekten geçirilerek bünyelerinde bulunan süreksizliklerden uzaklaştırılarak toz haline (0,5 mm) getirilmiştir. Daha sonra numuneler agat havanda eşit yük ve eşit zaman aralığı kullanılarak öğütülmüş ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskop) analizleri yapılmıştır. SEM analizleri, numuneler altınla kaplandıktan sonra FEI Quanta 400 MK2 model taramalı elektron mikroskop altında toplam 11 adet ikincil elektron dedektör SE (görüntü analiz sistemi) ile incelenerek görüntüsü alınmıştır.

Araziden alınan perlit numunesi genleştirme tesisinde ısı kontrollü fırın ortamında 1000 °C sıcaklıkta ısıtılmış ve genleştirilmiştir. Menderes genleştirilmiş perlit numunelerinin 1 mm ve 0,2 mm büyütülerek SEM çekimleri yapılmıştır (Şekil 5.9-5.10). Yapılan incelemelerde, genleştirilmiş perlitler gözenekli ve camsı bir yapı göstermektedir. Bu yapı kristal görünümlüdür. Perlit bünyesinde bulunan bu gözenekler ve camsı yapı, perlite hem hafif bir ağırlık sunmakta hem de ısı ve ses iletimi yönünden oldukça büyük bir avantaj sağlamaktadır.

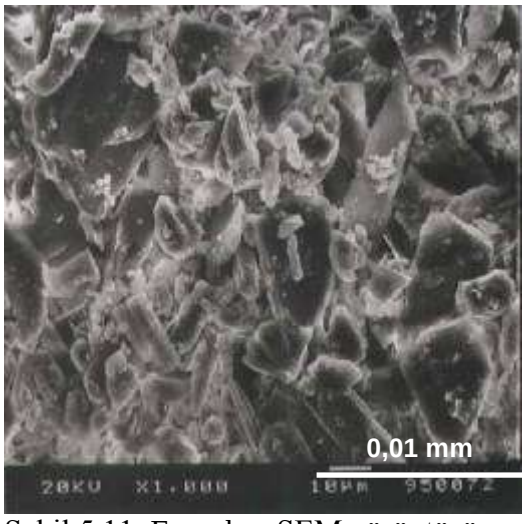


Şekil 5.9. Menderes perlit SEM görüntüsü

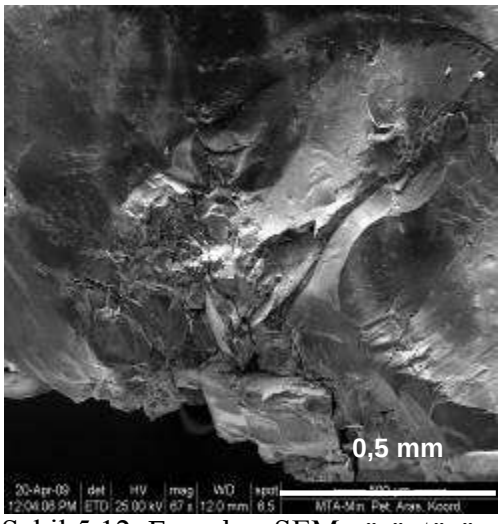


Şekil 5.10. Menderes perlit SEM görüntüsü

Çalışmalarda kullanılan diğer doğal bağlayıcı bor minerallerinden kolemanittir. Kolemanit mineralinin kristal yapısını ve mineral etkileşimini belirlemek için SEM incelemeleri yapılmıştır. Şekil 5.11 ve 5.12'de görülen çekimlerinde, kolemanit mineralinin gözeneksiz kristal yapıya sahip olduğu beraberinde bulunan killerin simektit ve illit olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.11. Emet bor SEM görüntüsü

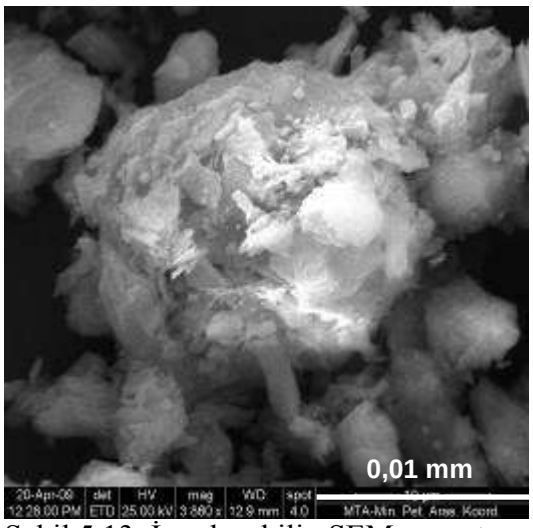


Şekil 5.12. Emet bor SEM görüntüsü

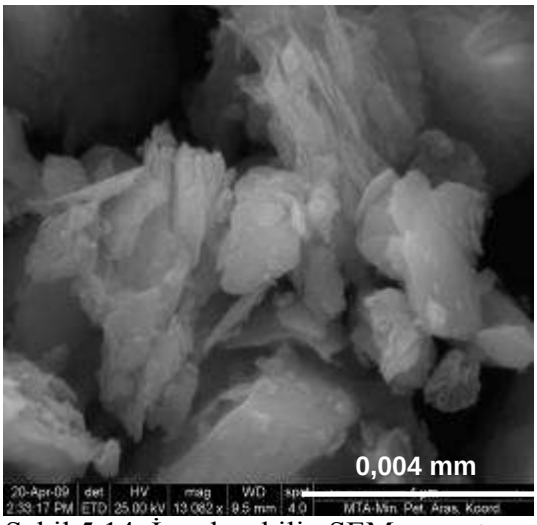
Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan imrahor kil numuneleri 0,01-0,004 mm boyutlarında büyütülmüş ve görüntü analiz sistemi ile incelenerek fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 5.13-5.14).

İncelemelerde kil numunelerinin simektit kil minerali olduğu anlaşılmaktadır. Simektit minerali, düzensiz levhamsı şekilli yapraklardan oluşmakta ve yer yer dalgalı yapraklar halinde peteksi dokuyu göstermektedir. Yüzey kenar dokanaklı bir dizilim sunan yapraklar genellikle volkan camlarının erime boşlukları ve kırıklarında yoğunlaşmıştır.

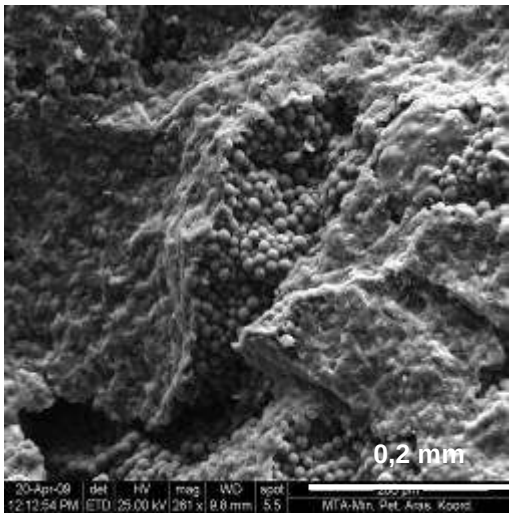
Şekil 5.15 ve 5.16'da deneylerde katkı malzemesi olarak kullanılan kömür tozu numunelerinin görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde kömür tozu örneklerinin tomurcuk ve üzüm salkımı şekline benzeyen yapılardan oluştuğu görülmüştür.



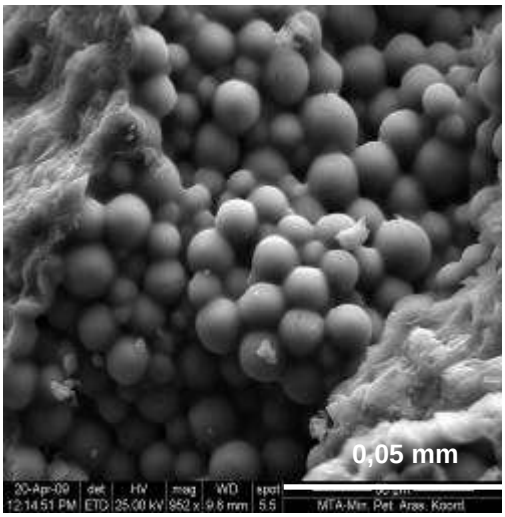
Şekil 5.13. İmrahor kilin SEM görüntüsü



Şekil 5.14. İmrahor kilin SEM görüntüsü



Şekil 5.15. Kömür tozu



Şekil 5.16. Kömür tozu

5.1.5. EDS (Elementel Analiz)

Deneylerde kullanılan örneklerin SEM görüntüleri ile beraber EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) ile nokta (elementel) analizler yapılmış ve elementlerin dağılımı oransal olarak belirlenmiştir. EDS nokta analizleri EDAX Genesis XM 4i model dedektör kullanılarak MTA teknoloji laboratuarında yapılmıştır. Deney, her bir malzeme için 5'er adet numune kullanılarak yapılmış ve sonuçların aritmetik ortalaması kaydedilmiştir.

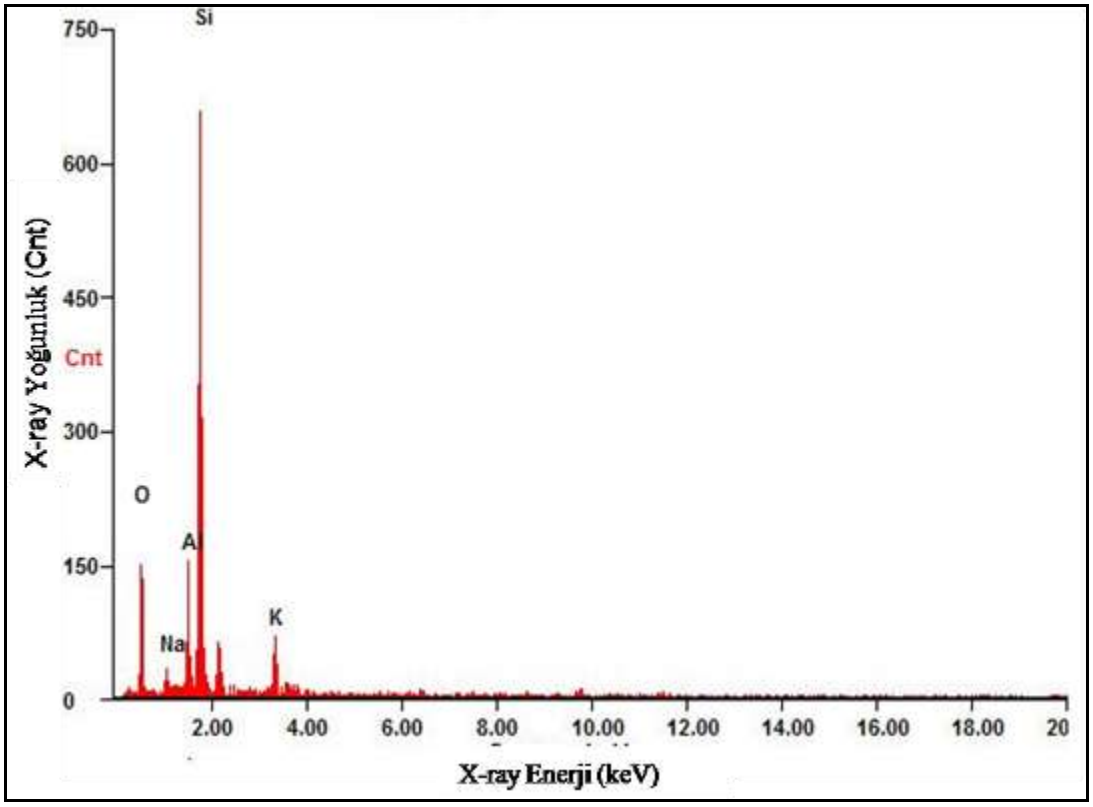
Deneylerde kullanılan doğal malzemelerin elementel analiz sonuçları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılan perlit numunesinin bünyesinde, silisyum (%45,13), oksijen (%38,91), alüminyum (%8), potasyum (%5,58) ve sodyum (%2,37) elementlerinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.17). Emet bor numunelerinin analiz sonuçlarında ise, bor (%35,43) ve silisyum (%27,61) içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiş ve sonuçlar ve Şekil 5.18'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Deneylerde kullanılan malzemelerin elementsel analiz sonuçları

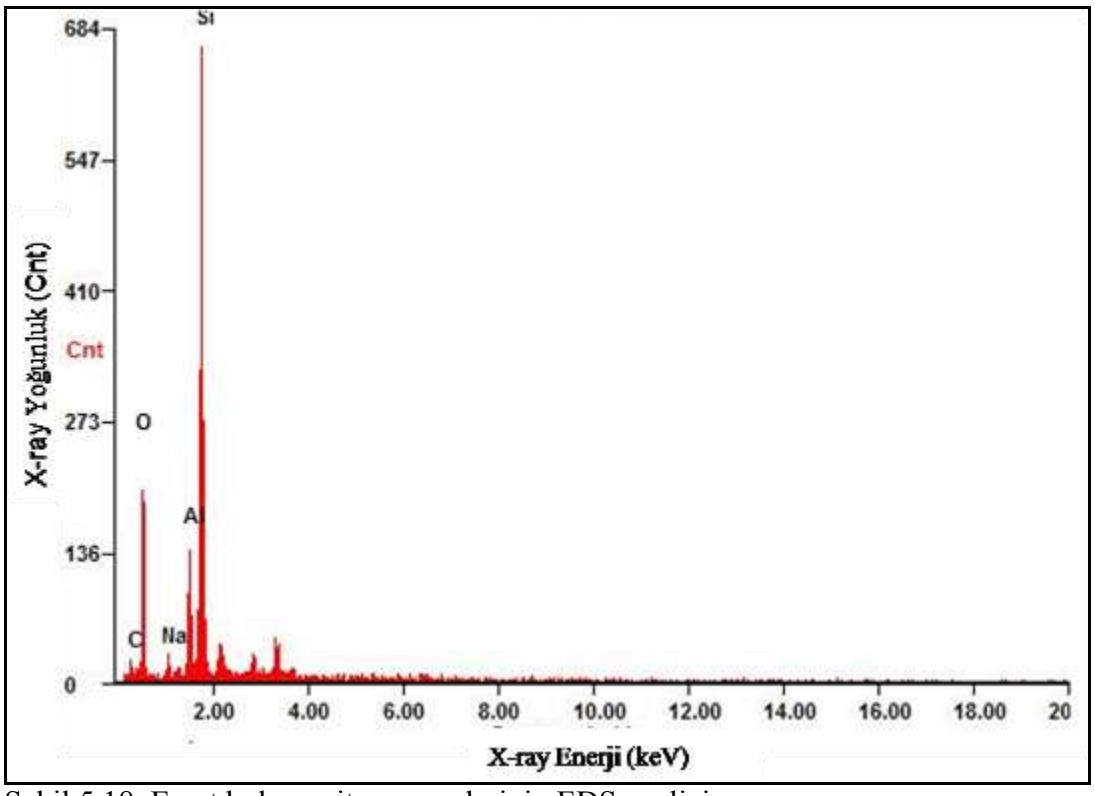
Numune Adı	Elementel Analiz (%)									
	Si	O	C	Mg	Al	B	K	Ca	Fe	Na
Menderes Perlit	45,13	38,91	-	-	8,00	-	5,58	-	-	2,37
İmrahor Kil	26,9	47,35	13,02	0,94	5,31	-	0,97	2,93	2,59	-
Emet Kolemanit	15,61	20,45	17,64	-	6,82	35,5	-	-	-	1,00
Kömür Tozu	-	3,74	93,05	-	-	-	-	-	-	-

Doğal bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil numunelerinin analiz sonuçlarına göre, oksijen (%47,35) ve silisyum (%26,9) varlığı yüksek bulunmuştur (Şekil 5.19).

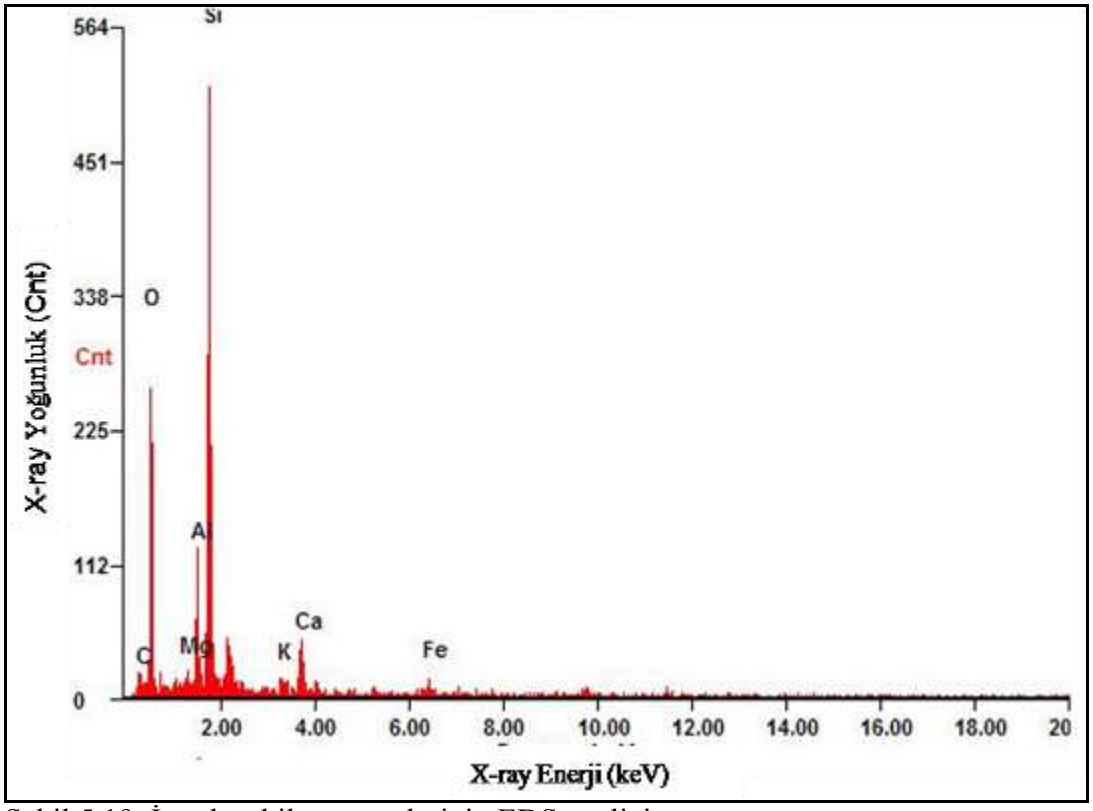
Deneylerde pişmeyi kolaylaştıran kömür tozu numunelerinin karbondan oluştuğu (%93) ve bu elemente az miktarda kükürt ile oksijenin eşlik ettiği görülmektedir (Şekil 5.20).



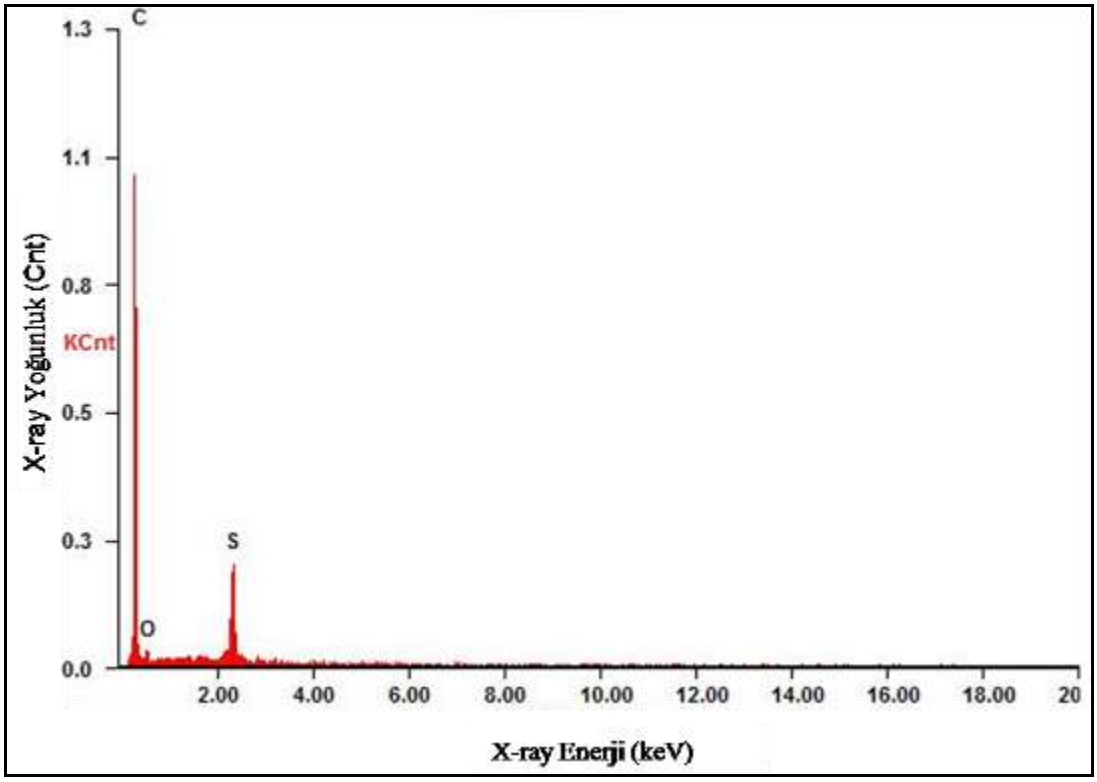
Şekil. 5.17. Menderes perlit numunelerinin EDS analizi



Şekil 5.18. Emet kolemanit numunelerinin EDS analizi



Şekil 5.19. İmrahor kil numunelerinin EDS analizi



Şekil 5.20. Kömür tozu numunelerinin EDS analizi

Analizlerden elde edilen verilere göre deneylerde kullanılan ana hammadde perlit ve bağlayıcı olarak kullanılan kil ve bor minerallerinin element içeriği birbirine yakınlık göstermektedir.

Bu sonuçlar tuğla üretiminde kullanılan numunelerin hem kimyasal hem de elementsel bileşimleri bakımından sıcaklık reaksiyon etkileşimlerinin uyumlu olacağını ve doğal bağlayıcılar ile mukavemet artışının sağlanabileceğini göstermektedir.

Ayrıca, kullanılan malzemelerin bileşiminde sırasıyla %Si, B, O, C ve Al içeriğinin ağırlıkça en yüksek seviyede olduğu ve bu elementlere eser miktarda Mg, Ca, Fe ve Na elementlerinin eşlik ettiği belirlenmiştir.

5.1.6. Porozite Ölçümleri

Hafif yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılan Menderes perlitleri ile beraber katkı malzemesi olarak kullanılan İmrahor kil, Emet kolemanit mineralleri ve kömür tozu örnekleri üzerinde porozite ölçümleri Autopore IV 9220 Civalı porozimetre cihazı ile MTA tarafından yapılmıştır.

Deneylerde ıslatma açısı 128°, civa yüzey gerilimi 480 dyn/cm, civa basıncı 2698 atm olan deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. Porozite hesaplamaları eşitlik (5.1-5.2)'ye göre yapılmış olup deneylerden elde edilen sonuçlar ise Çizelge 5.8'de verilmiştir.

$$P(\%) = (A/B)x100 \quad (5.1)$$

A : Nufuz eden toplam civa hacmi (ml/g)

$$B : (1/\text{Numune yoğunluğu}) + A \quad (5.2)$$

Çizelge 5.8. Deneylerde kullanılan malzemelerin porozite ölçüm sonuçları

Numune Alma Yerleri	Sıcaklık (°C)	Nufuz Eden Civa Hacmi (ml/g)	Ortalama Gözenek Çapı (µm)	Porozite Ortalama, (%)
Menderes Perlit	200	0,084	0,0971	14±2,3
	300	0,179	0,0413	25±0,4
	400	0,248	0,0686	30±1,1
	500	0,196	0,3734	23±0,7
	600	0,122	0,1239	15±1,8
Emet Kolemanit	200	0,095	0,0587	18±0,2
	300	0,179	0,1145	28±0,4
	400	0,388	0,4682	49±1,7
	500	0,547	0,3421	52±4,4
	600	0,602	0,1494	50±1,5
İmrahor Kil	200	0,062	0,0121	14±0,9
	300	0,079	0,0336	16±0,6
	400	0,286	0,0450	39±2,2
	500	0,412	0,0849	45±0,9
	600	0,553	0,0973	52±1,3
Kömür Tozu	200	0,078	0,0259	9±0,1
	300	0,104	0,0286	11±0,1
	400	0,129	0,0308	11±0,2
	500	0,055	0,0375	5±0,3
	600	0,023	0,0072	2±0,1

Deney sonuçlarına göre, perlit örnekleri 400°C pişme sıcaklığında en iyi gözenekli (%30±1,1) yapıyı sağlamaktadır. Sıcaklık artışıyla perlit gözenekleri kapanmaktadır. Kolemanit mineralinin gözenekliliği pişme sıcaklığının artmasıyla artmaktadır. 500°C sıcaklıkta pişirilen kolemanit numunelerinden en yüksek gözeneklilik (52±4,4) değerleri elde edilmiştir. Tuğla üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil mineralinin gözenekliliğinin sıcaklık artışıyla orantılı olarak arttığı görülmektedir. Kil örnekleri 600°C sıcaklıkta en yüksek gözeneklilik (%52±1,3) değerini vermektedir. Yapı malzemesi üretiminde taneler arası ısı transferini kolaylaştırarak pişme reaksiyonlarını hızlandırması için kullanılan kömür tozu örneklerinin gözenekliliği sıcaklık artışıyla düşmektedir.

5.1.7. Yüzey Alanı Ölçümleri

Deneylerde kullanılmak üzere araziden getirilmiş ham/işlenmiş perlit, kil, bor ve kömür tozu numuneleri ve değişik sıcaklık değerlerinde işleme tabi tutulmuş numuneler üzerinde BET (Brunauer, Emmett ve Teller) yöntemi ve Nova 2200 Quantochrome Instruments cihazı ile yüzey alanı tayinin yapılmış ve Çizelge 5.9'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.9. Deneylerde kullanılan malzemelerin yüzey alanı ölçümleri

Numune Alma Yerleri	Numune Adı	Yüzey Alanı (m^2/g)
Menderes Perlit	Orijinal perlit	108,724±7,1
	200 °C perlit	308,481±11,2
	300°C perlit	442,923±16,7
	400 °C perlit	523,771±29,5
	500°C perlit	265,481±5,9
	600 °C perlit	72,989±2,4
Emet Kolemanit	Orijinal bor	27,573±1,9
	200 °C bor	34,241±5,1
	300 °C bor	76,980±8,2
	400 °C bor	117,451±5,4
	500 °C bor	131,875±13,5
	600 °C bor	128,678±15,8
İmrahor Kil	Orijinal kil	20,118±4,2
	200 °C kil	32,702±6,7
	300 °C kil	41,765±11,6
	400 °C kil	59,761±3,9
	500 °C kil	75,911±7,8
	600 °C kil	84,683±3,7
Kömür Tozu	Orijinal Kömür	38,927±3,8
	200 °C kömür	54,426±1,4
	300 °C kömür	115,785±10,5
	400 °C kömür	122,549±17,4
	500 °C kömür	17,362±3,3
	600 °C kömür	11,520±2,7

Bu deneyde, farklı sıcaklıklarda pişirilen malzemelerin yüzey alanı değişimleri kaydedilmiş ve tuğlaların yaklaşık olarak pişme sıcaklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapı malzemesi üretim çalışmalarında, malzeme pişme sıcaklığı, tuğlaların mukavemet değişimleriyle beraber yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen değerler göz önüne alınarak yapılmıştır.

Analiz sonuçları incelendiğinde, perlit yüzeylerinde en iyi dönüşüm (523,771±29,5 m^2/g) 400°C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Yüzey alanı en fazla 400°C civarında açılmakta ve sıcaklık artışıyla düşmektedir. Bu düşüş, perlit yüzeylerinin sıcaklık artışıyla yanmaya başladığını, yanma sonucunda karbon oluştuğunu pişen tuğlaların XRD çekimleri de göstermiştir. Perlit örneklerinin 600°C sıcaklıktan sonra tamamen yandığı ve külleşerek perlit yüzey alanının küçüldüğü görülmektedir.

Kil (simektit) numunelerinin yüzey alanı ölçümleri incelendiğinde, örneklerin yüzey alanı ölçüm değerlerinin sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak arttığı ve orijinal kil numunesinin yüzey alanı 20,118±4,2 m^2/g 'iken 600°C sıcaklıkta 84,683±3,7 m^2/g yükseldiği belirlenmiştir.

Bor (kolemanit) örneklerinin yüzey alanları sıcaklık artışıyla artmakta, fakat 500°C'den sonra artış çok düşük miktarlarda olmaktadır. En yüksek yüzey alanı artış değeri 500°C sıcaklıkta ve 131,875±13,5 olarak tespit edilmiştir.

5.1.8. TG-DTA Eğrilerinin Değerlendirilmesi

Deneyler için hazırlanmış olan örneklerin (Menderes-Perlit, İmrahor-Simektit ve Emet-Kolemanit) sıcaklık artışı ile birlikte kaybettiği ağırlık miktarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilen TG-DTA (Thermo-Gravimetric/Differantial Thermal Analyser) analizleri 20°C/dk ısıtma hızı ile oda sıcaklığında 1000°C maksimum sıcaklığa çıkılarak MTA tarafından gerçekleştirilmiştir.

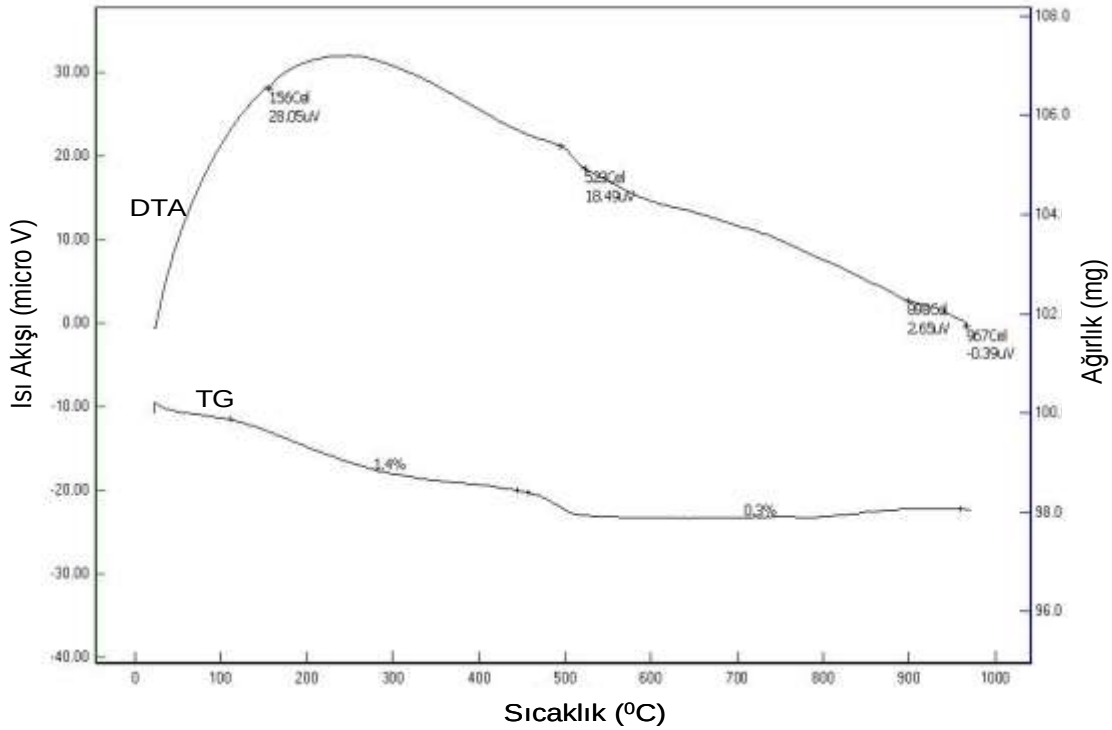
Numune kabının yapıldığı malzeme platin krozedir; silindirik bir şekle sahip olan numune kabının çapı 6 mm, yüksekliği ise 10 mm'dir.

Analiz için kullanılabilecek madde miktarı en fazla, numune kabı ile birlikte, 10 g olabilmekte ve duyarlık 0,001 mg' dır. Deneylerde -0,5-1 mm boyutunda ve 50 mg' dan az malzeme (perlit, kil ve bor) örnekleri kullanılmıştır. TG cihazı çeşitli gaz atmosferlerinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Termal bozunmanın gerçekleştirildiği atmosferde silisin bulunması pik sıcaklıklarını ve DTG eğrilerinin şeklini önemli ölçüde etkilediği için deneyler hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Analizler S11 EXSTAR 6000 (TG/DTA 6300) cihazı ile yapılmıştır.

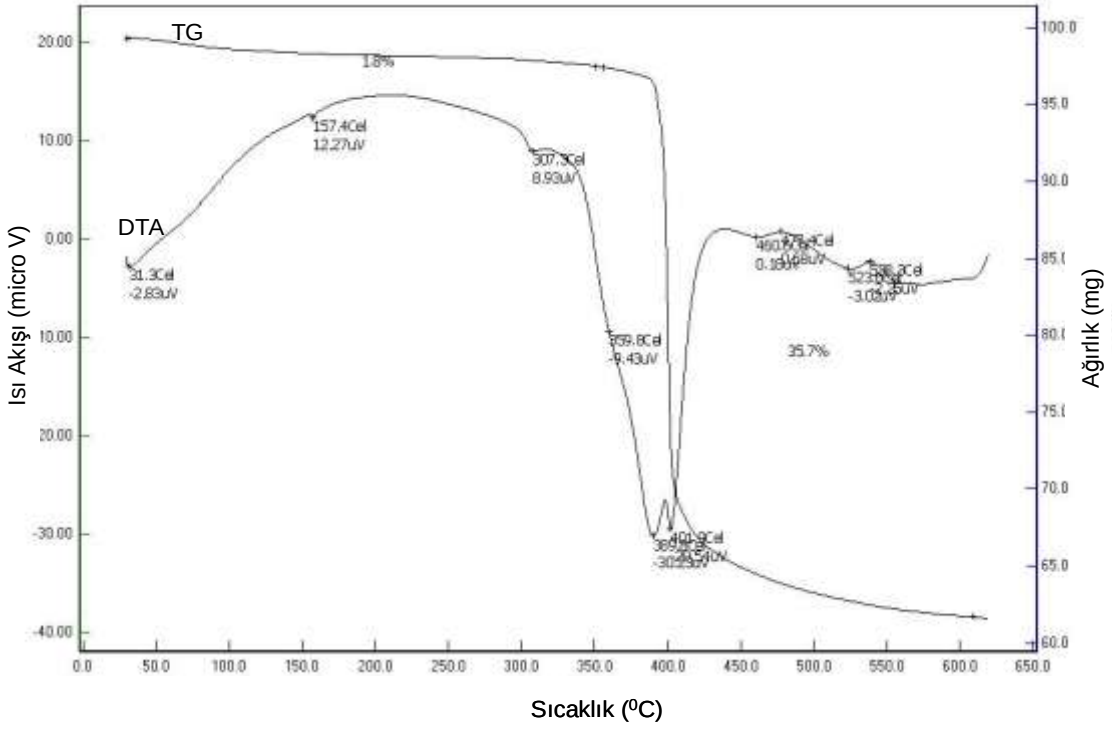
TG eğrilerinden de görüldüğü gibi perlit numunesi 100-200°C arasında bünye nemini kaybetmiş, 450°C sıcaklığa kadar %1,4'lük ağırlık kaybına uğramıştır. 500 °C sıcaklıktan sonra kayda değer bir ağırlık kaybı (%0,3) görülmemiştir. Bu durum perlitin 1000°C sıcaklığa kadar %1,8'lik ağırlık kaybına uğradığı ve bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir. DTA eğrisi, perlitin egzotermik bir reaksiyon verdiğini göstermektedir. Faz değişimi 500-600°C aralığında başlamış ve 1000°C sıcaklıkta tamamlanmıştır (Şekil 5.21).

Kolemanit numunesinin TG eğrisine göre, numune 50-100°C arasında bünye nemini kaybettiği için bir hareketlilik söz konusudur. Kolemanit numunesi 350°C sıcaklığa kadar ağırlığının %1,8 kristal suyunu kaybetmiştir. 350-600°C arasında ise ağırlığının %35,7'sini kaybettiği belirlenmiştir. DTA analizinde 389°C sıcaklıkta şiddetli bir endotermik pik gözlenmiştir. Bu durum kolemanit numunesinin sinterleşme reaksiyonunun başladığının ve 600°C sıcaklıkta tamamlandığını göstermektedir (Şekil 5.22).

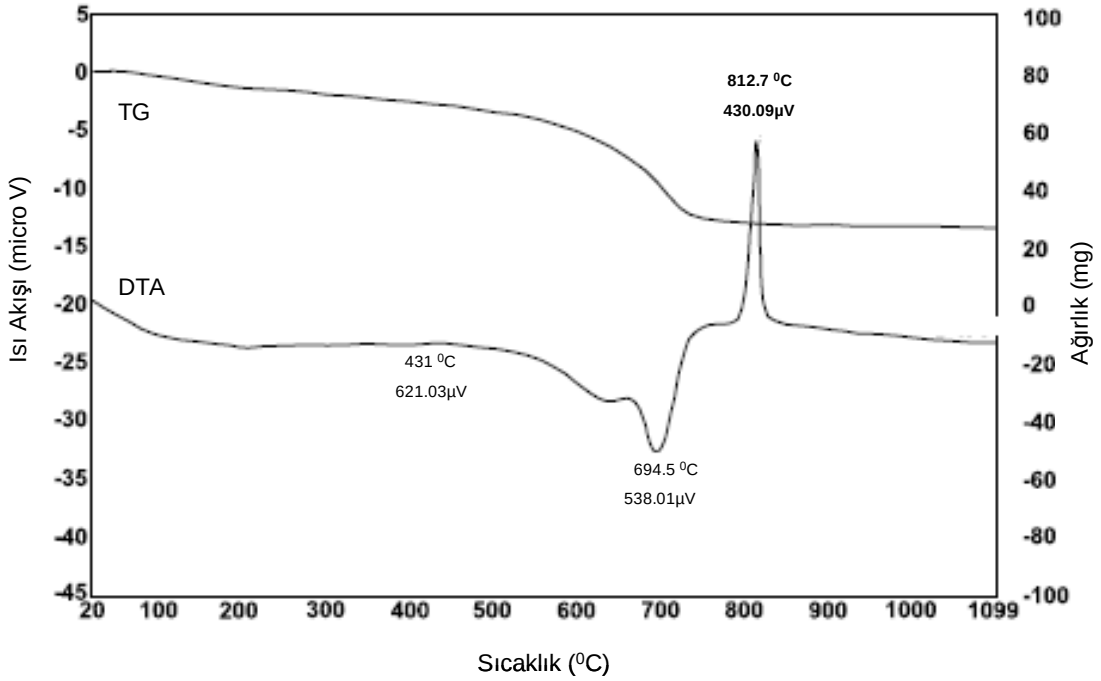
Simektit numunesinin TG eğrisine göre, numune 50-100°C civarında bünye suyunu kaybetmiştir. DTA analizinde 500°C sıcaklığa kadar ağırlık kaybının kayda değer olmadığı ve 500-750°C arasında termal bozunmanın görüldüğü 694,5°C sıcaklıktaki endotermik pikle desteklenmektedir. TG eğrisinde 750°C sıcaklıktan sonra ağırlık kaybının olmadığı ve toplam ağırlık kaybının %55 civarında olduğu belirlenmiştir. Sinterleşme 430°C civarında başlamakta 700°C sıcaklıkta tamamlanmaktadır. Bozunma reaksiyonu ise 790°C' de başlamakta ve 812,7°C sıcaklıkta endotermik pik yaparak 825°C civarında tamamlanmaktadır (Şekil 5.23).



Şekil 5.21. Menderes perlit örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri



Şekil 5.22. Emet Kolemanit örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri



Şekil 5.23. İmrahor kil örneğinin 20 °C/dk ısıtma hızında TG-DTA dönüşüm eğrileri

5.1.9. Fiziksel Özellikler

Deneylerde ana malzeme olarak kullanılan genleştirilmiş perlit agregaları ile bağlayıcı olarak kullanılan simektit, kolemanit ve kömür tozunun fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık, su emme, porozite, özgül ağırlık) Türk Standartlarına uygun olarak (TS 1114, EN 13055-1, TS 3529 ve ASTM C 127-42) Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği, MTA, ODTÜ Maden ve Kimya Mühendisliği ve BOREN Laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.1.9.1. Birim Hacim Ağırlık (Gevşek)

Malzemelerin birim hacim ağırlığı, belirli bir hacmi dolduran tanelerin oluşturduğu ağırlık anlamına gelmektedir. Tuğla üretim deneyleri esnasında kullanılan hammadde ve agrega türünün birim hacim ağırlığının bilinmesi malzeme karışım reçetelerin hazırlanmasında oldukça önemlidir.

Bu amaçla araziden getirilen numuneler öğütülerek 1mm açıklığa sahip eleklerden elenmiş, safsızlıkları uzaklaştırılmış ve birim hacim ağırlık deneyleri

TS 3529 ve ASTM C-127-42 standartlarına uygun olarak, orijinal ve farklı sıcaklıkta 2 saat süreyle pişirilmiş 10'ar adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.10'da çalışmalarda kullanılan malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Deneylerde 1 mm elek altı toz malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 5.10. Hammaddelerin farklı sıcaklıkta birim hacim ağırlık değerleri

Numune Alma Yerleri	Numune Adı	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)
Menderes Perlit	Orijinal perlit	0,23±0,01
	200 °C perlit	0,21±0,02
	300 °C perlit	0,19±0,01
	400 °C perlit	0,15±0,04
	500 °C perlit	0,10±0,01
Emet Kolemanit	Orijinal bor	1,17±0,11
	200 °C bor	1,13±0,012
	300 °C bor	1,02±0,06
	400 °C bor	0,87±0,05
	500 °C bor	0,69±0,04
İmrahor Kil	Orijinal kil	1,24±0,02
	200 °C kil	1,19±0,05
	300 °C kil	1,13±0,08
	400 °C kil	1,05±0,09
	500 °C kil	0,91±0,06
Kömür Tozu	Orijinal Kömür	0,83±0,01
	200 °C kömür	0,85±0,02
	300 °C kömür	0,93±0,03
	400 °C kömür	0,81±0,05
	500 °C kömür	0,72±0,01

5.1.9.2. Özgül Ağırlık

Deneylerde kullanılan malzemelerin özgül ağırlık değerleri piknometre yardımıyla ve farklı sıcaklık aralığında belirlenmiştir.

Agrega olarak kullanılan doğal yapı ve kaplama malzemeleri gerek oluşum durumlarına gerekse iç yapı ve dokusuna bağlı olarak birbirinden farklı özgül ağırlık değerleri göstermektedir.

Reçetelerin hazırlanmasında özgül ağırlık değerlerindeki değişim önem arz etmektedir. Bu nedenle tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin özgül ağırlık değerleri (orijinal ve farklı sıcaklık) TS 1114, EN13055-1 standartlarına uygun olarak yapılmış olup elde edilen veriler Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Hammaddelerin farklı sıcaklıkta özgül ağırlık değerleri

Numune Alma Yerleri	Numune Adı	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Menderes Perlit	Orijinal perlit	1,973±0,09
	200 °C perlit	1,936±0,11
	300 °C perlit	1,922±0,06
	400 °C perlit	1,905±0,08
	500 °C perlit	1,886±0,04
Emet Kolemanit	Orijinal bor	2,379±0,05
	200 °C bor	2,367±0,03
	300 °C bor	2,341±0,15
	400 °C bor	2,284±0,08
	500 °C bor	2,252±0,14
İmrahor Kil	Orijinal kil	2,632±0,08
	200 °C kil	2,628±0,07
	300 °C kil	2,622±0,12
	400 °C kil	2,601±0,14
	500 °C kil	2,582±0,11
Kömür Tozu	Orijinal Kömür	1,279±0,16
	200 °C kömür	1,291±0,04
	300 °C kömür	1,306±0,11
	400 °C kömür	1,251±0,17
	500 °C kömür	1,048±0,06

5.1.9.3. Su Emme

Tuğla üretiminde kullanılan malzemelerin su emme kapasiteleri, reçete hesaplarında, tuğla yapımında kullanılan en önemli fiziksel özelliklerden birisidir.

Malzemelerin su emme özellikleri TS 1114 EN 13055-1 ve ASTM C 127-42 standartlarına göre yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin (perlit, bor, kil ve kömür tozu) su emme deney sonuçları hesaplanarak Çizelge 5.12'de verilmiştir. Deneylerde 4-8 mm elek altı malzeme kullanılmıştır.

Çizelge 5.12. Hammaddelerin farklı sıcaklıklarda su emme değerleri

Numune Alma Yerleri	Numune Adı	Ağırlıkça Su Emme (%)
Menderes Perlit	Orijinal perlit	71,14±0,05
	200 °C perlit	63,66±0,07
	300 °C perlit	59,75±0,01
	400 °C perlit	51,48±0,05
	500 °C perlit	48,81±0,11
Emet Kolemanit	Orijinal bor	27,85±0,05
	200 °C bor	25,28±0,07
	300 °C bor	24,33±0,12
	400 °C bor	19,62±0,07
	500 °C bor	15,45±0,05
İmrahor Kil	Orijinal kil	52,89±0,07
	200 °C kil	47,12±0,01
	300 °C kil	41,75±0,06
	400 °C kil	37,30±0,04
	500 °C kil	33,63±0,03
Kömür Tozu	Orijinal Kömür	14,90±0,01
	200 °C kömür	16,70±0,02
	300 °C kömür	20,15±0,05
	400 °C kömür	17,93±0,01
	500 °C kömür	15,74±0,05

5.1.9.4. Kompasite (Doluluk Oranı) Tayini

Perlit agregalarının içyapılarındaki doluluk oranı, agregaların su emme ve dayanım gibi özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Yapı malzemelerinde su emme istenmeyen bir durum olduğundan perlit agregalarının kompasite değerlerinin bilinmesi gerekir. Kompasite birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerine bağlı olarak bulunabilmektedir.

Perlit örneklerinin kompasite değerleri ASTM C 127-42 ve 128-57 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin kompasite deney sonuçları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Hammaddelerin farklı sıcaklıklarda kompasite değerleri

Numune Alma Yerleri	Numune Adı	Kompasite
Menderes Perlit	Orijinal perlit	0,117± 0,04
	200 °C perlit	0,108±0,03
	300 °C perlit	0,101±0,01
	400 °C perlit	0,08±0,04
	500 °C perlit	0,06±0,01
Emet Kolemanit	Orijinal bor	0,492±0,09
	200 °C bor	0,477±0,11
	300 °C bor	0,436±0,07
	400 °C bor	0,381±0,10
	500 °C bor	0,306±0,05
İmrahor Kil	Orijinal kil	0,471±0,03
	200 °C kil	0,453±0,09
	300 °C kil	0,431±0,01
	400 °C kil	0,404±0,05
	500 °C kil	0,352±0,04
Kömür Tozu	Orijinal Kömür	0,649±0,08
	200 °C kömür	0,658±0,12
	300 °C kömür	0,698±0,13
	400 °C kömür	0,647±0,06
	500 °C kömür	0,687±0,04

5.2. Tuğla Üretimine Uygunluk Deneyleri

Deneylerde, hafif yapı agregası olarak kullanılan genleştirilmiş perlitlerin tuğla üretiminde ana hammadde olarak kullanılabilmesi için TS 1114 EN 13055-1 standartlarına göre; elek analiz eğrileri (granülometrik), agreganın ince madde oranı analizi, organik madde içeriği ve hammaddelerin kızdırma kaybı analizi gibi test sonuçlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Deneyler MTA, ODTÜ Kimya Mühendisliği ve Ç.Ü Maden Mühendisliği Bölümü laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. Genleşmiş Perlit Agregasının Elek Analizi

Genleştirilmiş perlit agregasının tuğla ana hammaddesi olarak kullanılabilmesi için TS 1114 EN 13055-1 standartlarına göre elek analizi eğrilerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu eğrilere bağımlı olarak incelik modülü ve özgün yüzey değerlerinin de belirlenmesi mümkündür. Elek analizi TS 130'a göre belirli bir granülometri düzenine sahip (16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,250 mm) eleklerden oluşmaktadır.

Elek analizinde hammaddenin tüm elek sisteminde elemesi yapılarak elek üstünde kalan değerlere bağlı olarak verilen koordinat sistemine işlenir. Koordinat sisteminde milimetrik olarak işlenmiş eğriler TS 130' un öngörmüş olduğu sınır eğri ile karşılaştırılarak yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliği tespit edilir.

TS 1114 EN 13055-1'e göre hafif agrega olarak kullanılacak malzemelerin elek analizi değerlerine göre ağırlıkça, eleklerden geçen malzeme yüzdeleri Çizelge 5.14'de verilmiştir.

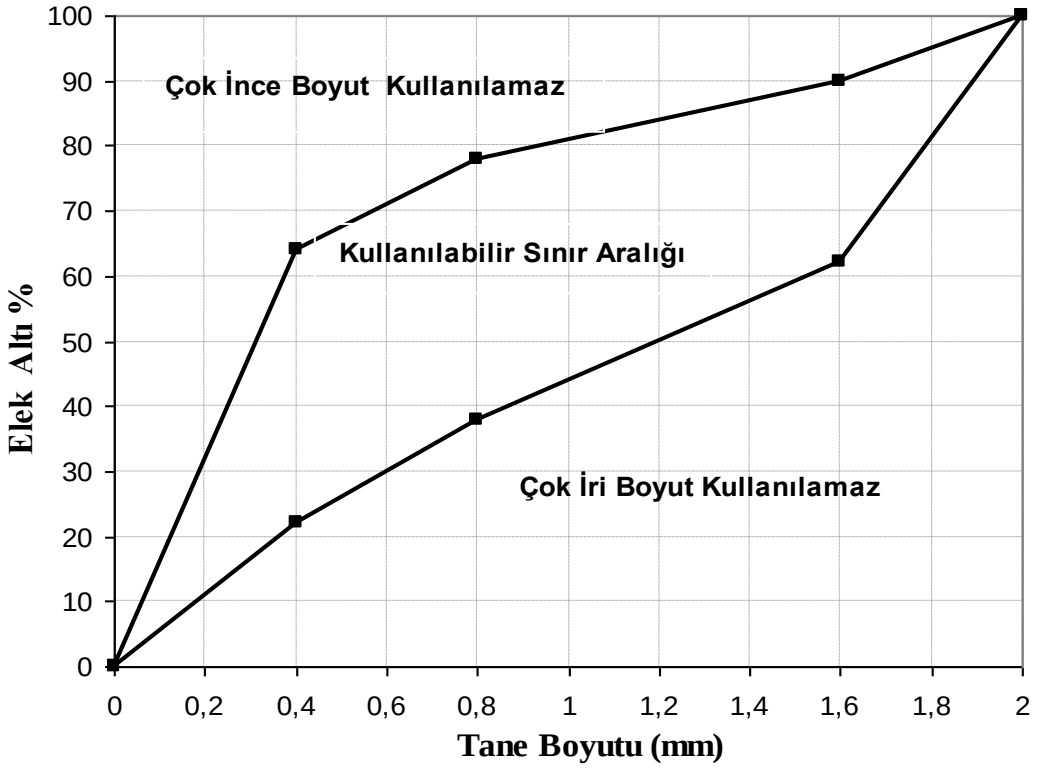
Çizelge 5.14. TS 1114 EN 13055-1'de verilen hafif agregaların granülometrik özellikleri

		TS 1227 Kare Gözlü Elek Göz Açıklıkları					**TS 1226 Kare Delikli Elek Delik Açıklıkları**				
		0,125	0,250	0,500	1	2	4	8	16	31,5	63
İnce Agrega	0/2 0/4 2/4	1 1 1	1 1 ≤5	1 1 1	1 1 1	≥90 ≤15	100 ≥90 ≥90	 100 100	-	-	-
Karışık Agrega	0/8 0/16 0/32	-	1 1 1	-	-	-	-	≥90	100 90	100 ≥90	100
İri Agrega	4/8 4/16 8/16 16/32	-	≤5 ≤5 ≤5 ≤5	-	-	-	≤15 ≤15	≥90 ≤15	100 ≥90 ≥90 ≤15	100 100 ≥90	100
Gerektiğinde sınırlandırılabilir											

Çizelge 5.14'de verilen TS 1114 EN 13055-1 standardındaki %değerleri net olarak sayısal bir ifadeyle belirlenmemmiş ve kullanım esnasında farklı farklı uygulamalar görülmüştür. TS 1114 EN 13055-1 standardında verilen %değerler, Çizelge 5.15'de belirtilen değerler şeklinde sınırlandırılması uygun görülmüştür. Çizelge 5.15'de verilen sayısal değerlerin elek analizleri neticesinde granülometrik eğrisi çizilmiştir (Şekil 5.24).

Çizelge 5.15. Tuğla üretiminde kullanılan agregalar için elek analizi sınır değerleri

Kare Delikli Elekler İçin				
Elek Açıklığı	İnce Agrega	İnce+İri Agrega Karışımı	Tüvenan Agrega	
			0-4 cm Agrega	0-2 cm Agrega
32	-	100	100	-
16	-	62-89	95-100	100
8	100	38-77	-	-
4	61-85	23-65	25-45	30-50
2	36-71	14-53	-	-
1	21-57	8-42	-	-
0,5	13-39	5-28	8-30	10-35
0,25	5-21	2-15	-	-



Şekil 5.24. Kare delikli eleklerde tuğla ve beton agregası granülometri eğrisi

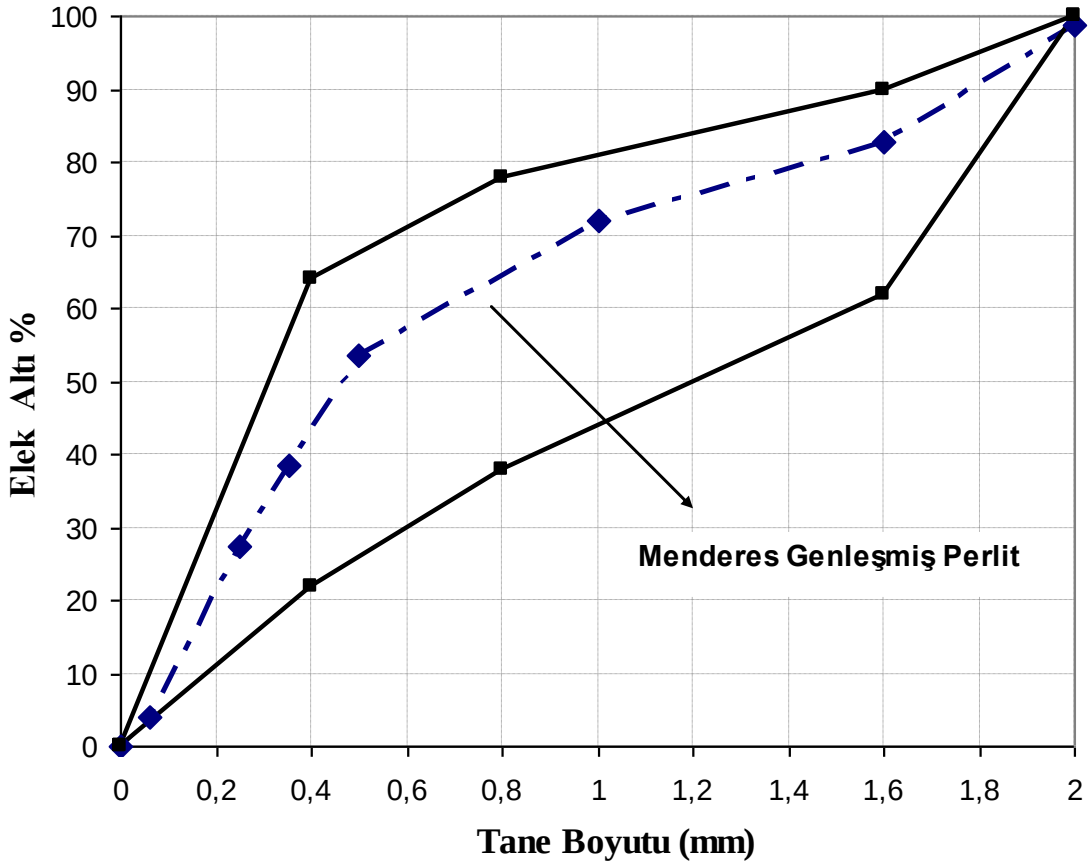
Çizelge 5.15'de verilen sınır değerler, genelde bims tuğla ve hafif beton karışım agregaları için uygulanabilecek oranlardır. Hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılacak malzemelerin sınır değerleri, hafif yapı malzemesinin genel mühendislik özelliklerinin incelenerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, deneylerde kullanılan genleştirilmiş perlit agregasının mühendislik özellikleri belirlenmiş ve kullanılan elek açıklıkları tespit edilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında TS 1114 EN13055-1 standartlarına uygun olarak yapılan elek analizleri neticesinde genleştirilmiş perlit numunelerinin elek analiz değerleri tespit edilerek Çizelge 5.16'da verilmiştir. Ayrıca genleştirilmiş perlit agregalarının elek analizi sonuçları ile TS'ye uygun tuğla ve beton agregası granülometri eğrisi değerlerine göre kıyaslaması yapılarak, perlit agregasının hafif yapı malzemesi ve tuğla üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

TS'ye uygun olarak yapılan analizlerde (16 mm, 8 mm, 4 mm, 2mm, 1 mm, 0,5 mm ve 0,250 mm) elekler kullanılmıştır. Deneylerde eleme işlemi, farklı yerlerden alınmış 3 ayrı numune üzerinde tekrarlanmıştır. TS 1114 EN 13055-1'e göre yapılan tane boyut elek analizlerinin neticesinde, Şekil 5.25' de granülometrik eğrisi verilen, Menderes genleştirilmiş perlitlerinin tuğla, beton, hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılmasında hiçbir sakınca görülmediği tespit edilmiştir.

Çizelge 5.16. Menderes genleşmiş perlitinin elek analiz değerleri (TS 1114 EN 13055-1'e göre)

Elek Aralığı Açıklığı, (mm)	**Deney Sonuçları**		**%Hesaplanan**
	Elek Üstü (gr)	**Elek Altı (gr)**	**Elek Altı (%)**
4+2	26,5	345,9	98,88
2+1,6	65	280,9	82,87
1,6+1	120,9	160	71,96
1+0,5	48,3	111,7	53,69
0,5+0,355	5,6	106,1	38,48
0,355+0,250	4,6	101,5	27,26
0,250+0,063	97,9	3,6	3,96
0,063+0	3,6	0	0,00
Toplam Numune Miktarı (gr)	**372,40**	**345,9**	**100**



Şekil.5.25. Genleştirilmiş Menderes perlit agregasının granülometri eğrisi

5.2.2. Perlit Agregasında İnce Madde Oranı Analizi

Perlit agregalarının tuğla, katkılı beton ve hafif yapı malzemesi üretimine uygun olup olmadığının belirlenmesinde yapılan deneylerden biriside perlit agregasında bulunan ince maddelerin analizidir. Deney TS 1114 EN 13055-1 standartlarında belirtilen kriterlere göre, 0,063 mm açıklığındaki bir elekten malzemenin elenmesi ve elek altında kalan malzemenin elek üstündeki malzemelerle yüzde olarak oranlanmasıyla tespit edilen bir deney olarak adlandırılmıştır.

Deneyde kullanılan ince madde oranı analiz yöntemi yıkama yöntemidir. Bu yöntemde, 0,063 mm elek açıklığına sahip bir elek kullanılarak yaş ortamda agregaların yıkanması prensibine dayanır. Bu yöntemde yıkama sonrası, elek altında kalan agrega miktarı ile elek üstündeki agrega miktarının oranlanmasıyla ince madde oranı belirlenmektedir.

TS 1114 EN 13055-1 standartlarında tuğla, beton ve hafif yapı agregalarının ince madde oranına göre maksimum sınır değerleri, agregaların tane aralıklarına göre değişmektedir. Bu yüzden agregalardaki ince madde oranının belirlenmesinde hangi tane sınıfında deneyin yapılacağı belirlenmeli ve bu tane sınıfına göre elde edilen değerlerin standartlardaki sınır değerlerle karşılaştırılması yapılmaktadır. Çizelge 5.17'de ince madde oranı tespiti yapılacak malzemelerin sınır değerleri verilmektedir.

Perlit agregasında ince madde oranının belirlenmesi eşitlik 5.3'ün yardımı ile belirlenmektedir.

$$Im = \frac{W - Wa}{W} x100 \qquad (5.3)$$

Im : 0,063 mm'lik elekten geçen agreganın yüzdesi, (%),

W : Yıkama öncesi kuru malzeme ağırlığı, (gr)

Wa : Yıkama sonrası kurutulmuş toplam elek üstü malzeme ağırlığı, (gr)

Deneylerde kullanılan Menderes genleştirilmiş perlit agregasındaki ince madde oranı deneylerinin sonuçları Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Yapı malzemesi üretiminde kullanılan agregalarda ince madde oranı sınır değerleri

Agrega Tane Sınıfı	İnce Tane Oranı (%)
0-2 mm	5,00
0-4 mm	5,00
0-8 mm	4,00
2-4 mm	4,00
0-16 mm	3,00
0-32 mm	3,00
4-8 mm	3,00
4-16 mm	3,00
8-16 mm	2,00
16-32mm	2,00

Çizelge 5.18. Menderes perlit agregasının ince malzeme miktarları (0-4 mm elek aralığındaki)

Numune No	1	2	3	4	5
Yıkama öncesi kuru numune ağırlığı (gr)	1030	1050	1100	1050	1000
0,063 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	480	456	502	483	448
1,0+0,5 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	212	198	225	211	204
1,6+1 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	146	165	174	150	142
2+1,6 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	106	119	111	124	109
4+2 mm'lik elek üstü malzeme (gr)	44	73	52	49	56
Toplam elek üstü kalan malzeme (gr)	988	1011	1064	1017	958
Toplam elek altı kalan malzeme (gr)	42	39	36	33	42
İnce malzeme oranı (%)	4,07	3,71	3,27	3,14	4,20
Ortalama (%)	**3,68**				

Menderes perlitlerinin 0-4 mm elek aralığı sınıfındaki ince malzeme oranı değerlerine bakıldığında genleşmiş perlit hammaddesinin Çizelge 5.18'de verilen standart değerlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen değerlerin sonucunda perlit numunelerinin beton, hafif yapı malzemesi ve tuğla agregası olarak kullanılabilmesi için ince malzeme oranı değerleri açısından bir sakınca görülmediği ve yapı malzemesi üretimi için oldukça uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

5.2.3. Organik Madde İçeriği

Organik maddelerin agrega içersindeki varlığı sakıncalı ve istenmeyen bir durumdur. Özellikle organik bileşiklerin varlığı yapı malzemesinin mukavemetini düşürdüğü gibi zamana bağlı olarak paslanma, yumuşama ve en önemlisi bağlayıcı olarak kullanılan doğal ve kimyasalların malzemelerin bağlayıcılık etkisini kaybettirme özelliğine sahiptir.

Bu amaçla çalışmalarda kullanılan Menderes perlit agregasının bileşiminde bulunan organik madde içeriğinin varlığı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyde, %3-6 arasında değişen NaOH kimyasal bileşimine 24 saat süreyle maruz bırakılan 2-4 mm boyutundaki perlit agregaları 24 saat sonunda almış olduğu açık sarı, koyu kahve ve kırmızı renklerin varlığına göre organik maddenin var olup olmadığına karar verilmektedir.

Deney sonucunda kırmızıdan sonraki renkler, malzemenin organik madde bakımından zengin bir bileşim olduğunun göstermektedir. Deneyler, ODTÜ Kimya

Mühendisliği Bölümü kimyasal analiz laboratuarında ve 10 adet genleşmiş perlit agrega numunesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

TS EN 1744-1'de belirtilen deney kriterlerine göre yapılan deney sonucunda Menderes perlit agregasında organik madde oluşumuna rastlanmamıştır. Perlit agregası üzerinde yapılan kimyasal analiz değerleri, bu deneyden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

5.2.4. Hammaddelerin Kızdırma Kaybı Analizi

İnşaat sektöründe, hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılan agrega ve doğal bağlayıcı malzemelerin, özellikle yangın gibi yüksek sıcaklık gösteren bölgelerde, agrega ve bağlayıcıların sıcaklık etkisiyle bileşimleri bozulmakta ve kütle kaybına uğramaktadır. Bu amaçla hafif yapı ve inşaat sektöründe kullanılması düşünülen hammaddelerin sıcaklık etkisiyle bir kayıp olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Deneylerde ana hammadde olarak kullanılan Menderes perlit agregası ile doğal bağlayıcı olarak kullanılan Emet Kolemanit, İmrahor kil ve kömür tozu örneklerinin kızdırma kaybı analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar hesaplanarak kaydedilmiştir.

Yapılan kızdırma kaybı analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, tuğla üretiminde ana malzeme olarak kullanılan Menderes genleşmiş perlit agregasının kızdırma kaybı %3,095 bulunmuştur. Deneylerde doğal bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil mineralinin kızdırma kaybı %4,92, Emet Kolemanit mineralinin %4,95 ve kömür tozunun %11,27 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.19).

TS 1114 EN 13055-1 standardında öngörülen deneylerin sonucunda hammaddedeki kızdırma kaybı ağırlıkça %5'den fazla olmaması istenir. TS'ye göre maksimum sıcaklıktaki kütlece kayıp %5'i aşmadığı müddetçe kullanılan hammaddenin tuğla, hafif beton ve hafif yapı malzeme agregası olarak kullanılabilirliğinde bir sakınca görülmemektedir.

Çizelge 5.19. Tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin kızdırma kaybı sonuçları

Numune Alma Yerleri	Örnek No	Kızdırma Kaybı (%)
Menderes Perlit	1	3,10
	2	2,98
	3	3,16
	4	3,09
	5	3,12
	6	2,96
	Ortalama	**3,095±0,1**
Emet Kolemanit	1	5,15
	2	5,08
	3	5,00
	4	4,68
	5	4,73
	6	5,02
	Ortalama	**4,95±0,2**
İmrahor Kil	1	5,25
	2	4,96
	3	4,78
	4	5,05
	5	4,55
	6	4,91
	Ortalama	**4,92±0,3**
Kömür Tozu	1	12,30
	2	11,13
	3	11,89
	4	10,56
	5	10,78
	6	10,95
	Ortalama	**11,27±0,6**

Kızdırma kaybı deneyinden elde edilen sonuçlar TS 1114 EN 13055-1'e göre incelendiğinde, perlit agregasının kızdırma kütle kaybının %5'den daha az olduğu için tuğla ve hafif yapı malzemesi üretiminde agrega hammaddesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

5.3. Tuğla Üretim Çalışmaları

Perlit agregasından yapılacak tuğla üretiminde en önemli konulardan biri de karışım oranlarının (reçete) iyi bir şekilde tespit edilmesidir. Özellikle perlitin su emme ve porozite değerlerinin yüksek oluşu, bağlayıcılar ve su ile oluşturulan karışım harcının mühendislik özelliklerini fazlasıyla etkilemektedir. Bu yüzden perlit agregalarının fiziksel özellikleri iyice belirlendikten sonra optimum su katı karışım oranlarının ve bağlayıcı katkı miktarının belirlenerek deneylerin yapılması gerekmektedir.

Deneylerde kullanılan agreganın granülometrisi ile standartlara uygun elek açıklıkları mevcuttur. Fakat özellikle bağlayıcı miktarı (bor, kil ve kömür tozu) ve buna bağlı olarak su miktarının hesabı yapı malzemesi üretim sektörünün en çok uğraştığı işlerden birisidir. Genelde su, doğal bağlayıcı ve agrega karışım reçetelerinin oluşturulması, deneme karışımlarının hazırlanması ve test edilmesi yoluyla belirlenir. Farklı miktarda su, bağlayıcı ve agregalardan oluşan deneme karışımlarına mühendislik testleri yapılarak en uygun karışım oranlarının bulunması çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında öncelikle elek analizi yapılmış perlitler 6 farklı tane boyutuna (4-2, 2-1, 1-0,75, 0,75-0,5, 0,5-0,35 ve 0,35-0,25) ayrılmıştır. Daha sonra tuğla üretiminde kullanılacak perlit agregalarının hangi tane boyutunda ne kadarlık agrega kullanılacağının tespiti için TS 706'deki standartlar dikkate alınarak agrega miktarı belirlenmiştir. Deneylerde doğal bağlayıcı olarak kullanılan (bor ve kil) mineralleri ile pişme kolaylığını sağlayan kömür tozu örnekleri 1 mm' lik elekten geçirilerek süreksizliklerden uzaklaştırılmış ve katkı malzemesi olarak doğrudan kullanılabilir hale getirilmiştir.

Kimyasal bağlayıcı olarak CMC (karboksimetilselüloz) kullanılmıştır. Çalışmalarda karışım suyu olarak, normal içme suyu şebekesinden alınan 20°C su kullanılmıştır. Bilindiği gibi tuğla mukavemeti su/katı oranına ve kıvam m^3'e giren su miktarına bağlıdır. Oluşturulan tuğla reçetesine fazla kıvam kazandırmak için fazla su katmak tuğlaların mukavemetini düşürmektedir. Bu amaç, deneylerde kullanılan su miktarı katkı oranının hassas olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Tuğla üretim laboratuar çalışmalarında, 4 ayrı karışım (reçete) hazırlanmış ve üretilen tuğlaların mekanik, fiziksel, kimyasal, ısı ve ses, XRD, SEM ve Nötron Tutma Özelliği gibi teknolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmaların ilk aşamasında, kontrol numunesinin (KN) karışım reçetesi oluşturularak üretimi gerçekleştirilmiştir.

Laboratuar çalışmalarının ikinci aşamasında Emet kolemanit (EK) ve İmrahor kil (İK) katkılı Menderes genleşmiş perlit (MGP) tuğlaların üretimi gerçekleştirilmiş ve karışım reçetesi, mühendislik özellikleri ile üretim parametreleri belirlenmiştir. Üretilen tuğla numuneleri mühendislik özellikleri, kontrol numunesi özelliklerine göre kıyaslanarak optimize edilmeye çalışılmıştır. Deneylerin son aşamasında optimize edilen karışım reçetesine göre nihai ürün üretimi gerçekleştirilerek mühendislik özellikleri tespit edilmiştir.

Perlit tuğla üretim çalışmalarında, öncelikle çalışılan konuda piyasa ve literatür araştırmalarında benzer bir ürün olmadığı için katkısız kontrol numunesi (KN) üretimi gerçekleştirilmiştir. Kontrol numunesi olarak üretilen tuğlanın (50x100x100 mm ebadında); birim hacim ağırlık, mekanik mukavemet gibi mühendislik özellikleri ile beraber, üretim parametreleri (pişme süresi, pişme sıcaklığı, presleme basınç oranı), kimyasal katkı oranı, boyut analizi ve su/katı oranı) belirlenerek optimize edilmiştir.

Kontrol tuğlası üretimi ve TS 406 standartlarına göre, Emet kolemanit (EK) katkılı perlit tuğlaların üretimi (50x100x100 mm ebadında) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bor (kolemanit), doğal bağlayıcı olarak kullanılmış ve 300-400°C civarında sinterleşme reaksiyonuna girerek perlit tanelerini bağlama etkisi oluşturduğu belirlenmiştir. Denemelerde bor katkısı ağırlıkça %(5, 10, 15, 20) arasında kullanılmış ve tuğlaların fizikomekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet değerini veren aralık tespit edilmiştir.

İmrahor kil (İK) katkılı perlit tuğların üretimi (50x100x100 mm ebadında) gerçekleştirilmiştir. Tuğla içersinde bağlayıcı olarak kullanılan kil minerallerinin 350-550°C arasında erime yaptığı görülmüştür. Çalışmalarda kil (simektit) ağırlıkça %5, 10, 15, 20 arasında kullanılmış ve düşük birim hacim ağırlığını ve en iyi mukavemet değerini veren aralık belirlenmiştir.

Deneme karışımlarında, su, bağlayıcı ve agrega karışımı hazırlanmıştır. Karışımların fiziksel ve mekanik deneyleri yapıldıktan sonra ortaya çıkan sonuçlara göre mühendislik özelliklerinin daha iyi olabileceği karışım oranları ve hesaplamaları belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneylerin son aşamasında, yukarıda bahsedilen çalışmaların neticesinde elde edilen sınır karışım oranlarına göre nihai ürün üretim (NÜ) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Numune üretim parametreleri optimize edilen standart karışım oranına göre yapılmıştır. Nihai ürün üretiminde (50x100x100, 100x150x100, 100x200x100 ve 100x250x100 mm) ebatlarında 2 cm kalınlığında çelik kalıplar kullanılmıştır. Numuneler 50 Bar basınç uygulanarak pres makinesinde preslenmiştir.

Kalıplardan sökülen tuğlalar 400°C civarında pişirilmiş, kimyasal, fiziksel ve mekanik analizleri yapılmış, XRD ve SEM çekimleri gerçekleştirilmiş ve nötron tutma özelliği, boyut analizi ve kalite faktörü belirlenmiştir. Daha sonra 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri içersinde mühendislik özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Denemelerde %5 civarında kömür tozu kullanılmıştır. Tüm tuğla üretimi çalışmaları Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölüm laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

5.3.1. Tuğla Kontrol Numunesi Üretimi

Tuğla kontrol numunesi üretim çalışmalarının ilk aşamasında, doğal bağlayıcı kullanmadan üretim parametrelerinin (pişme sıcaklığı, karışım süresi, su katkı oranı, CMC katkı miktarı ve numune basınç oranı) optimizasyonu TS 406 standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Ana hammadde olarak 2 kg civarında genleşmiş perlit agregası, kimyasal katkı ve su ile birlikte mekanik karıştırıcı ile karıştırılarak (30 dk) kaplara alınmıştır (Şekil 5.26). Karışım malzemesi 50x10x10 cm ebadındaki ikili kalıplara dökülmüştür (Şekil 5.27). Numuneler her bir haznede 370 gr olacak şekilde ve her bir araştırma konusu için 20 adet üretilmiştir.



Şekil 5.26. Mekanik karıştırıcıda hazırlanan tuğla hammaddesi



Şekil 5.27. Karışım malzemesinin 5x10x10 cm kalıplarda preslenmesi

5.3.1.1. Su Katkı Oranı ve Pişme Sıcaklığının Belirlenmesi

Perlit tuğla üretim çalışmalarında su katkı miktarının ve tuğla numunelerinin pişme sıcaklığının bilinmesi, mukavemet, pişme süresi ve kullanılan enerji bakımından oldukça önemlidir. Kontrol numunesi karışım hesaplarında su/katı karışım oranı 1,0, 1,1 ve 1,2 olacak şekilde 50x100x100 mm boyutundaki kalıplara dökülerek üretilen tuğlaların, pişme sıcaklığına göre basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık değişimi ile ilgili elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

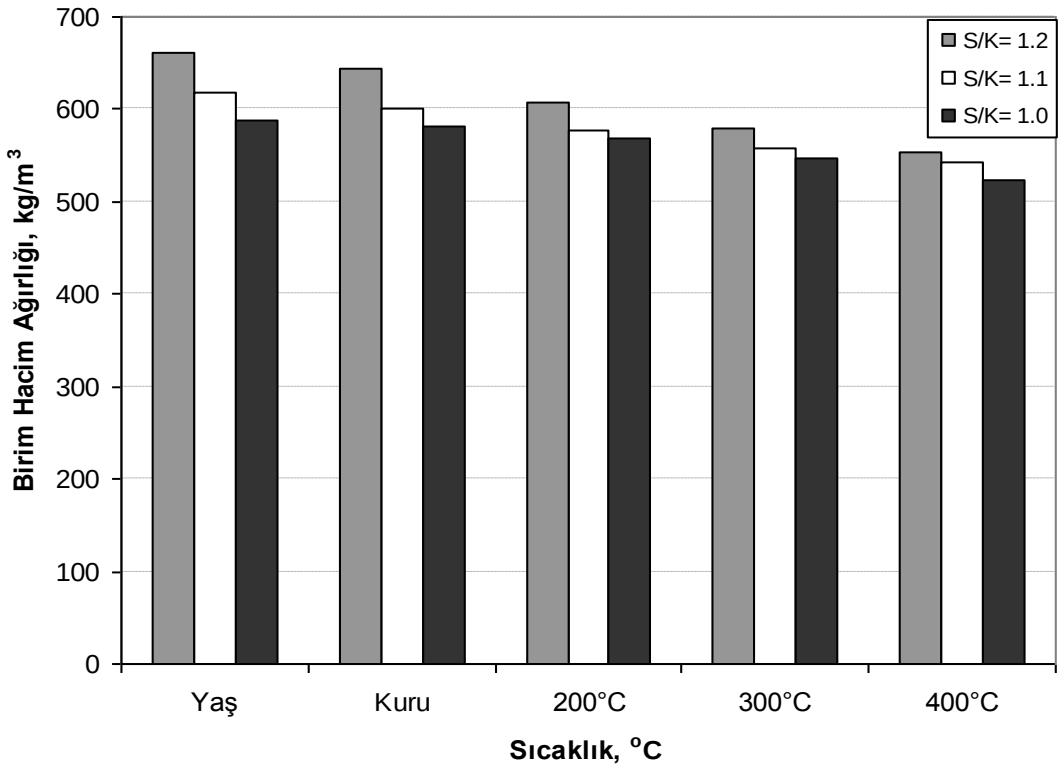
Pişme sıcaklığının belirlenmesinde DTA (termal analiz) deneylerinden elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. Kontrol numunesi karışım hesabı yapılırken, 2 kg genleşmiş perlit agregası ve ağırlıkça %5 CMC (karboksimetilselüloz) kullanılmıştır. Malzemeler su katkı oranı farklı olacak şekilde mekanik karıştırıcıda 30 dk süreyle karıştırılmış ve her bir karışımdan 20 adet numune elde edilmiştir. Numuneler 50 bar basınç altında şekillendirilmiştir. Preslenen numuneler kalıplardan çıkartılmış, TS 705 standartlarında 24 saat bekletilerek yaş ve kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Laboratuar şartlarında bir gün bekletilen numuneler yüksek sıcaklık fırınında 200, 300 ve 400°C sıcaklıklarda 2,5 saat süreyle pişirilmiş ve her bir pişme sıcaklığında birim hacim ağırlık (BHA) ve mukavemet değerlerindeki değişim kaydedilmiştir. Pişme sıcaklığında 500-600°C ye kadar çıkılmış ancak ana hammadde olarak kullanılan perlitin yandığı ve mukavemet değerlerinin oldukça düştüğü görülmüştür. Pişme süresi denemeler ve literatürden elde edilen bilgilere göre belirlenmiştir.

Deneylerde karışımların su/katı (s/k) oranı ve pişme sıcaklığını belirlemek için üretilen kontrol numunesinin mukavemet, birim hacim ağırlık ve sonik hız değişim değerleri bulunmuştur. Su katı (s/k) oranı ve sıcaklık değişimine göre Çizelge 5.20 ve Şekil 5.28'de birim hacim ağırlık, Çizelge 5.21 ve Şekil 5.29'de mukavemet ve Çizelge 5.22 ve Şekil 5.30'da sonik hız ölçüm değerleri verilmiştir. Deney sonuçlarına göre ideal su katkı miktarı ve pişme sıcaklığı belirlenmiştir. Kontrol numunesi olarak üretilen tuğlaların en yüksek mukavemet ve en düşük birim hacim ağırlık değerlerini veren örnekler kontrol numunesi olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 5.20. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık değişim (BHA) değerleri (kg/m^3)

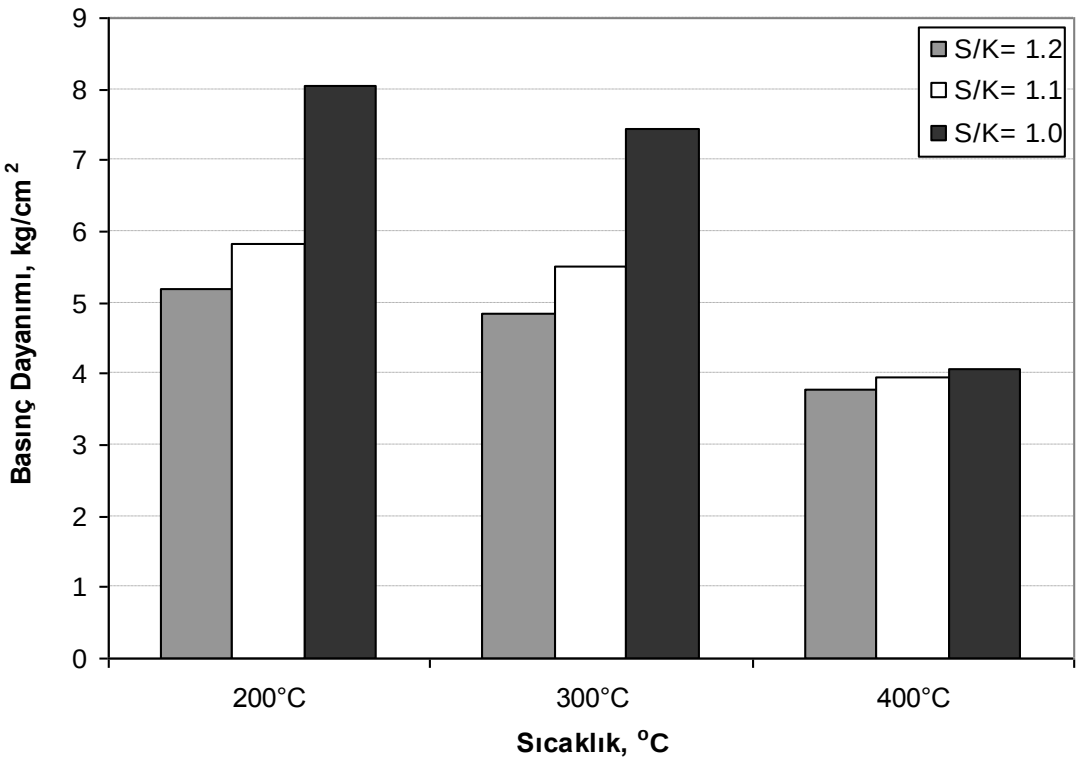
Su/Katı Oranı (%)	Sıcaklık				
	Yaş	Kuru	200°C	300°C	400°C
1,2	632	622	598	584	574
	671	656	568	549	490
	639	624	600	585	560
	707	686	646	606	576
	658	635	601	567	569
Ortalama	**661,4±29,7**	**644,6±26,2**	**602,6±28,9**	**578,2±20,4**	**553,8±20,4**
1,1	602	590	570	550	545
	647	621	595	574	554
	610	600	585	550	535
	611	596	566	546	543
	634	612	578	555	545
Ortalama	**620,8±16,9**	**603,8±11,6**	**578,8±11,7**	**555±11,1**	**544,3±13,4**
1,0	682	666	645	614	578
	562	563	543	522	504
	536	525	515	545	492
	568	563	553	505	526
	540	548	528	525	513
Ortalama	**577,6±30,1**	**573±29,9**	**564±38,7**	**542,2±44,3**	**522,6±48,3**



Şekil 5.28. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve BHA değişimi

Çizelge 5.21. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişim değerleri (kg/cm^2)

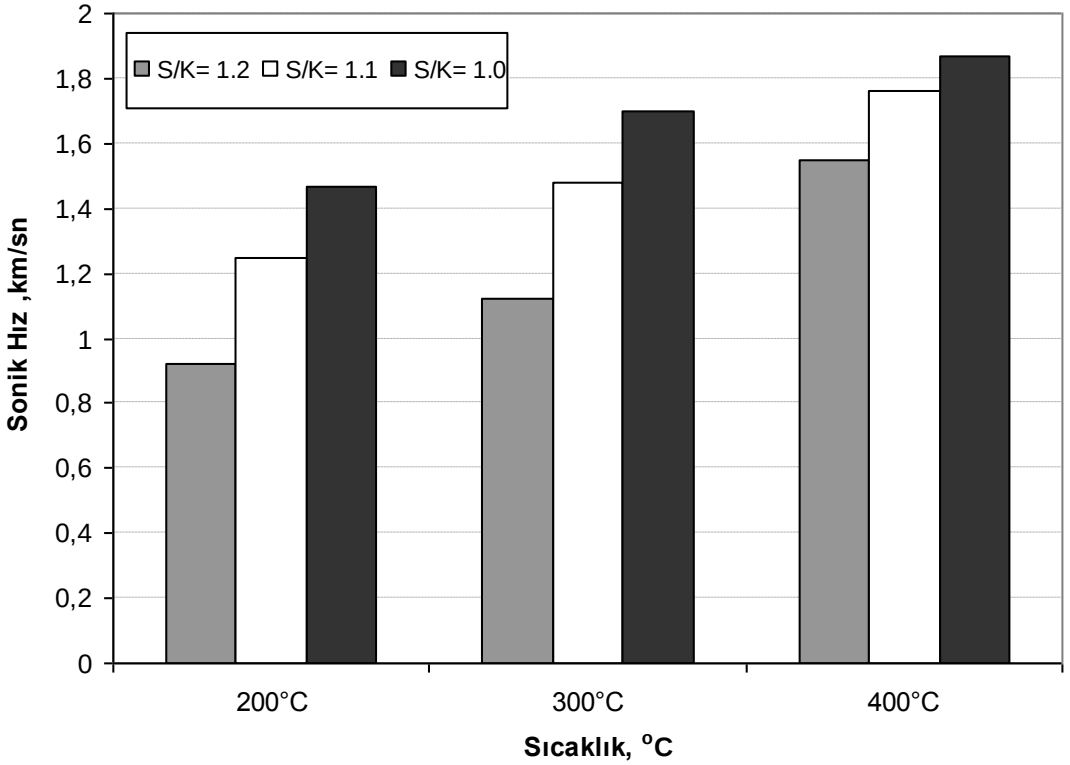
Su/Katı Oranı (s/k) (%)	Sıcaklık		
	200°C	**300°C**	**400°C**
1,2	5,31	4,90	3,93
	5,09	4,86	3,85
	5,08	4,93	3,67
	5,26	5,02	4,11
	5,18	5,05	3,63
Ortalama	**5,19±0,1**	**4,86±0,09**	**3,84±0,08**
1,1	5,65	5,51	4,02
	6,08	5,38	4,05
	5,81	5,62	3,88
	5,67	5,53	3,92
	5,85	5,55	3,85
Ortalama	**5,82±0,17**	**5,51±0,09**	**3,93±0,13**
1,0	8,58	7,55	4,07
	8,16	6,49	4,25
	7,52	7,46	4,02
	7,92	7,97	3,94
	8,13	7,55	3,99
Ortalama	**8,10±0,38**	**7,45±0,44**	**4,08±0,23**



Şekil 5.29. Kontrol tuğlasınının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve basınç dayanımı değişimi

Çizelge 5.22. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre sıcaklık ve sonik hız değişim değerleri (km/sn)

Su/Katı Oranı (%)	Sıcaklık		
	200°C	**300°C**	**400°C**
1,2	0,92	1,10	1,59
	0,90	1,05	1,63
	1,05	1,15	1,45
	0,84	1,12	1,52
	0,89	1,09	1,55
Ortalama	**0,92±0,02**	**1,12±0,01**	**1,55±0,05**
1,1	1,30	1,52	1,75
	1,21	1,55	1,82
	1,24	1,46	1,71
	1,19	1,49	1,68
	1,27	1,44	1,79
Ortalama	**1,24±0,04**	**1,49±0,05**	**1,75±0,06**
1,0	1,45	1,65	1,90
	1,41	1,72	1,85
	1,47	1,75	1,87
	1,44	1,70	1,93
	1,51	1,69	1,87
Ortalama	**1,46±0,04**	**1,70±0,07**	**1,87±0,03**



Şekil 5.30. Kontrol tuğlasının su katkı (s/k) oranına göre, sıcaklık ve sonik hız değişimi

Çizelge 5.20 ve Şekil 5.28'den görüldüğü üzere kontrol tuğla numunesinin birim hacim ağırlığı, pişme sıcaklığının artması ile azalmakta ve su katkı miktarının artması ile doğu orantılı olarak artmaktadır. Yapılan çalışmalarda, su/katı oranı 1,0 olan ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerden (522,5±48,3 kg/m^3) en düşük birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Menderes perlitlerinden üretilen kontrol numunesinin su katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre mukavemet deney sonuçları incelendiğinde, tuğla mukavemetinin sıcaklık artışıyla azaldığı ve s/k oranı 1,0 olan numunelerin 200°C pişme sıcaklığında en yüksek mukavemete ulaştığı (8,1 kg/cm^2) ve pişme sıcaklığının artmasıyla mukavemet değerinin giderek azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerin sonik hız değerleri incelendiğinde, s/k oranı 1,2 olan numunelerin sonik hız değerlerinin sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak arttığı ve 400°C pişme sıcaklığında 7,26 km/sn ile en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler ışığında, en düşük birim hacim ağırlığı ve en yüksek mukavemet değerlerini veren su/katı oranının 1,0 civarında olduğu tespit edilmiştir.

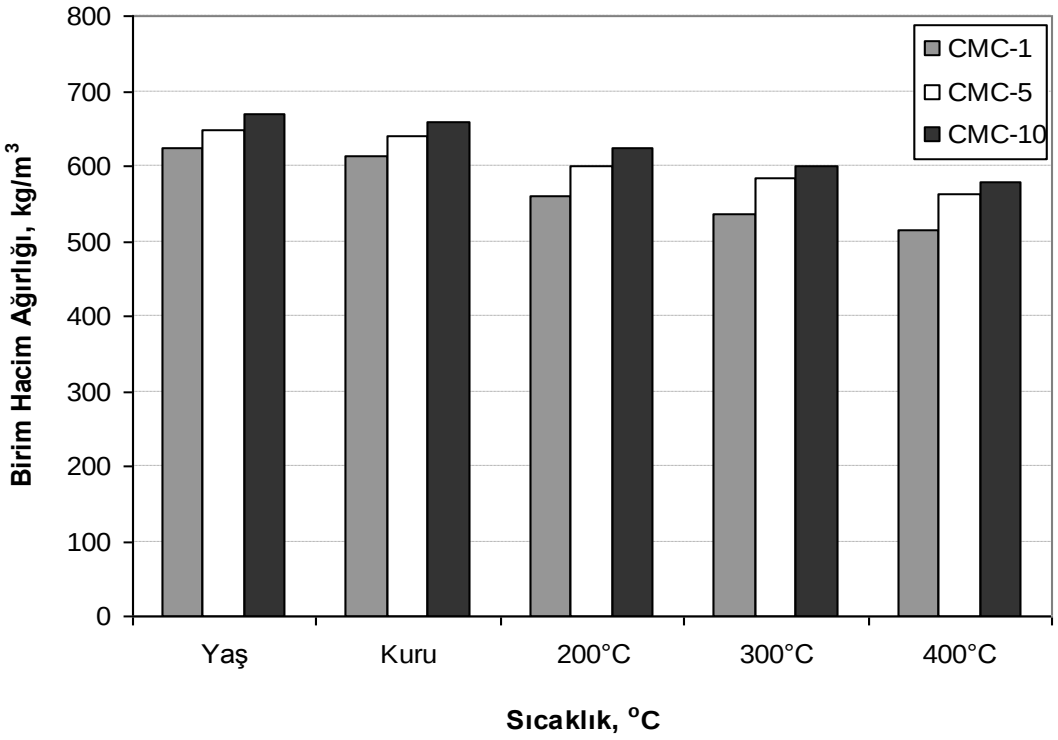
5.3.1.2. Karboksimetilselüloz (CMC) Katkı Miktarının Belirlenmesi

Deneylerde kullanılan CMC (Karboksimetilselüloz), pres makinesinde üretilen tuğla numunelerine şekil vermek ve perlit taneleri arasında bağ oluşturmak için kullanılmıştır. Kullanım miktarı, tuğla mukavemeti, ağırlığı ve maliyeti açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla kontrol numunesi üretiminde CMC katkı miktarı %1, %5 ve %10 arasında denenerek en uygun katkı miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

CMC katkı yüzdesinin, üretilen tuğla numunesinin birim hacim ağırlığı üzerine etkisi Çizelge 5.23 ve Şekil 5.31'de ve mukavemet üzerine etkisi Çizelge 5.24 ve Şekil 5.32'de verilmiştir.

Çizelge 5.23. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık (BHA) değişim değerleri (kg/m^3)

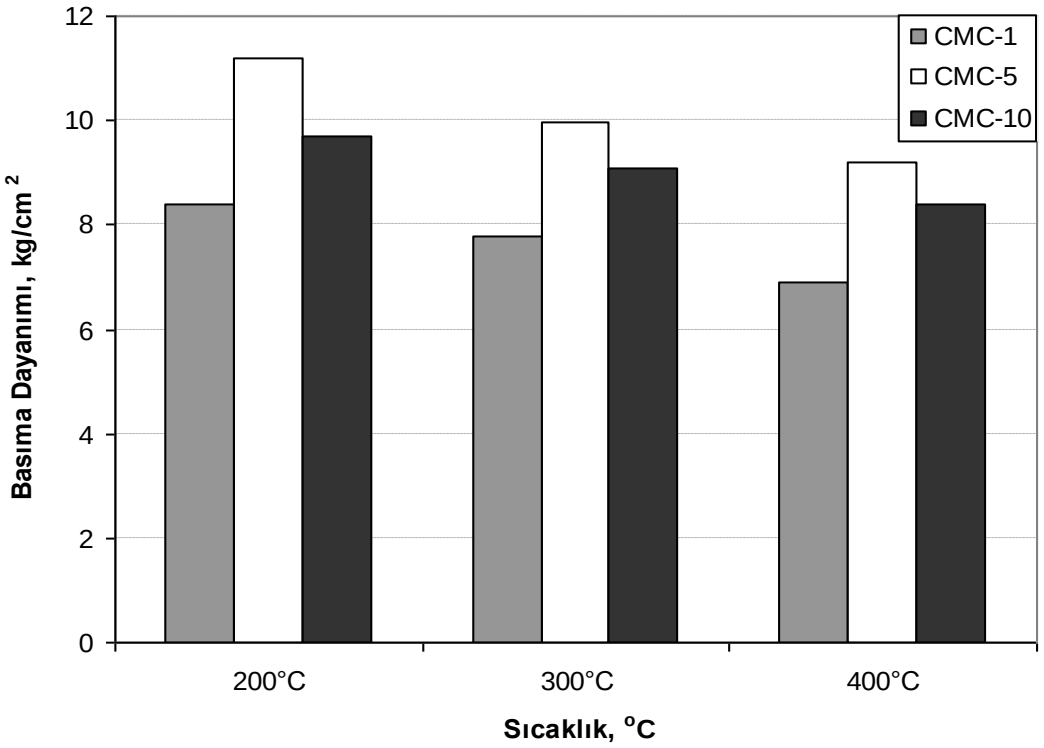
CMC Oranı (%)	Sıcaklık				
	Yaş	Kuru	200°C	300°C	400°C
1	618	608	542	518	495
	628	616	583	571	532
	612	599	551	528	504
	625	622	557	525	517
	635	619	564	536	527
Ortalama	**623,6±18,4**	**612,8±12,6**	**559,4±15,2**	**535,6±20,6**	**515±13,9**
5	645	638	619	563	570
	662	653	601	604	572
	641	635	594	591	563
	635	626	586	571	550
	658	648	598	585	564
Ortalama	**648,2±7,3**	**639,6±13,7**	**599,6±12,2**	**582,8±14,3**	**563,7±8,3**
10	688	675	639	619	591
	674	659	624	607	588
	659	648	611	584	558
	655	644	618	593	571
	672	661	628	603	583
Ortalama	**669,6±13,2**	**657,4±12,7**	**624,1±6,3**	**601,2±7,1**	**578,1±6,4**



Şekil 5.31. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık (BHA) değişimi

Çizelge 5.24. Kontrol tuğlasının CMC katkı oranına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişim değerleri (kg/cm^2)

CMC Oranı (%)	Sıcaklık		
	200°C	**300°C**	**400°C**
1	8,73	8,21	7,49
	8,57	7,90	7,12
	8,24	7,62	6,79
	7,98	7,50	6,20
	8,13	7,58	6,18
Ortalama	**8,33±0,34**	**7,76±0,28**	**6,76±0,47**
5	11,34	10,52	9,87
	10,99	9,36	8,96
	10,46	9,68	8,68
	11,87	10,23	9,12
	9,97	9,54	8,78
Ortalama	**10,93±0,37**	**9,87±0,47**	**9,08±0,53**
10	10,15	9,22	8,64
	9,45	9,41	8,88
	9,53	8,88	8,13
	9,83	8,98	7,98
	9,38	8,76	7,87
Ortalama	**9,67±0,29**	**9,05±0,24**	**8,30±0,42**



Şekil 5. 32. Kontrol tuğlasının CMC miktarına göre sıcaklık ve basınç dayanımı değişimi

Çizelge 5.23 ve Şekil 5.31'den görüldüğü üzere CMC katkı miktarının artmasıyla numunelerin birim hacim ağırlığı değeri artmakta ve sıcaklık artışıyla ters orantılı olarak azalmaktadır. Numunelerin en iyi birim hacim ağırlığı değeri 515±13,9 olup, %1 CMC katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerden elde edilmiştir. Ancak, tüm numunelerin birim hacim ağırlık değerleri hafif yapı malzemeleri için öngörülen TS' nin çok altında olduğu görülmüştür.

Kontrol tuğla olarak üretilen numunelerin CMC katkı miktarına göre sıcaklık ve mukavemet değişim değerleri incelendiğinde (Çizelge 5.24 ve Şekil 5.32), katkı miktarının ve pişme sıcaklığının artmasıyla tuğla mukavemetinin düştüğü ve tuğlaların en yüksek mukavemet değerinin, 200°C pişme sıcaklığında 10,93±0,37 kg/cm^2 olduğu tespit edilmiştir.

%5 CMC katkılı olarak üretilen numunelerin tüm pişme sıcaklıklarında en yüksek mukavemet değerlerini verdiği belirlenmiştir. Ancak, kontrol tuğlası için elde edilen mukavemet değerleri TS'nin altındadır.

5.3.1.3. Pres Basıncının Belirlenmesi

Tuğla hammaddesi üzerinde uygulanacak pres basıncının belirlenmesi, üretilen tuğlaların gerek bağ yapısı gerekse birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı sınır değerlerinin belirlenmesi bakımından önemlidir.

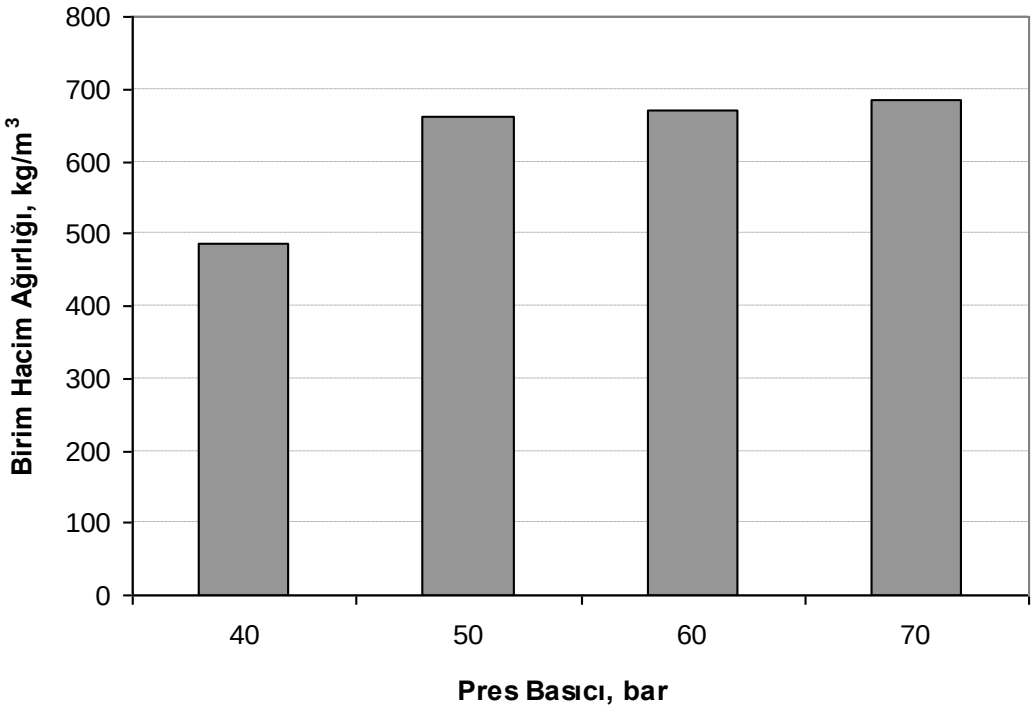
Presleme basınç değerinin düşük tercih edilmesi tuğla mukavemet değerinin düşmesine, yüksek tercih edilmesi ise tanelerin fazla ezilmesine, ısı ve ses geçirgenliği gibi mühendislik özelliklerinin kötüleşmesine neden olmaktadır. Ayrıca, pres basıncının tespit edilmesi, tuğlaların pişme sıcaklığı ve süresinin belirlenmesine doğrudan etki etmektedir.

Presleme basıncının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde, tuğla hammaddesi 50x100x100 mm boyutundaki kalıplara konularak 40, 50, 60 ve 70 bar basınç altında şekillendirilmiş ve 400°C sıcaklıkta pişirilerek deneylere hazır hale getirilmiştir. Deneylerde su katkı miktarı en yüksek mukavemet değerini veren 1,0 oranında kullanılmıştır.

Pres basınç değerinin belirlenmesi amacıyla üretilen tuğla numunelerinin laboratuar çalışmalarına göre; birim hacim ağırlık (Çizelge 5.25 ve Şekil 5.33), basınç dayanımı (Çizelge 5.26 ve Şekil 5.34), sonik hız (Çizelge 5.27 ve Şekil 5.35), su emme (Çizelge 5.28 ve Şekil 5.36) ve porozite (Çizelge 5.29 ve Şekil 5.37) deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.25. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre birim hacim ağırlık (BHA) değişim değerleri (kg/m^3)

Numune No	40 bar	50 bar	60 bar	70 bar
1	582	664	691	699
2	594	675	702	706
3	614	678	674	692
4	628	688	673	687
5	632	647	689	658
6	669	672	681	703
7	605	638	674	694
8	645	656	679	683
9	628	698	668	701
10	644	625	700	690
0rtalama	**624,1±22,0**	**664,1±19,2**	**683,1±11,3**	**691,3±15,4**

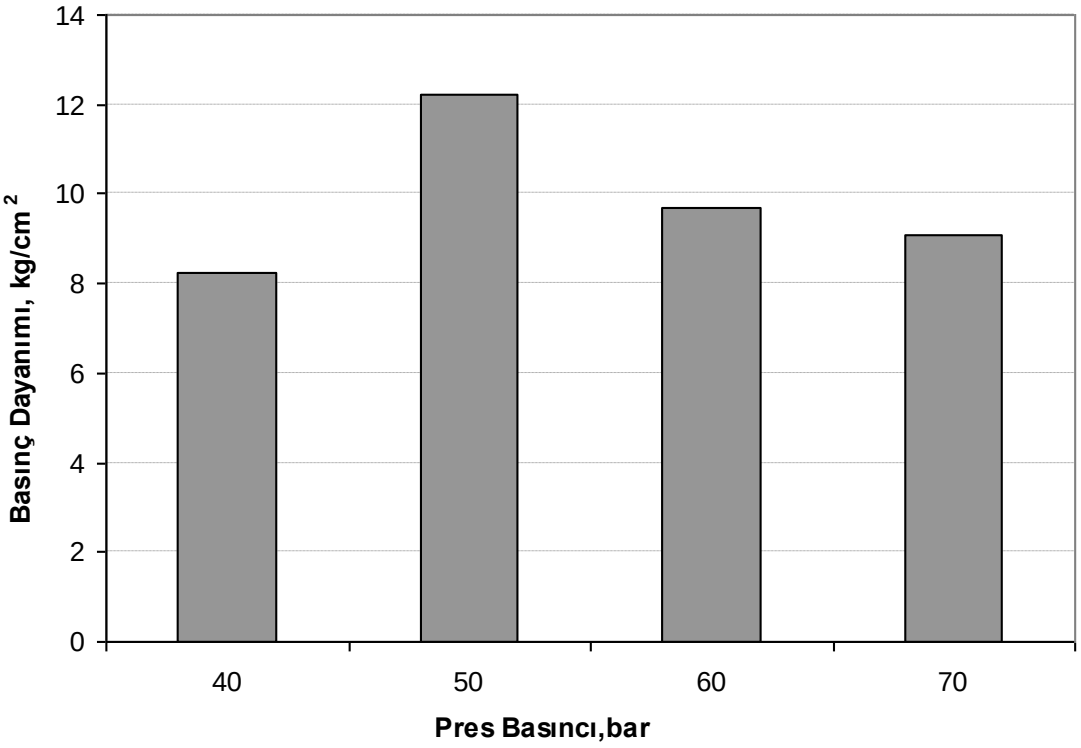


Şekil 5.33. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre birim hacim ağırlık (BHA) değişimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 40, 50, 60 ve 70 bar basınçta üretilen tuğlaların birim hacim değerleri sırasıyla, 624,1±22, 664,1±19,2, 683,1±11,3 ve 691,3±15,4 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde pres basınç değerinin artmasıyla tuğlaların birim hacimlerinde bir artma meydana geldiği 60 bar basınçtan sonraki artış miktarının ise çok fazla olmadığı belirlenmiştir.

Çizelge 5.26. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre basınç dayanımı değişim değerleri (kg/cm^2)

Numune No	40 bar	50 bar	60 bar	70 bar
1	7,7	11,2	9,6	9,0
2	7,5	11,0	9,0	9,3
3	9,5	11,3	10,2	9,4
4	10,4	12,4	8,6	8,7
5	8,3	12,0	10,1	8,6
6	7,4	11,4	10,6	8,7
7	7,5	13,6	9,6	9,0
8	7,9	14,5	9,5	9,1
9	8,8	12,1	9,0	9,5
10	8,1	11,9	10,0	8,8
0rtalama	**8,31±0,11**	**12,13±0,13**	**9,62±0,31**	**9,01±0,28**

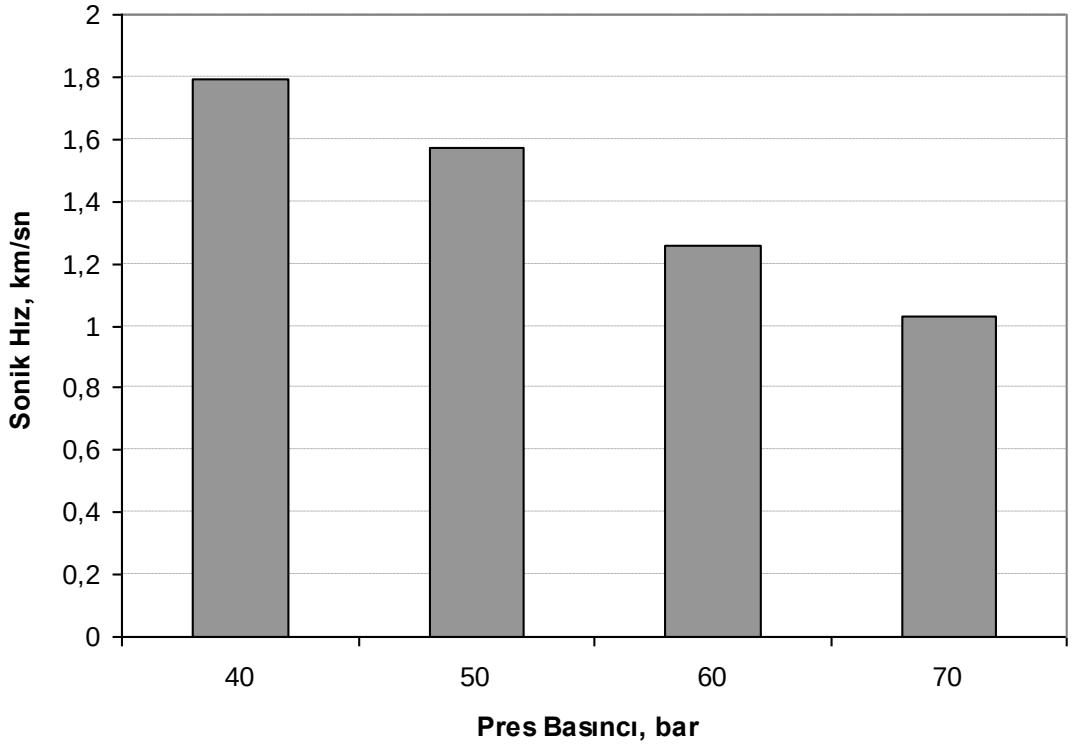


Şekil 5.34. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre basınç dayanımı değişimi

40, 50, 60 ve 70 bar basınçta üretilen tuğlaların tek eksenli basma dayanım değerleri sırasıyla, 8,31±0,11, 12,13±0,13, 9,62±0,31 ve 9,01±0,28 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Değerler incelendiğinde 50 bar basınçta üretilen tuğlaların en yüksek basınç dayanımını sağladığı ve pres basıncının artmasıyla numunelerin tek eksenli basma dayanımlarının giderek azalmaya başladığı tespit edilmiştir

Çizelge 5.27. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre sonik hız değişim değerleri (km/sn)

Numune No	40 bar	50 bar	60 bar	70 bar
1	1,94	1,55	1,08	0,85
2	1,82	1,51	1,46	1,20
3	1,81	1,42	1,38	1,06
4	1,59	1,65	1,20	1,05
5	1,86	1,40	1,28	1,19
6	1,70	1,72	1,20	0,88
7	1,76	1,79	1,13	1,18
8	1,87	1,84	1,30	1,02
9	1,75	1,32	1,18	0,93
10	1,81	1,38	1,36	0,95
0rtalama	**1,79±0,04**	**1,57±0,02**	**1,26±0,09**	**1,03±0,03**

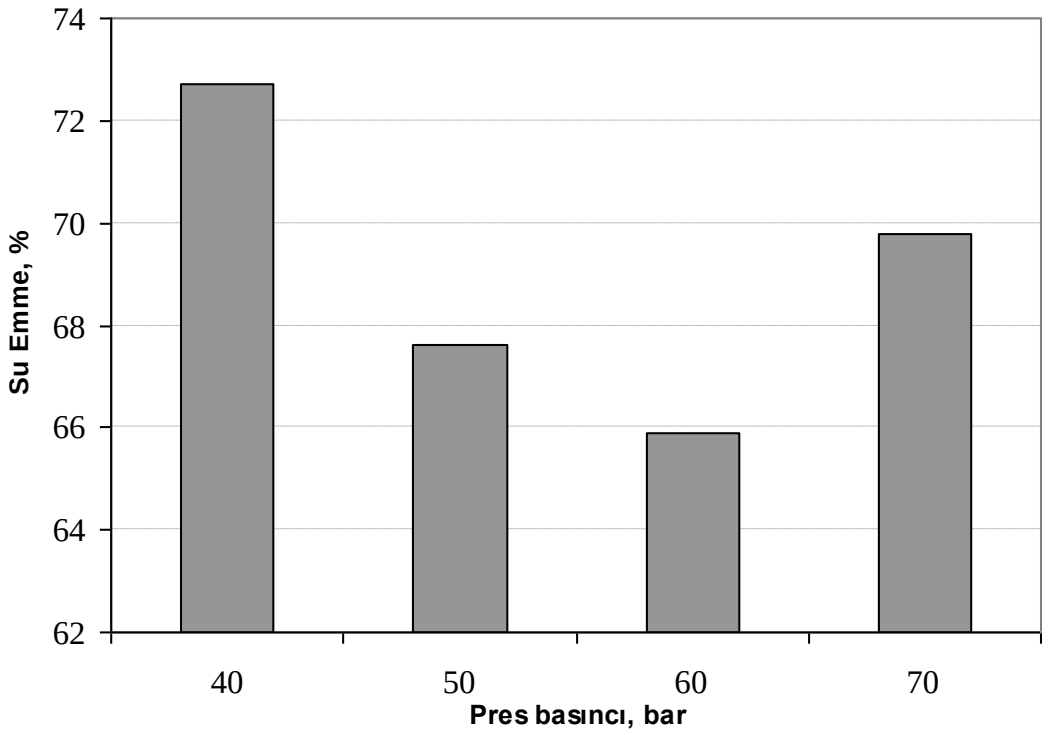


Şekil 5.35. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre sonik hız değişimi

Ayni şekilde, 40, 50, 60 ve 70 bar basınçta üretilen tuğlaların sonik hız değerleri, 4,79±0,22, 3,71±0,20, 5,16±0,19 ve 5,55±0,23 km/sn bulunmuştur. Sonik hız ölçüm değerlerinin pres basınç oranına göre giderek düşmesi, numunelerde deformasyonun arttığı ve basınç dayanımının düştüğünü göstermektedir.

Çizelge 5.28. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre su emme değişim değerleri (%)

Numune No	40 bar	50 bar	60 bar	70 bar
1	71,6	70,6	65,6	71,3
2	73,8	72,3	68,8	73,8
3	75,3	68,5	70,5	70,5
4	78,2	69,0	70,1	69,4
5	70,1	65,2	64,3	68,1
6	69,2	64,1	62,9	70,8
7	67,5	66,8	65,1	73,9
8	70,2	63,3	60,9	67,1
9	77,3	65,0	62,6	67,3
10	74,1	70,9	68,7	66,1
0rtalama	**72,7±3,7**	**67,6±2,8**	**65,9±3,4**	**69,8±2,5**

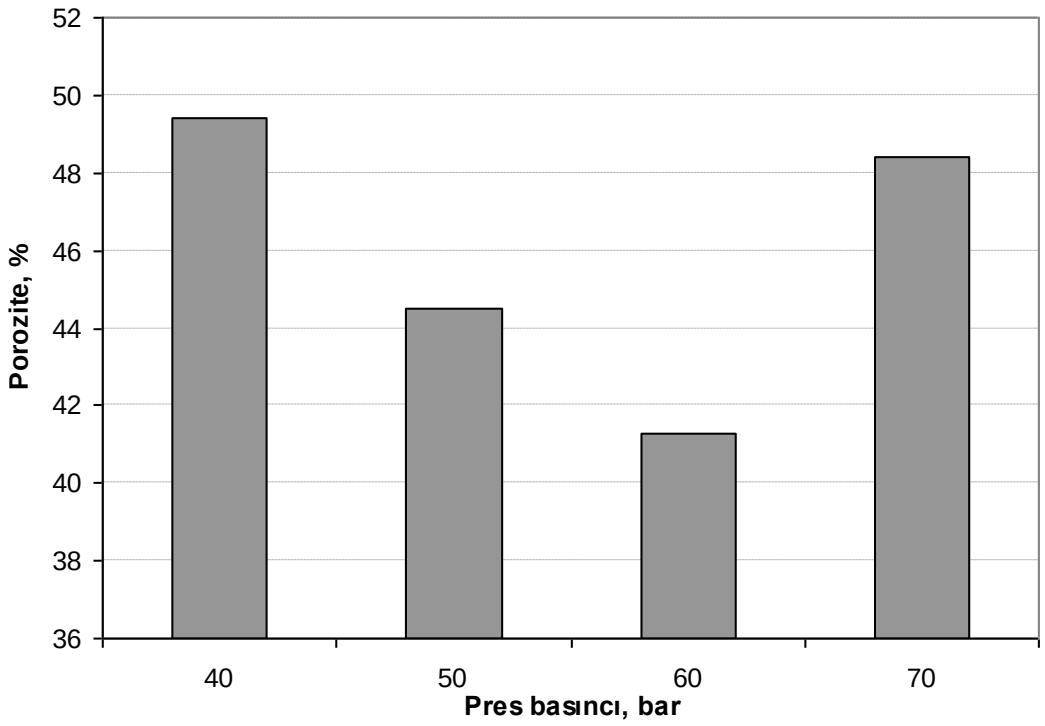


Şekil 5.36. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre su emme değişimi

Laboratuar çalışmalarında 50 ve 60 bar basınçta üretilen tuğlalardan elde edilen su emme ve porozite deney sonuçlarının en uygun değerleri verdiği ve bu değerlerin pres basıncının artmasıyla giderek arttığı görülmüştür. Bu artışın deformasyondan kaynaklanan kırık ve çatlaklardan meydana geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.29. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre porozite değişim değerleri (%)

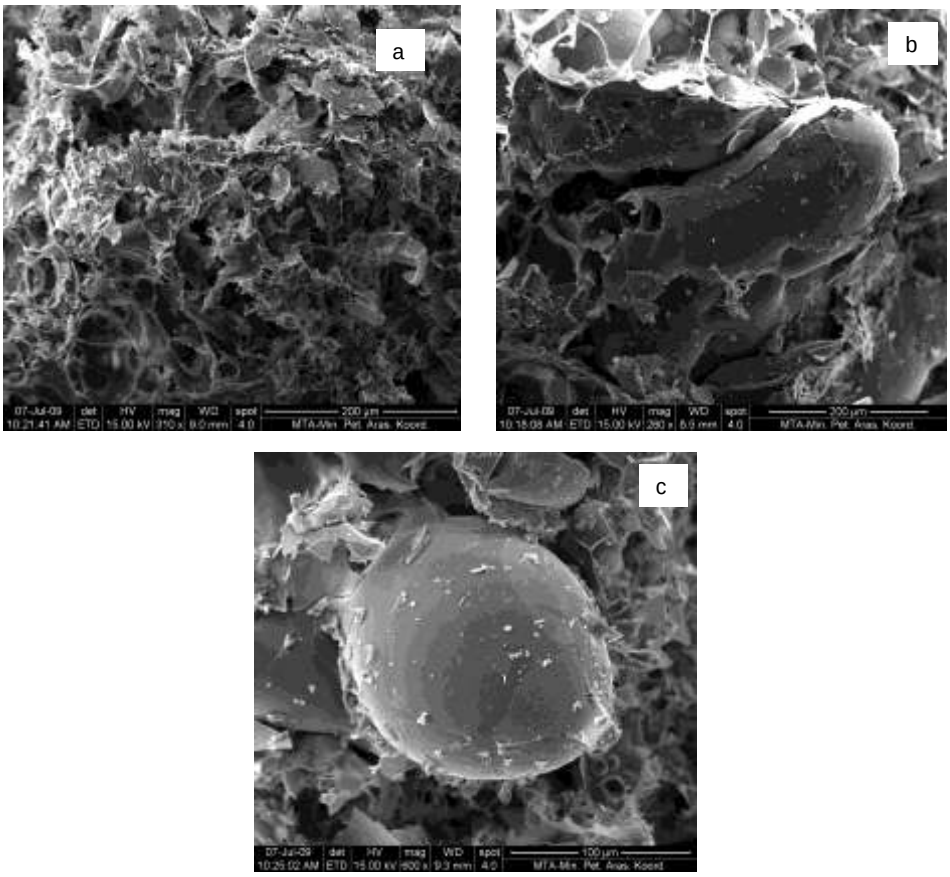
Numune No	40 bar	50 bar	60 bar	70 bar
1	50,8	45,2	43,3	50,1
2	48,5	40,8	40,6	48,9
3	52,4	49,4	39,2	49,3
4	48,4	47,7	44,4	47,5
5	45,3	42,5	38,4	45,6
6	47,7	40,8	42,9	44,8
7	54,5	39,6	40,5	49,9
8	50,1	45,9	42,8	47,8
9	46,4	45,0	37,0	52,4
10	49,9	48,6	45,8	48,0
0rtalama	**49,4±2,9**	**44,5±3,3**	**41,3±2,4**	**48,4±2,3**



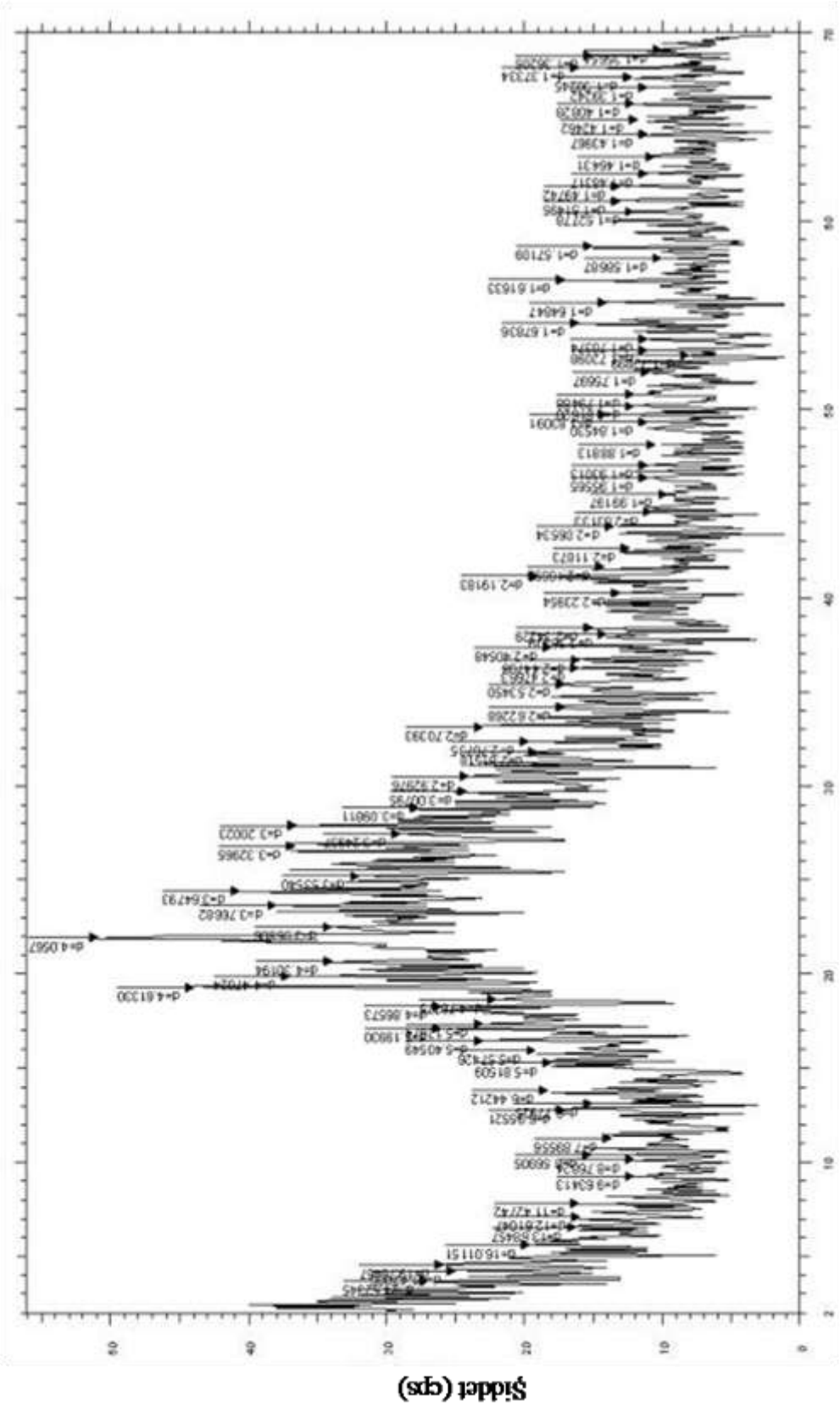
Şekil 5.37. Kontrol tuğlasının pres basınç değerlerine göre porozite değişimi

5.3.1.4. Kontrol Tuğlasının Mineralojik ve Termal Analizleri

SEM analizleri farklı sıcaklıklarda (200°C, 300°C ve 400°C) pişirilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 200°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin camsı yapıda olduğu ve 300°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin kırılma yüzeyleri ile birlikte balon şeklinde yapıların geliştiği görülmektedir. 400°C civarında pişirilen numunelerde bu balonsu yapılar artmakta ve mısır patlağı gibi kırılarak gözenekli yapı oluşmaktadır (Şekil 5.38) Bu durumun, kontrol numunesi için 400°C ve üzerindeki pişme sıcaklıklarında dayanım düşüşüne neden olduğu görülmektedir. Minerolojik analizler, 400°C pişme sıcaklığında üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tuğla bünyesinde kristobalit, tridimit ve kuvars minerallerinin varlığına rastlanmıştır (Şekil 5.39)



Şekil 5.38. Kontrol tuğlasının farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri (a; 200 °C, b; 300 °C ve c; 400 °C)



Şekil 5.39. Kontrol tuğlasına ait X-ray difraktometre analiz sonuçları

5.3.2. Bor Katkılı Tuğlaların Üretimi

Emet bor (EK) katkılı perlit tuğlaların üretimi, (50x100x100 mm) boyutundaki kalıplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kolemanit doğal bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kolemanitin 300-400°C arasındaki sıcaklıkta reaksiyonuna girdiği, perlit taneleri arasında bağ oluşturarak mukavemet artışı sağladığı belirlenmiştir. Laboratuar çalışmalarında, kolemanit (%5, 10, 15, 20) ve %5 CMC (karboksimetilselüloz) katılarak 4 ayrı reçetede üretilen tuğlaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet değerini veren aralık tespit edilmiştir. Çizelge 5.30'da bor katkılı tuğla üretiminde kullanılan karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 5.30. Bor katkılı tuğlaların agrega, su ve bağlayıcı karışım oranları

Menderes Perlit (%)	Emet Kolemanit (%)	CMC (%)	Su (%)
90	5	5	0,85
85	10	5	0,85
80	15	5	0,85
75	20	5	0,85

Bor katkılı perlit tuğla üretiminde, kontrol tuğlası üretiminden elde edilen veriler (pres basıncı, pişme süresi, pişme sıcaklığı, su katkı miktarı) kullanılmıştır. Laboratuarda yapılan çalışmalarda kullanılan hammaddeler, mekanik karıştırıcıda 30 dk süre ile karıştırılarak kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 5.40).

Hazırlanan karışımlarda su/katı oranı 0,85 civarında kullanılmıştır. Numune üretiminde 50x100x100 mm boyutunda kalıplar kullanılmış, her bir tuğla 370 gr olacak şekilde hazırlanmış, kalıplara yerleştirilmiş ve 50 bar basınçta sıkıştırılarak üretilmiştir (Şekil 5.41 ve Şekil 5.42). Farklı karışımlarda üretilen tuğlalar 200, 300, 400°C sıcaklıkta 2,5 saat süreyle pişirilerek (Şekil 5.43 ve Şekil 5.44) en düşük birim hacim ağırlığı ve en yüksek tek eksenli basma dayanım değerini veren aralık belirlenmeye çalışılmıştır

Deneylerde üretilen bor katkılı tuğlalar TS standartlarına uygun olarak doğal ortamda 24 saat bekletilerek doğal birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş ve

TS 406 standartlarına uygun olarak mekanik ve fiziksel özeliklerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Kolemanit katkılı olarak Menderes perlitlerinden yapılan örneklerin pişme sıcaklığına bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikleri oluşturulmuştur.

Çalışmalar sonucunda üretilen bor katkılı (%5, 10, 15 ve 20) perlit tuğlaların 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıklarda pişirildikten sonra kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında;

- Yaş ve kuru birim hacim ağırlık deneyi,
- Tek eksenli basma dayanımı deneyi,
- Sonik hız deneyi,
- Su emme deneyi ve
- Porozite (gözeneklilik) deneyi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.40. Hazırlanan karışımların 5x10x10 cm kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 5.41. Bor katkılı perlit tuğlaların üretimi



Şekil 5.42. Bor katkılı olarak üretilen tuğlaların genel görünümü



Şekil 5.43. Farklı karışımlarda üretilen tuğlaların farklı sıcaklıklarda pişirilmesi



Şekil 5.44. Farklı oranlarda bor katkısı ile pişirilen tuğlaların görünümü

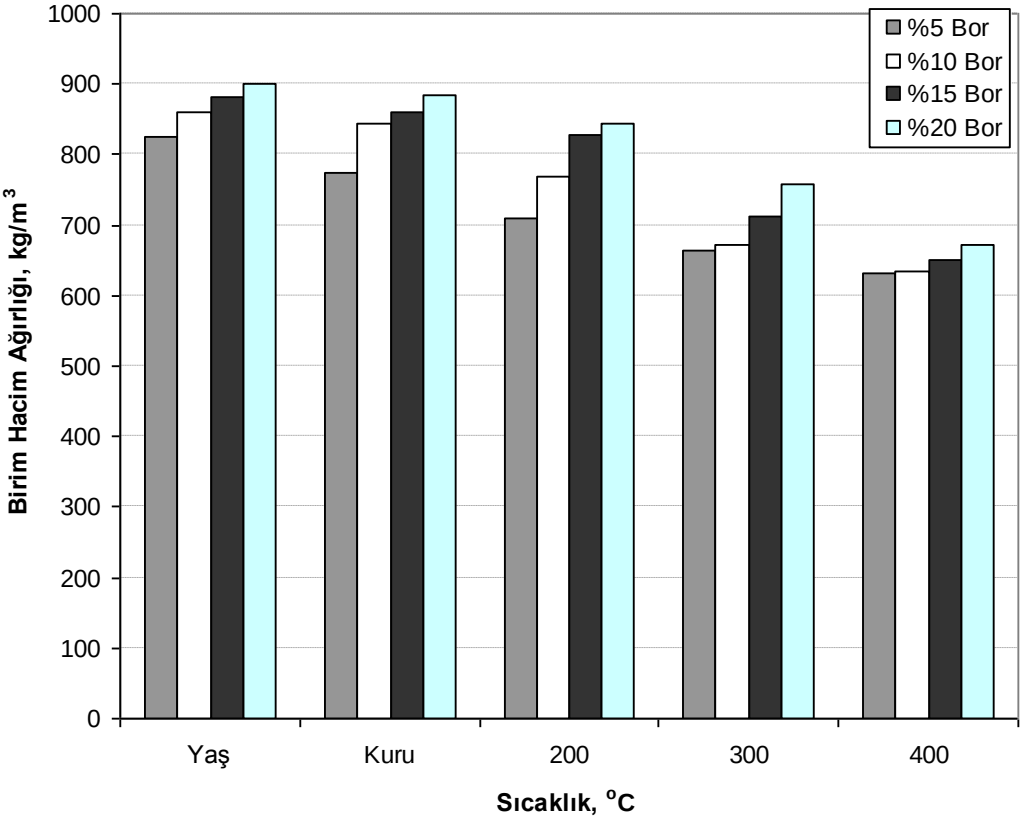
Üretilen tuğlaların SEM ve XRD analizleri gerçekleştirilmiş, birim hacim ağırlık, sonik hız, tek eksenli basma dayanımı, su emme ve porozite değerleri ölçülmüştür.

5.3.2.1. Bor Katkılı Tuğlaların Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları

Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin yaş, kuru, 200°C, 300°C ve 400°C pişme sıcaklıklarında birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 5.31 ve Şekil 5.45'de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık				
	Yaş	Kuru	200°C	300°C	400°C
5	822	769	708	674	640
	828	773	701	649	612
	812	758	703	667	624
	831	781	721	663	644
	827	788	719	661	635
Ortalama	**824,0±28,8**	**773,8±27,9**	**710,4±26,6**	**662,8±25,7**	**631,0±25,3**
10	868	853	789	698	659
	850	835	765	670	632
	842	808	743	652	624
	865	819	753	671	639
	877	862	791	666	623
Ortalama	**860,4±42,9**	**845,4±38,5**	**768,2±35,9**	**671,2±19,2**	**635,4±16,8**
15	897	879	817	720	669
	884	853	809	706	632
	873	851	811	733	668
	867	853	805	702	652
	893	867	812	697	635
Ortalama	**882,8±19,3**	**860,6 ±25,8**	**810,8±19,4**	**711,6±17,3**	**651,2±15,1**
20	912	895	824	749	691
	904	889	826	742	679
	887	874	834	736	670
	892	871	818	731	665
	901	886	820	737	658
Ortalama	**899,2±23,0**	**883,4±23,8**	**824,2±19,9**	**739,2±22,1**	**672,6±17,0**



Şekil 5.45. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen tuğlaların birim hacim ağırlığı değişimi

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde kolemanit katkılı (%5, 10, 15, 20) ve 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıkta pişirilerek üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, kolemanit katkısı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık değerleri artmakta, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde, %5 kolemanit katkılı numunelerin bağlayıcı katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre en düşük birim hacim ağırlık değerlerini verdiği belirlenmiştir.

Üretilen tuğlaların kolemanit katkı oranı ve pişme sıcaklığına göre birim hacim ağırlık deney sonuçları incelendiğinde; %5 bor (824,0±28,8, 773,8±27,9, 710,4±26,6, 662,8±25,7 ve 631±25,3 kg/m^3), %10 bor (860,4±42,9, 845,4±38,5, 768,2±35,9, 671,2±19,2 ve 635,4±16,8 kg/m^3), %15 bor (882,8±19,3, 860,6 ±25,8, 826,8±19,4, 711,6±17,3 ve 651,2±15,1 kg/m^3) ve %20 bor (899,2±23,0, 883,4±23,8, 844,2±19,9, 759±22,1 ve 672,6±17,0 kg/m^3) olarak tespit edilmiştir.

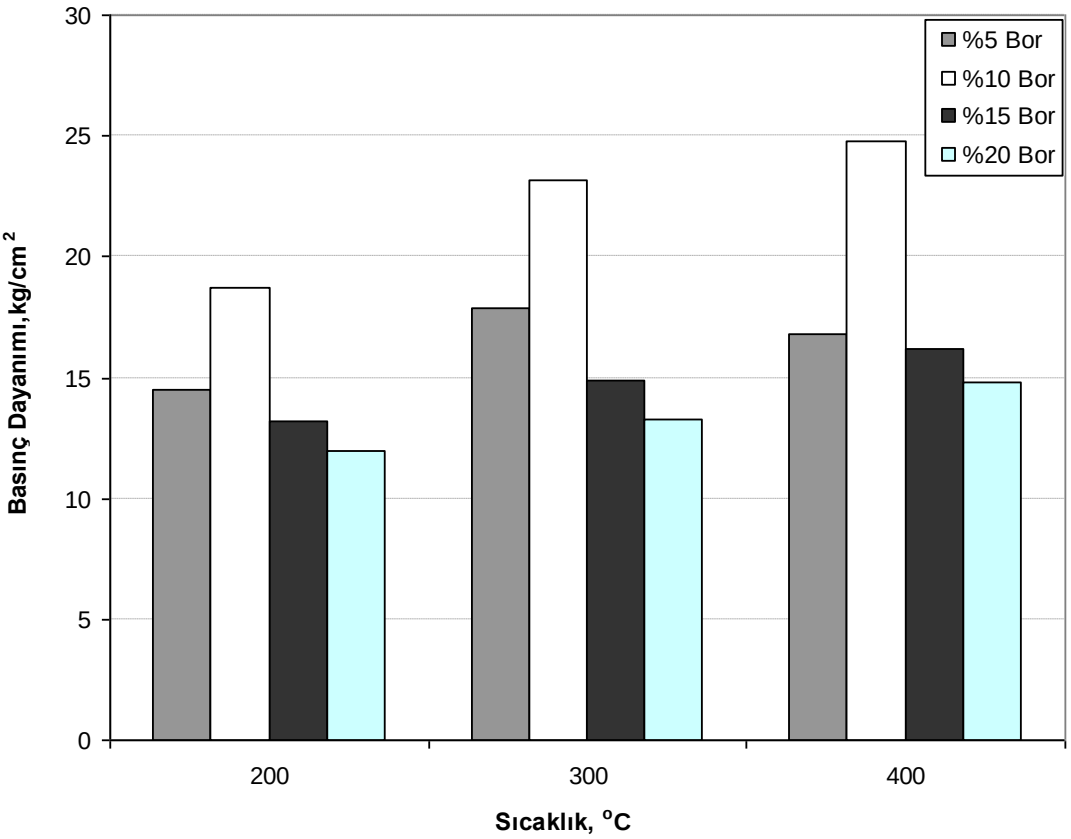
Deneyler 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve ortalaması alınarak kaydedilmiştir. 400°C sıcaklıkta pişirilen kolemanit katkılı tuğlaların tüm pişme sıcaklıkları içinde en iyi birim hacim ağırlık değerini verdiği belirlenmiştir.

5.3.2.2. Bor Katkılı Tuğlaların Basma Dayanımı Deney Bulguları

Mukavemet testleri, farklı sıcaklıklarda 2,5 saat süreyle pişirilen tuğlalar üzerinde, 24 saat bekletildikten sonra ve 5 adet numunenin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin 200°C, 300°C ve 400°C pişme sıcaklıklarında tek eksenli basma dayanım değerleri Çizelge 5.32 ve Şekil 5.46'da verilmiştir.

Çizelge 5.32. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanım değerleri (kg/cm^2)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	14,4	15,4	16,8
	13,3	18,2	19,2
	12,8	18,8	16,4
	15,5	19,9	15,3
	16,6	17,1	16,1
Ortalama	**14,5±1,3**	**17,9±1,8**	**16,8±1,2**
10	19,8	23,8	25,5
	17,2	24,5	24,9
	18,7	21,7	25,1
	19,6	22,9	23,8
	18,1	23,2	24,6
Ortalama	**18,7±1,2**	**23,2±1,1**	**24,8±1,3**
15	14,2	14,9	16,6
	11,9	15,8	15,9
	12,1	14,5	16,3
	15,0	14,1	15,5
	12,8	15,3	16,9
Ortalama	**13,2±1,2**	**14,9±1,0**	**16,2±1,4**
20	**10,9**	**13,3**	**15,3**
	11,8	**13,8**	**14,9**
	12,5	**13,5**	**14,5**
	13,1	**12,7**	**15,5**
	11,6	**13,0**	**14,0**
Ortalama	**12,0±0,9**	**13,3±0,9**	**14,8±1,2**



Şekil 5.46. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanımı değişim grafiği

Kolemanit katkısı ve pişme sıcaklığına göre, pişirilen tuğlaların tek eksenli basma dayanımı sonuçları incelendiğinde, tüm pişme sıcaklıklarında %10 kolemanit katkılı numunelerin en yüksek mukavemet değerlerini verdiği, bor katkı miktarı arttıkça tuğlaların tek eksenli basma dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen veriler, tuğlaların pişme sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, bor katkı oranlarına göre pişme sıcaklığının artmasıyla numunelerin basma dayanımının arttığı görülmüştür. Bu durum, kontrol tuğlalarında sıcaklık artışıyla oluşan boşlukların kolemanit mineralleri tarafından doldurularak (sinterleme başlangıcı) dayanım artışının sağlandığını göstermektedir. Kolemanit katkılı tuğlaların (%10 ve 400°C' de pişirilen) basma dayanımı değerleri kontrol numunelerinden elde edilen değerlere kıyasla 2,27 kat daha fazla bulunmuştur.

Deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı kolemanit katkısı ve pişme sıcaklığına göre tek eksenli basma dayanımı sonuçları; %5 bor katkısı (14,5±1,3,

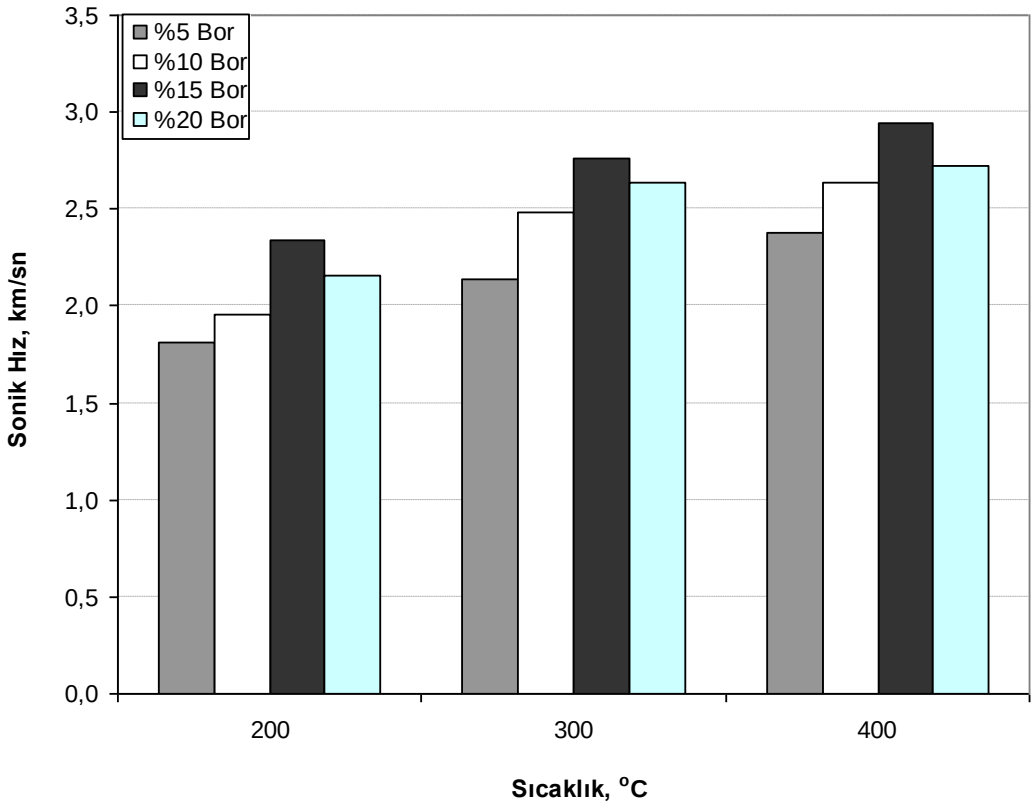
17,9±1,8 ve 16,8±1,2 kg/cm^2), %10 bor (18,7±1,2, 23,2±1,1 ve 24,8±1,3 kg/cm^2), %15 bor (13,2±1,2, 14,9±1,0 ve 16,2±1,4 kg/cm^2) ve %20 bor (12,0±0,9, 13,3±0,9 ve 14,8±1,2 kg/cm^2) olarak belirlenmiştir.

3.2.2.3. Bor Katkılı Tuğlaların Sonik Hız Deney Bulguları

Laboratuar çalışmalarında kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların yapısal özellikleri hakkında bilgi edinmek için sonik hız deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin 200°C, 300°C ve 400°C pişme sıcaklığında sonik hız (P-dalga) değerleri Çizelge 5.33 ve Şekil 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.33. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değerleri (km/sn)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	1,8	2,3	2,6
	1,9	2,0	2,2
	1,6	1,9	2,7
	1,7	2,1	2,3
	2,0	2,4	2,1
Ortalama	**1,81±0,05**	**2,14±0,04**	**2,38±0,05**
10	2,2	2,5	2,9
	1,9	2,9	2,6
	1,8	2,3	2,4
	2,1	2,1	2,8
	1,8	2,6	2,5
Ortalama	**1,96±0,04**	**2,48±0,06**	**2,64±0,05**
15	2,3	2,9	3,1
	2,2	3,0	2,9
	2,5	2,5	3,0
	2,3	2,8	2,8
	2,4	2,6	2,9
Ortalama	**2,34±0,03**	**2,76±0,05**	**2,94±0,02**
20	2,0	2,3	2,9
	2,4	2,8	2,5
	2,3	2,7	2,7
	2,1	2,5	2,5
	2,0	2,9	3,0
Ortalama	**2,16±0,02**	**2,64±0,05**	**2,72±0,04**



Şekil 5.47. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değişim grafiği

Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %20 kolemanit katkılı numuneler en yüksek sonik hız geçiş değerleri vermektedir. Pişme sıcaklığına göre %5 kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların geçiş değerleri ise en düşüktür. Bor katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla sonik hız geçiş değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır.

Bu durum, ağırlıkça %10'dan az ve %15'den fazla kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların iç kısımlarında kırıklı bölgelerin ve çatlaklı yapıların oluştuğunu göstermektedir. Kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların sonik hız geçiş değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre benzerlik göstermektedir.

Sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığına göre sonik hız geçiş değerleri; %5 bor katkısı (1,81±0,05, 2,14±0,04 ve 2,38±0,05 km/sn), %10 bor (1,96±0,04, 2,48±0,06 ve 2,64±0,05 km/sn),

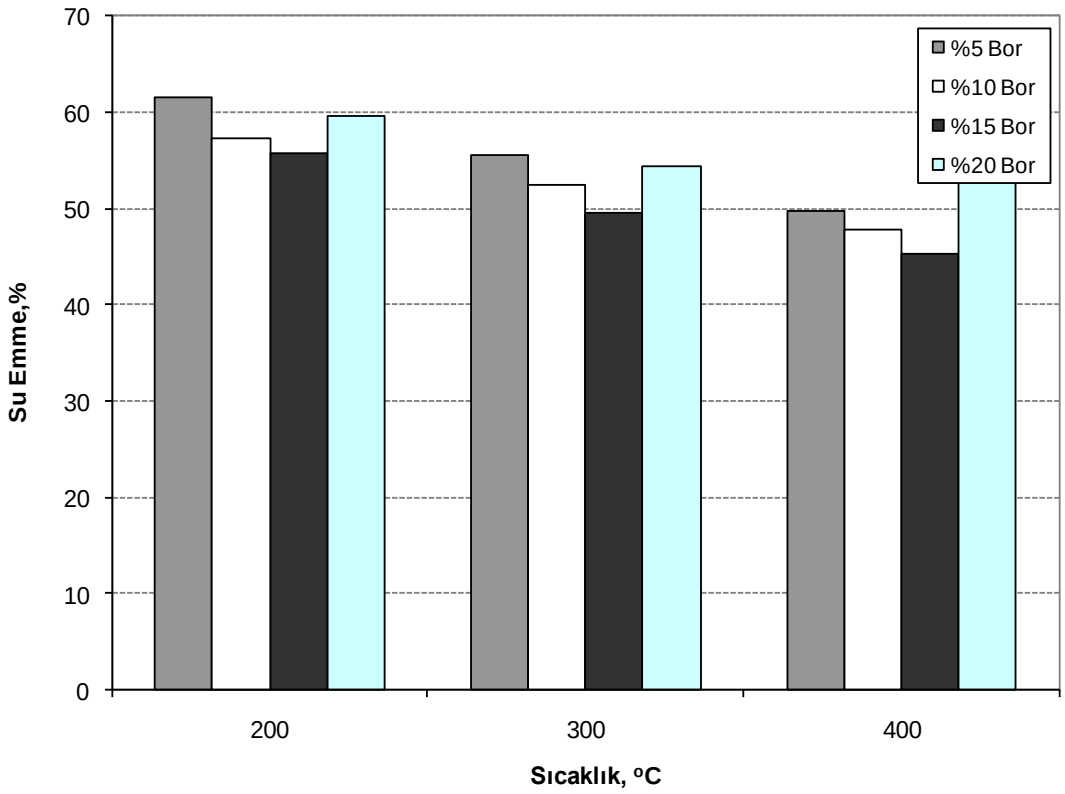
%15 bor (2,34±0,03, 2,76±0,05 ve 2,94±0,02 km/sn) ve %20 bor (2,16±0,02, 2,64±0,05 ve 2,72±0,04 km/sn) olarak belirlenmiştir.

3.2.2.4. Bor Katkılı Tuğlaların Su Emme Deney Bulguları

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin su emme ve porozite özelliğinin bilinmesi, malzemenin gerek sıva tutması ve gerekse ısı ve ses özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla, farklı sıcaklıklarda pişirilen bor katkılı tuğlaların, bor katkı oranı ve pişme sıcaklığı değişimine göre elde edilen su emme değerleri Çizelge 5.34 ve Şekil 5.48'de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değerleri (%)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	61,1	58,7	49,1
	64,6	55,2	48,7
	65,1	56,4	50,2
	56,8	54,1	51,4
	59,7	53,8	48,9
Ortalama	**61,5±3,8**	**55,5±3,7**	**49,8±5,6**
10	54,2	53,9	45,9
	57,1	51,6	47,3
	58,5	53,5	48,5
	59,9	50,7	49,2
	56,5	52,4	48,7
Ortalama	**57,2±5,3**	**52,4±2,5**	**47,9±3,7**
15	56,8	48,9	45,9
	55,9	49,3	47,4
	54,8	51,6	43,3
	57,5	48,5	44,1
	54,2	49,7	45,1
Ortalama	**55,8±9,6**	**49,6±3,5**	**45,2±2,3**
20	60,0	53,3	52,5
	59,5	56,2	53,4
	58,8	52,7	52,5
	61,6	53,8	55,9
	58,3	55,4	49,6
Ortalama	**59,6±8,6**	**54,3±5,9**	**52,8±2,2**



Şekil 5.48. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değişim grafiği

Üretilen tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numuneler en düşük su emme değerlerini vermektedir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Bu durum, kontrol numunesinde görülen boşlukların, sıcaklık artışıyla orantılı olarak bağlayıcı ile dolduğunu ve su emme değerinin düştüğünü göstermektedir. Kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların su emme değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre oldukça düşüktür.

Kolemanit katkılı tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığına göre su emme değerleri; %5 bor katkısı (%61,5±3,8, 55,5±3,7 ve 49,8±5,6), %10 bor (57,2±5,3, 52,4±2,5 ve 47,9±3,7 %), %15 bor (%55,8±9,6, 49,6±3,5 ve 45,0±2,3) ve %20 bor (%59,6±8,6, 54,3±5,9 ve 52,8±2,2) olarak belirlenmiştir.

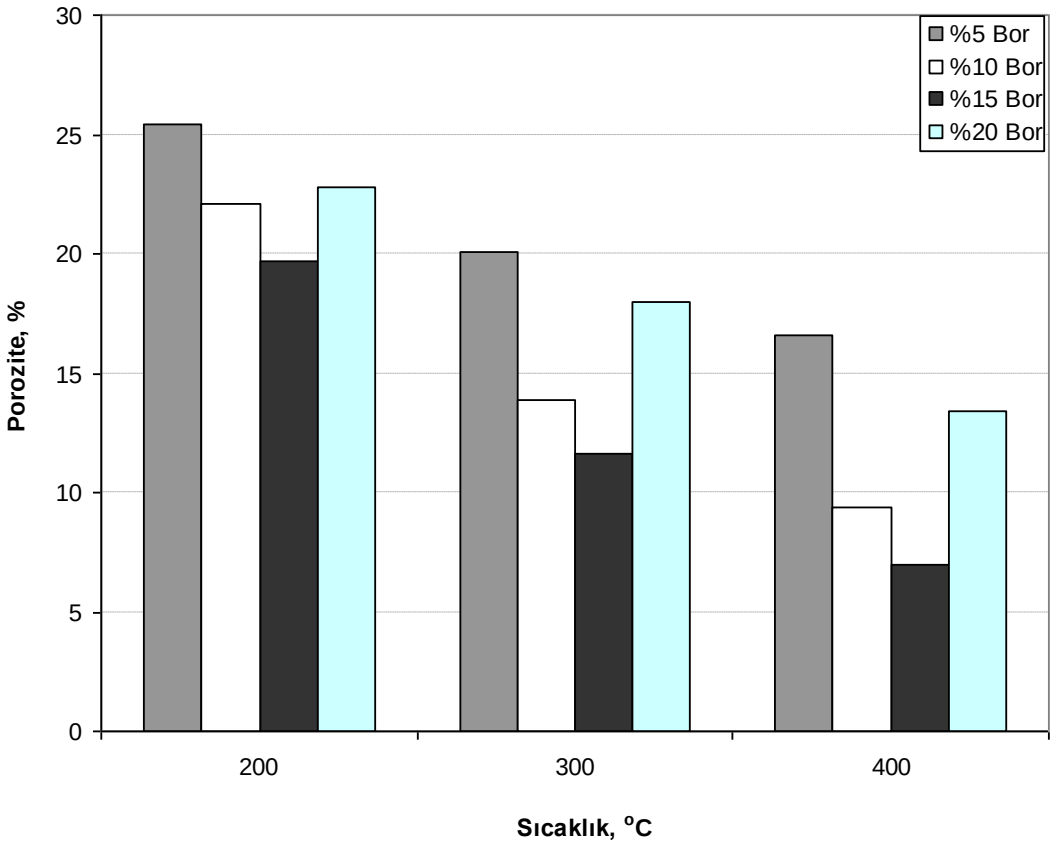
3.2.2.5. Bor Katkılı Tuğlaların Porozite Deney Bulguları

Tuğlaların iç yapılarındaki gözeneklilik, tuğlaların nem alma ve su emme gibi fiziksel özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Yapı malzemelerinde nem alma istenmeyen bir durum olduğundan üretilen tuğlaların porozite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı kolemanit katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen malzemeler 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıkta pişirilmiştir. Üretilen tuğlaların, bor katkı oranı ve pişme sıcaklığına göre elde edilen porozite değerleri Çizelge 5.35 ve Şekil 5.49'da verilmiştir.

Çizelge 5.35. Farklı kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değerleri (%)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	25,4	20,3	17,9
	25,8	19,7	18,4
	25,7	20,2	17,5
	25,5	19,6	18,6
	25,4	21,1	17,7
Ortalama	**25,6±2,5**	**20,2±1,6**	**18,0±3,4**
10	22,1	14,4	10,3
	23,2	14,2	10,1
	22,5	14,0	9,9
	21,8	13,7	10,7
	22,1	13,9	9,8
Ortalama	**22,4±1,7**	**14,1±1,5**	**10,2±2,1**
15	19,9	12,7	6,8
	19,6	12,3	8,3
	20,2	12,4	9,2
	19,1	11,8	8,6
	19,8	12,0	7,1
Ortalama	**19,7±3,6**	**12,3±2,6**	**7,1±2,3**
20	23,5	19,1	14,2
	23,2	18,8	14,1
	22,9	18,3	14,0
	22,6	19,0	13,5
	23,1	18,7	13,7
Ortalama	**23,1±3,1**	**18,8±3,9**	**13,9±1,9**



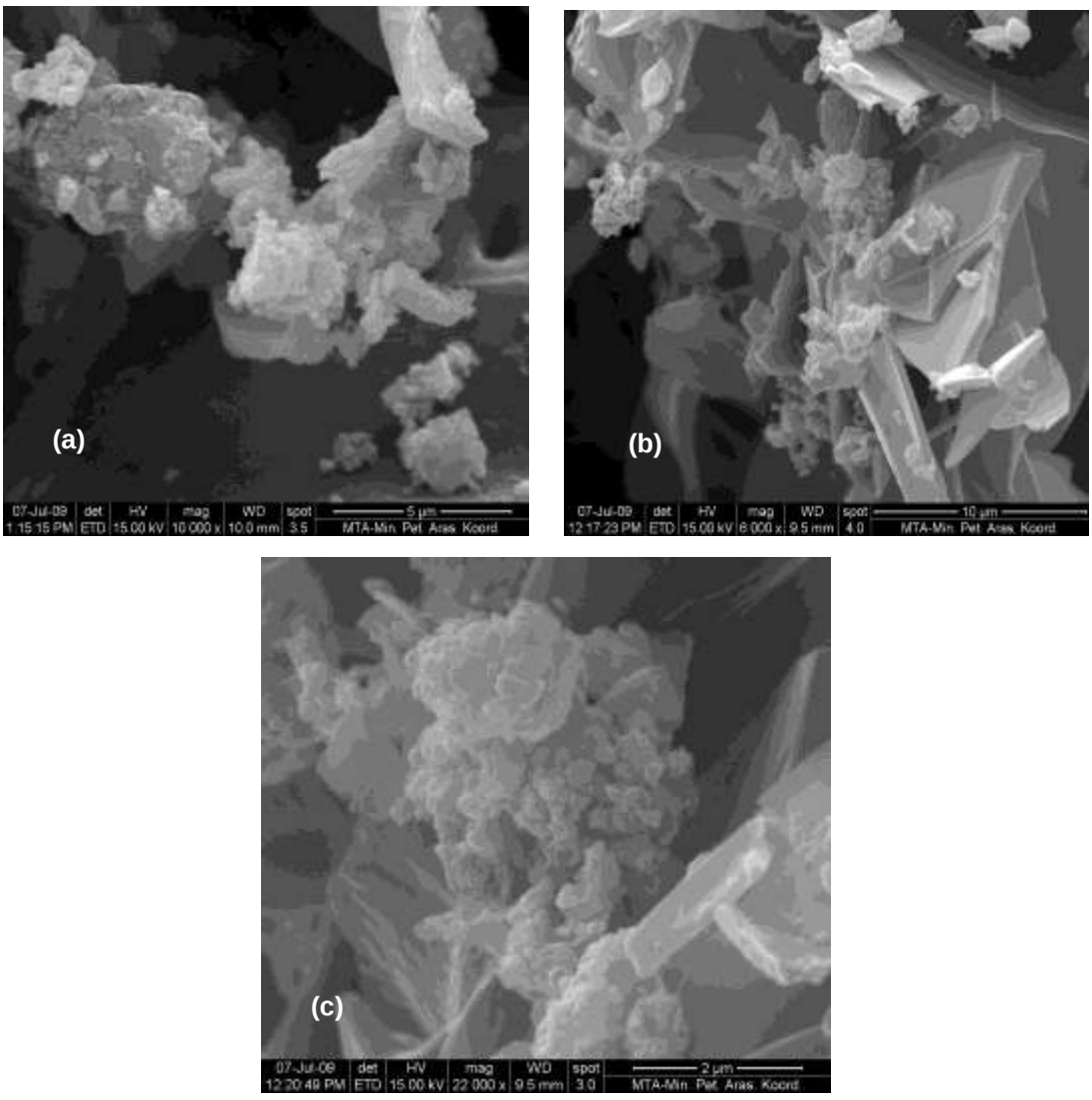
Şekil 5.49. Farklık kolemanit katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değişim grafiği

Tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerlerini verdiği belirlenmiştir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Ancak, kolemanit katkı miktarı (%15-20) arttığında, üretilen malzemelerin gözenekliliğinde artış meydana gelmektedir. Kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlaların porozite değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre oldukça düşüktür.

Kolemanit katkılı tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı bor katkısı ve pişme sıcaklığına göre porozite değerleri; %5 bor katkısı (%25,6±2,5, 20,2±1,6 ve 18,0±3,4), %10 bor (%22,4±1,7, 14,1±1,5 ve 10,2±2,1), %15 bor (%19,7±3,6, 12,3±2,6 ve 9,1±2,3) ve %20 bor (%23,1±3,1, 18,8±3,9 ve 13,9±1,9) olarak belirlenmiştir.

5.3.2.6. Bor Katkılı Tuğlaların Minerolojik ve Termal Analizleri

SEM (görüntülü analiz) analizleri, en yüksek mukavemet değerini veren (%10 kolemanit katkılı) ve farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda kolemanit mineralinin bağ yapmaya, 300°C sıcaklıkta sinterleşme reaksiyonuna başladığı ve 350-400°C sıcaklıkta kolemanit mineralinin perlit taneleri arasında eriyerek mukavemet artışına neden olduğu görülmektedir (Şekil 5.50).



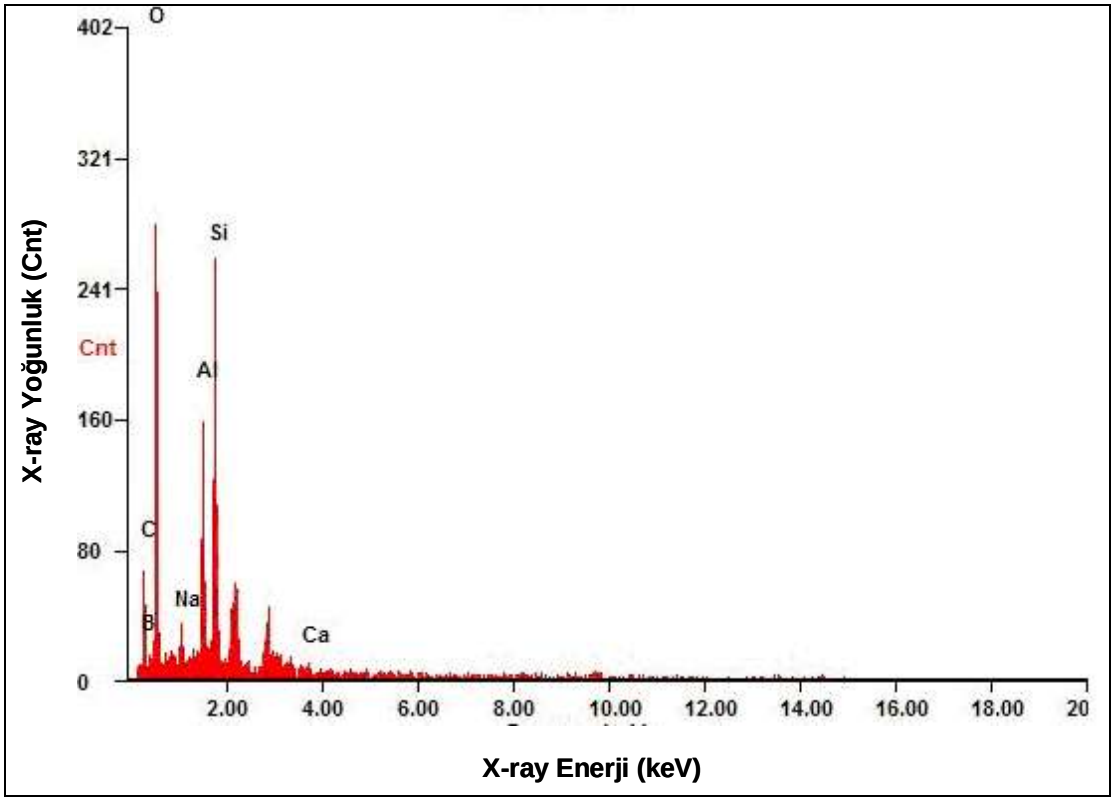
Şekil 5.50. Kolemanit katkılı tuğlaların farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri (a; 200 °C, b; 300 °C ve c; 400 °C)

Kolemanit katkılı olarak üretilen tuğlalarda (400°C pişme sıcaklığında) bağlayıcı olarak kullanılan kolemanit mineralinin EDS analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; B (%28,19), C (%25,5), O (%29,69), Si (%9,42), Al (%5,27), Na (%1,12), Mg (%1,08), Ca (%0,92) elementlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5.51).

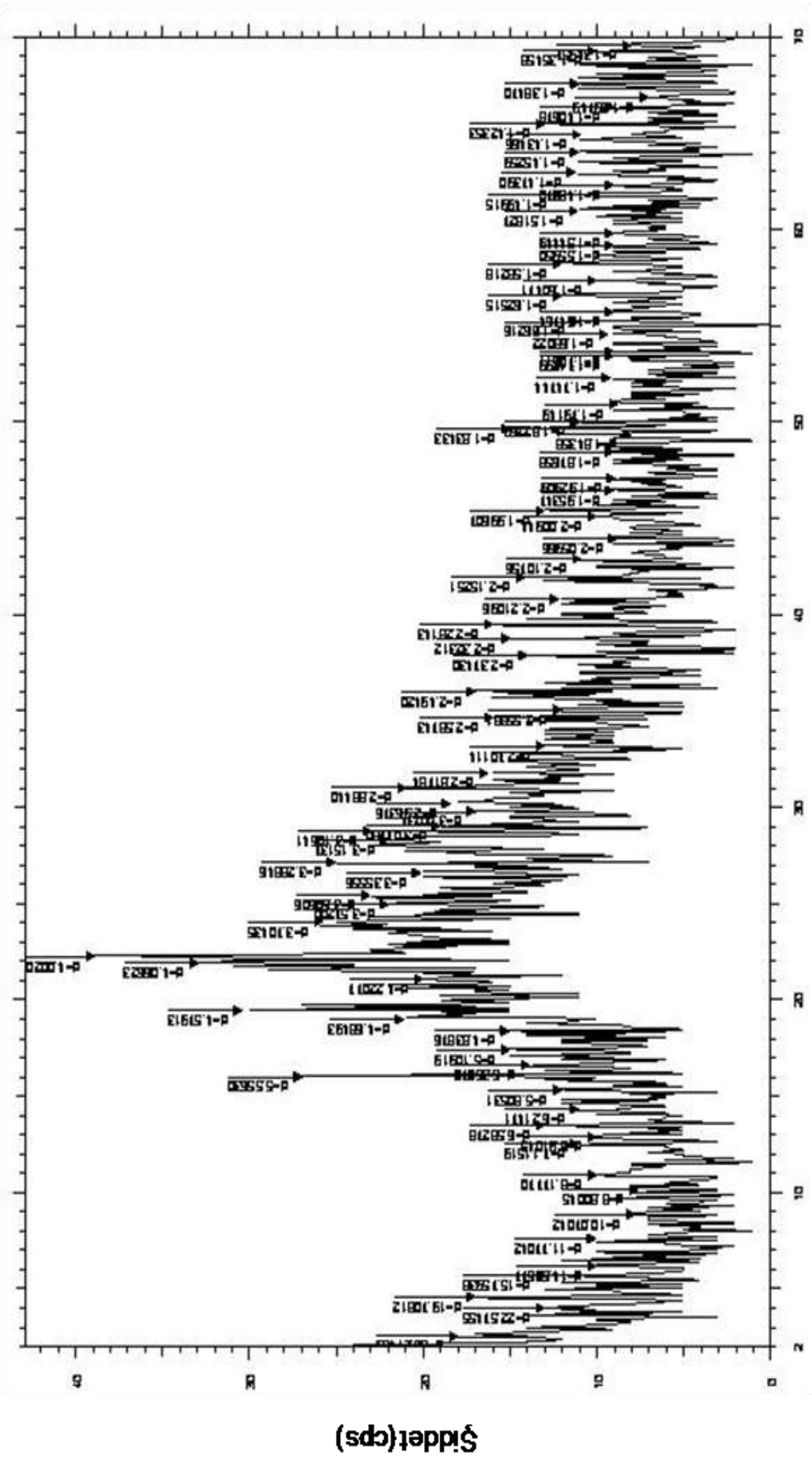
400°C pişme sıcaklığında üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analiz sonuçları incelendiğinde; tuğla bünyesinde kolemanit, tridimit kristobalit, feldspat ve kuvars varlığı belirlenmiştir.

Mineralojik incelemelerde, tuğla bünyesinde kullanılan kolemanitlerin çekilen XRD piklerinin, hammadde olarak çekilen kolemanit XRD piklerine göre kaydığı görülmüştür (Şekil 5.52).

Bu durum, bor mineralinin SEM ve DTA eğrilerinde görüldüğü gibi, kolemanit mineralinin sıcaklık artışıyla kristal suyunu kaybederek erimeye başladığını göstermektedir.



Şekil 5.51. Kolemanit katkılı tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi



Şekil 5.52. Kolemanit katkılı tuğlaların X-ray difraktometre analiz sonuçları

5.3.3. Kil Katkılı Tuğlaların Üretimi

İmrahor kil (simektit) minerali deneylerde doğal bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kil minerali 350°C üzerinde sıcaklıkta sinterleme reaksiyonuna başladığı ve sıcaklık artışıyla perlit taneleri arasında bağ oluşturarak mukavemet artışı sağladığı belirlenmiştir. Laboratuar çalışmalarında, kil (%5, 10, 15, 20) ve %5 CMC katılarak 4 ayrı reçetede üretilen tuğlaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet değerini veren aralık tespit edilmiştir. Çizelge 5.36'da kil katkılı tuğla üretiminde kullanılan karışım oranları verilmiştir.

Hazırlanan karışımlarda su/katı oranı 0,90 civarında kullanılmıştır. Numune üretiminde 50x100x100 mm boyutunda kalıplar kullanılmış, her bir tuğla 400 gr olacak şekilde hazırlanmış, kalıplara yerleştirilmiş ve 50 bar basınçta sıkıştırılarak üretilmiştir (Şekil 5.53). Farklı karışımlarda üretilen tuğlalar 200, 300, 400°C sıcaklıkta 2,5 saat süreyle pişirilerek (Şekil 5.54) en düşük birim hacim ağırlığı ve en yüksek tek eksenli basma dayanım değerini veren aralık belirlenmeye çalışılmıştır.

Deneylerde üretilen kil katkılı tuğlalar TS standartlarına uygun olarak doğal ortamda 24 saat bekletilerek doğal birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş ve TS 406 standartlarına uygun olarak mekanik ve fiziksel özeliklerinin tespiti gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, tuğlaların mineralojik (XRD) ve termal (SEM) analizleri yapılarak yapısal özellikleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Kil katkılı olarak Menderes perlitlerinden üretilen örneklerin pişme sıcaklığına bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikleri oluşturulmuştur. Çalışmalar sonucunda üretilen kil katkılı perlit tuğlaların 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıkta pişirildikten sonra mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.36. Kil katkılı tuğlaların agrega, su ve bağlayıcı karışım oranları

Menderes Perlit (%)	İmrahor Kil (%)	CMC (%)	Su (%)
90	5	5	0,90
85	10	5	0,90
80	15	5	0,90
75	20	5	0,90



Şekil 5.53. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların pişme öncesi görünümü



Şekil 5.54. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların pişirilmesi

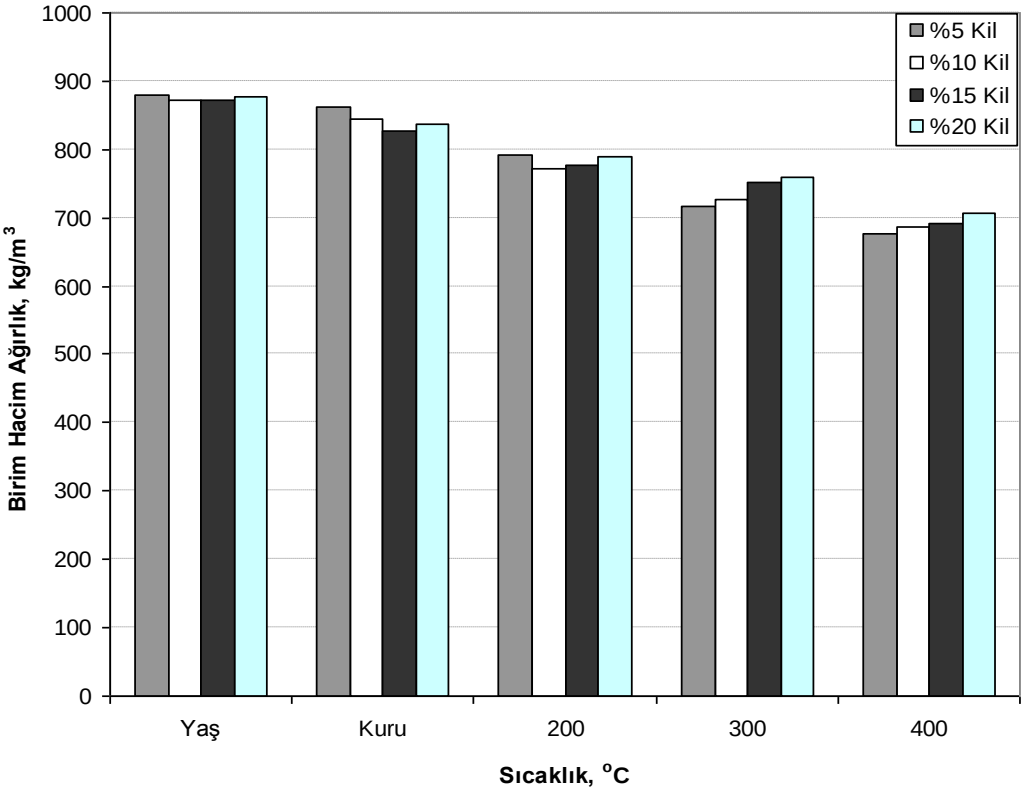
Üretilen tuğlaların SEM ve XRD analizleri gerçekleştirilmiş, birim hacim ağırlık, sonik hız, tek eksenli basma dayanımı, su emme ve porozite değerleri ölçülmüştür. Elde edilen verilerin daha iyi yorumlanabilmesi için grafikler oluşturulmuştur.

5.3.3.1. Kil Katkılı Tuğlaların Birim Hacim Ağırlık Deney Bulguları

Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin yaş, kuru, 200°C, 300°C ve 400°C pişme sıcaklıklarında birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 5.37 ve Şekil 5.55'de verilmiştir.

Çizelge 5.37. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

Kil Katkısı (%)	Sıcaklık				
	Yaş	Kuru	200°C	300°C	400°C
5	871	844	773	721	678
	876	856	770	725	693
	882	851	765	733	685
	869	843	763	718	672
	873	849	776	715	675
Ortalama	**874,2±7,3**	**848,6±6,9**	**769,4±5,8**	**722,4±9,7**	**681,0±10,1**
10	880	863	805	736	688
	878	866	812	729	685
	868	854	800	733	681
	895	867	798	726	694
	891	857	795	737	698
Ortalama	**882,4±10,8**	**862,0±10,1**	**802,1±8,1**	**732,2±7,9**	**691,2±9,2**
15	882	871	831	742	702
	895	868	815	735	695
	879	859	819	733	693
	889	855	818	737	695
	890	875	825	746	700
Ortalama	**887,0±10,4**	**865,6±10,0**	**821,6±7,2**	**738,6±6,8**	**697,0±8,4**
20	892	873	847	755	707
	895	877	849	767	704
	901	881	832	773	704
	898	869	834	758	698
	887	880	829	761	700
Ortalama	**894,6±7,6**	**876,0±9,5**	**838,4±6,4**	**762,8±7,0**	**702,6±6,8**



Şekil 5.55. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değişimi

Laboratuar çalışmalarında kil katkılı (%5, 10, 15, 20) olarak ve 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıkta üretilen tuğlaların kil katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri artmakta ve pişme sıcaklığının artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır.

Deneylerde, karışım içersindeki kil katkı miktarı arttıkça, tuğla pişme sıcaklığının giderek arttığı görülmüştür. Katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre, %5 kil katkılı numunelerin en düşük birim hacim ağırlık değerlerini verdiği belirlenmiştir.

Üretilen tuğlaların kil katkı oranı ve pişme sıcaklığına göre birim hacim ağırlık deney sonuçları incelendiğinde; %5 kil (874,2±7,3, 848,6±6,9, 769,4±5,8, 722,4±9,7 ve 681,0±10,1 kg/m^3), %10 kil (882,4±10,8, 862,0±10,1, 732,2±7,9, 732,2±7,9 ve 691,2±9,2 kg/m^3), %15 kil (887,0±10,4, 865,6±10,0, 816,2±7,2, 697,0±8,4 ve 697,0±8,4 kg/m^3) ve %20 kil (894,6±7,6, 876,0±9,5, 824,4±6,4, 744,8±7,0 ve 702,6±6,8 kg/m^3) olarak bulunmuştur.

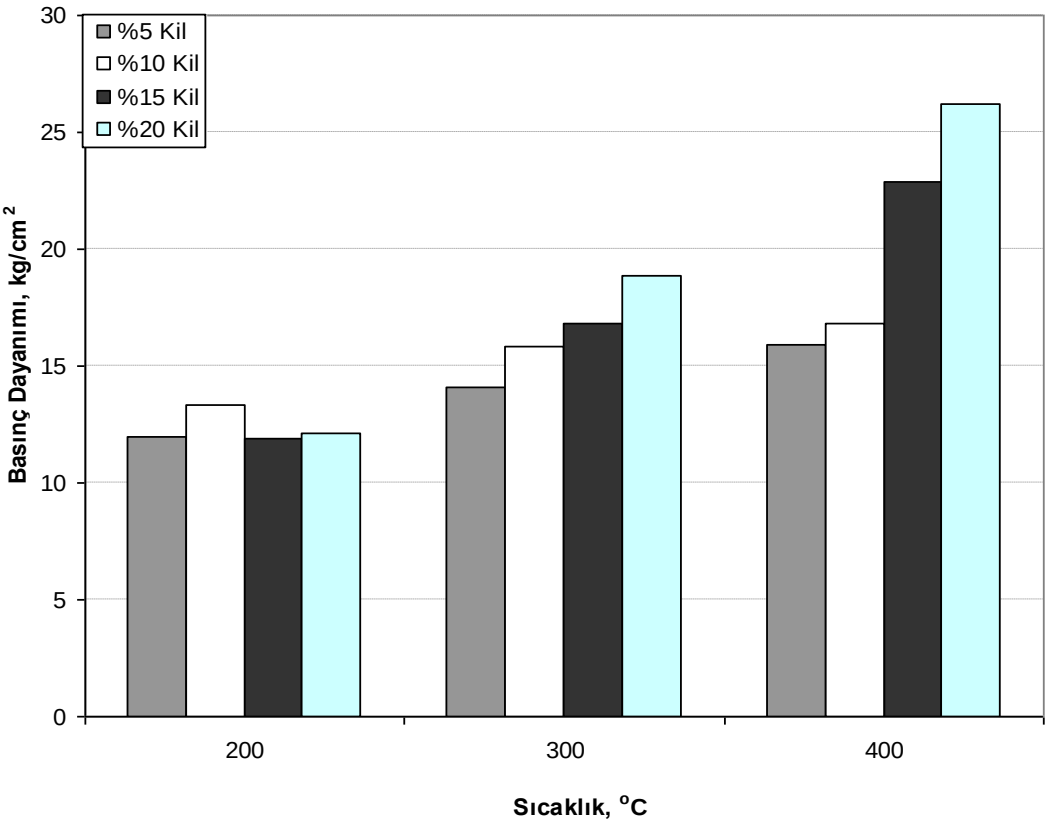
5.3.3.2. Kil Katkılı Tuğlaların Basma Dayanımı Deney Bulguları

İnşaat sektöründe herkes tarafından kabul gören en önemli deneylerden biride basma dayanımı deneyidir. Bu deneyin önemi binalarda veya sanat yapılarında kullanılan tuğlaların basınç altındaki davranışını belirlemektir. İnşaat sektöründe kullanılan tuğlaların mukavemet değerleri TS 705 ve 406 standartlarında minumun 17,335 kg/cm^2 olarak öngörülmüştür.

Deneyler ODTÜ maden mühendisliği bölümü laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. Mukavemet deneyleri sonucunda, farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığı değişiminde (200°C, 300°C ve 400°C) üretilen numunelerin tek eksenli basma dayanım değerleri Çizelge 5.38 ve Şekil 5.56'da verilmiştir.

Çizelge 5.38. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanım değerleri (kg/cm^2)

Kil Katkısı (%)	**Sıcaklık**		
	200°C	**300°C**	**400°C**
5	12,0	14,3	16,0
	12,2	14,5	15,4
	11,5	13,6	15,7
	11,8	13,9	16,3
	12,4	14,1	15,9
Ortalama	**12,0±0,4**	**14,1±0,5**	**15,9±0,3**
10	13,3	16,1	16,5
	13,0	15,3	17,3
	13,8	15,7	17,0
	13,5	15,8	16,8
	12,8	16,2	16,6
Ortalama	**13,3±1,0**	**15,8±0,4**	**16,8±0,5**
15	11,8	16,7	23,1
	11,6	16,6	23,0
	12,3	17,0	22,5
	11,5	16,5	22,8
	12,1	17,2	23,3
Ortalama	**11,9±0,5**	**16,8±1,1**	**22,9±0,6**
20	**12,0**	**19,1**	**25,8**
	11,8	**18,5**	**26,5**
	12,4	**18,9**	**26,3**
	12,5	**19,3**	**25,9**
	11,7	**18,7**	**26,2**
Ortalama	**12,1±0,5**	**18,9±1,2**	**26,2±0,4**



Şekil 5.56. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların basma dayanımı değişim grafiği

Kil katkısı ve pişme sıcaklığı değişim grafiği incelendiğinde; tuğlaların tek eksenli basma dayanımı deney sonuçlarına göre, tüm pişme sıcaklıklarında %20 kil katkılı numunelerin en yüksek mukavemet değerlerini verdiği ve kil katkı miktarı arttıkça tuğlaların tek eksenli basma dayanımı değerlerinin giderek arttığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar tuğlaların pişme sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, kil katkı miktarına göre pişme sıcaklığının artmasıyla numunelerin basma dayanımı değerlerin arttığı belirlenmiştir.

Şekil 5.43' de görüldüğü gibi tuğlaların 200°C sıcaklıktaki basma dayanımı değerlerinin değişken, 300°C sıcaklıkta orantılı olarak arttığı ve 400°C sıcaklıkta yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Kil katkılı tuğlaların (%20 ve 400°C' de pişirilen) basma dayanımı değerleri kontrol numunelerinden elde edilen değerlere kıyasla 2,4 kat daha fazla bulunmuştur.

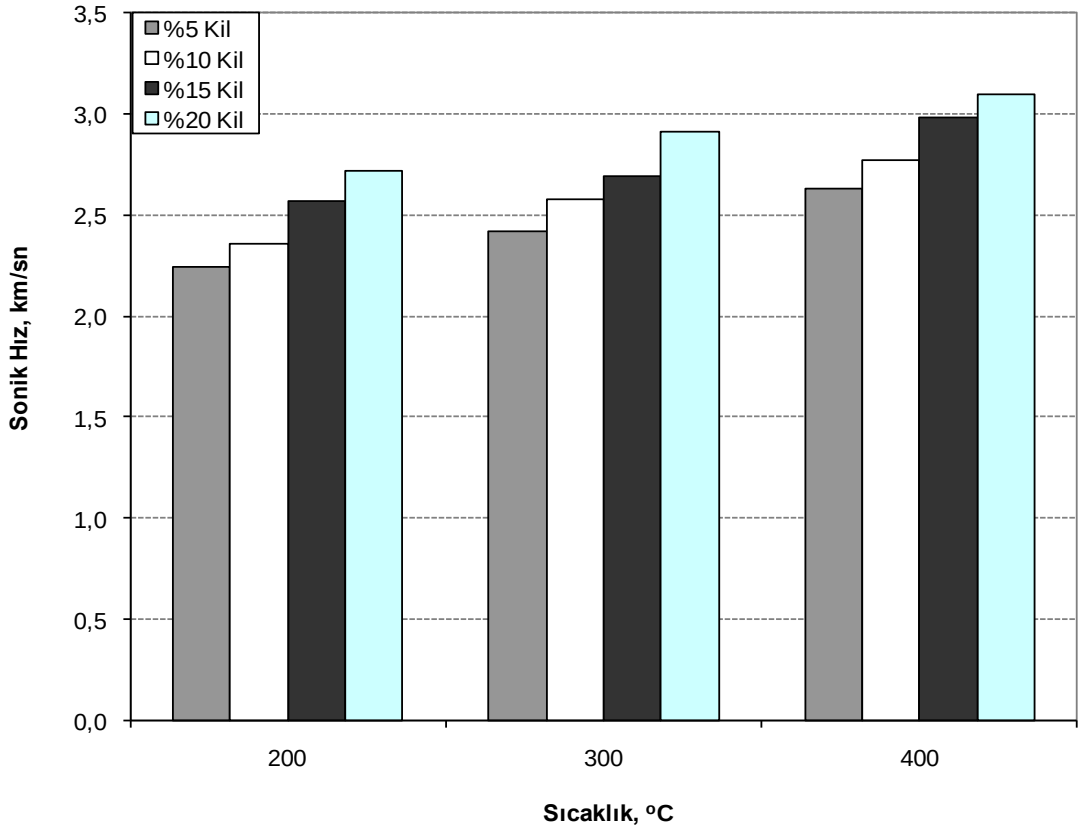
Deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığına göre tek eksenli basma dayanımı sonuçları; %5 kil katkısı (12,0±0,4, 14,1±0,5 ve 15,9±0,3 kg/cm^2), %10 kil (13,3±0,9, 15,8±0,4 ve 16,8±0,5 kg/cm^2), %15 kil (11,9±0,5, 16,8±0,8 ve 22,9±0,6 kg/cm^2) ve %20 kil (12,1±0,5, 18,9±0,9 ve 26,2±0,4 kg/cm^2) olarak belirlenmiştir.

5.3.3.3. Kil Katkılı Tuğlaların Sonik Hız Deney Bulguları

Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların yapısal özellikleri hakkında bilgi edinmek için sonik hız deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen numunelerin sonik hız (P-dalga) değerleri Çizelge 5.39 ve Şekil 5.57'de verilmiştir.

Çizelge 5.39. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değerleri (km/sn)

Kil Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	2,3	2,3	2,8
	2,4	2,5	2,5
	2,0	2,3	2,6
	2,5	2,6	2,8
	2,0	2,4	2,5
Ortalama	**2,24±0,02**	**2,42±0,02**	**2,63±0,03**
10	2,6	2,5	2,9
	2,1	2,7	2,7
	2,5	2,7	2,9
	2,4	2,4	2,8
	2,2	2,6	2,6
Ortalama	**2,36±0,03**	**2,58±0,01**	**2,77±0,02**
15	2,6	2,9	3,2
	2,8	2,7	2,8
	2,5	2,5	3,1
	2,5	2,7	3,0
	2,4	2,6	2,8
Ortalama	**2,57±0,04**	**2,69±0,02**	**2,98±0,03**
20	2,9	2,9	3,4
	2,8	3,0	3,1
	2,6	3,1	3,0
	2,8	2,7	2,9
	2,5	2,9	3,1
Ortalama	**2,72 ±0,02**	**2,91±0,03**	**3,10±0,04**



Şekil 5.57. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların sonik hız değişim grafiği

Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %20 kil katkılı numuneler en yüksek sonik hız geçiş değerleri vermektedir. Pişme sıcaklığına göre %5 kil katkılı olarak üretilen tuğlaların geçiş değerleri ise en düşüktür.

Kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla sonik hız geçiş değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır. 200°C ve 300°C sıcaklıkta pişirilen tuğlaların sonik hız geçiş değerleri birbirine yakındır. Ancak, 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin sonik hız değerleri yüksek bulunmuştur.

Sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığına göre sonik hız geçiş değerleri; %5 kil katkısı (2,24±0,02, 2,42±0,02 ve 2,63±0,03 km/sn), %10 kil (2,36±0,03, 2,58±0,01 ve 2,77±0,02 km/sn), %15 kil (2,57±0,04, 2,69±0,02 ve 2,98±0,03 km/sn) ve %20 kil (2,72±0,02, 2,91±0,03 ve 3,10±0,04 km/sn) olarak belirlenmiştir.

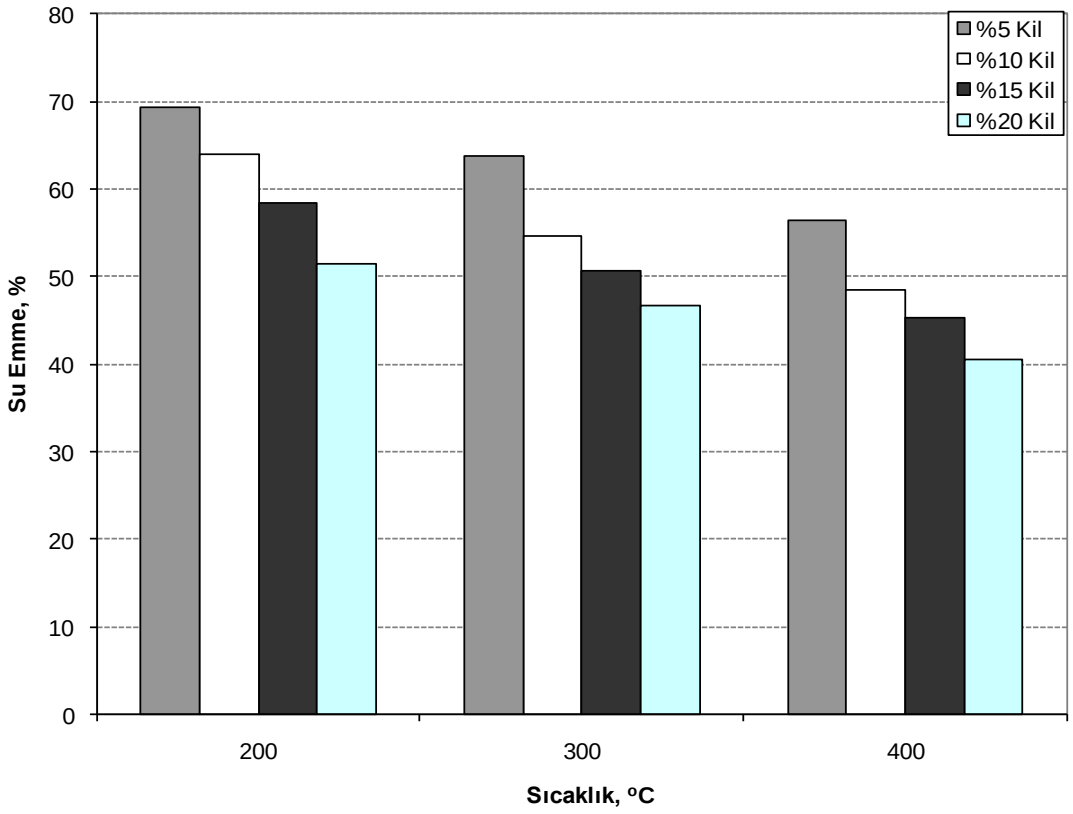
5.3.3.4. Kil Katkılı Tuğlaların Su Emme Deney Bulguları

İnşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinde su emme miktarının düşük olması istenir. Ayrıca, yapı sektöründe kullanılan malzemelerin su emme ve porozite özelliğinin bilinmesi, malzemenin gerek sıva tutması ve gerekse ısı ve ses özellikleri açısından oldukça önemlidir.

Bu amaçla, yapılan deneyler sonunda, tuğla üretim standartlarına uygun olarak farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen malzemeler 200°C, 300°C ve 400°C pişirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda pişirilen kil katkılı tuğlaların, kil katkı oranı ve pişme sıcaklığı değişimine göre elde edilen su emme değerleri Çizelge 5.40 ve Şekil 5.58'de verilmiştir.

Çizelge 5.40. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değerleri (%)

Kil Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	68,5	65,4	53,9
	70,3	62,2	55,7
	69,5	67,6	58,9
	69,4	61,3	52,5
	68,7	62,5	60,3
Ortalama	**69,3±1,1**	**63,8±3,0**	**56,5±2,7**
10	63,5	52,9	50,3
	65,8	57,6	48,7
	60,9	55,0	45,5
	62,5	55,6	52,1
	67,2	52,8	46,0
Ortalama	**64,0±2,5**	**54,7±4,2**	**48,5±3,9**
15	58,5	50,8	45,7
	60,1	54,4	48,5
	55,4	49,7	43,8
	59,8	48,5	45,0
	57,0	50,1	42,9
Ortalama	**58,4±1,8**	**50,7±3,7**	**45,2±4,5**
20	48,7	45,9	39,4
	53,4	47,6	41,0
	51,0	49,1	38,9
	49,4	44,5	43,3
	54,9	45,7	40,7
Ortalama	**51,5±4,8**	**46,6±5,1**	**40,6±2,2**



Şekil 5.58. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların su emme değişim grafiği

Şekil 5.58'e göre %20 kil katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük su emme değerlerini verdiği görülmektedir. Kil katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde kullanılan tüm pişme sıcaklıkları incelendiğinde, %20 kil katkılı tuğlalar en düşük ve %5 kil katkılı tuğlaların en yüksek su emme değerlerini verdiği belirlenmiştir.

Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların su emme değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

Kil katkılı tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığına göre su emme değerleri; %5 kil katkısı (%69,3±1,1, 63,8±3,0 ve 56,5±2,7), %10 kil (%64,0±2,5, 54,7±4,2 ve 48,5±3,9), %15 kil (%58,4±1,8, 50,7±3,7 ve 45,2±4,5) ve %20 kil (%51,5±4,8, 46,6±5,1 ve 40,6±2,2) olarak belirlenmiştir.

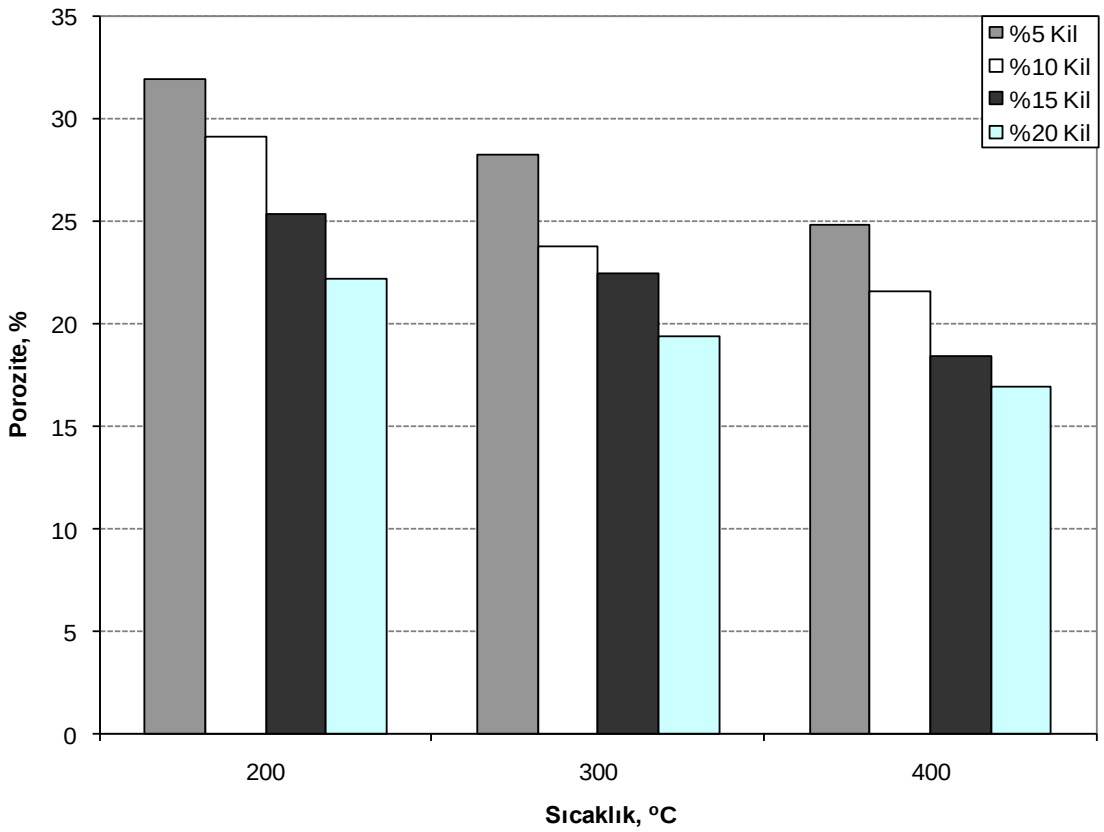
5.3.3.5. Kil Katkılı Tuğlaların Porozite Deney Bulguları

Yapı malzemelerinin iç yapılarındaki boşluk oranı, malzemelerin nem alma ve su emme gibi fiziksel özelliklerini önemli şekilde etkilemektedir. Yapı malzemelerinde nem alma, istenmeyen bir durum olduğundan üretilen tuğlaların porozite değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, deneyler ODTÜ kimya mühendisliği bölüm laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarda üretilen tuğlalar üretim standartlarına uygun olarak farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığında üretilen malzemeler farklı sıcaklıkta pişirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda pişirilen kil katkılı tuğlaların, katkı oranı ve pişme sıcaklığına göre elde edilen porozite değerleri Çizelge 5.41 ve Şekil 5.59' da verilmiştir.

Çizelge 5.41. Farklı kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değerleri (%)

Bor Katkısı (%)	Sıcaklık		
	200°C	300°C	400°C
5	31,0	29,0	23,9
	34,3	27,3	24,8
	30,5	26,9	25,5
	29,8	28,2	23,7
	33,8	29,5	26,1
Ortalama	**31,9±1,7**	**28,2±1,3**	**24,8±1,5**
10	29,1	23,0	21,4
	29,3	25,8	20,8
	27,7	22,7	20,1
	28,1	23,3	23,4
	29,0	24,1	22,2
Ortalama	**29,0±2,1**	**23,8±2,8**	**21,6±3,2**
15	25,6	21,5	19,4
	24,3	22,8	19,0
	25,0	24,4	18,3
	26,2	21,1	17,8
	24,9	22,3	18,1
Ortalama	**25,2±1,5**	**22,4±1,9**	**18,5±0,8**
20	22,7	20,1	16,6
	23,5	19,8	17,2
	20,9	18,6	15,9
	21,3	19,5	17,5
	22,4	18,9	17,0
Ortalama	**22,2±1,1**	**19,4±1,0**	**16,9±0,7**



Şekil 5.59. Farklık kil katkı miktarı ve pişme sıcaklığında üretilen perlit tuğlaların porozite değişim grafiği

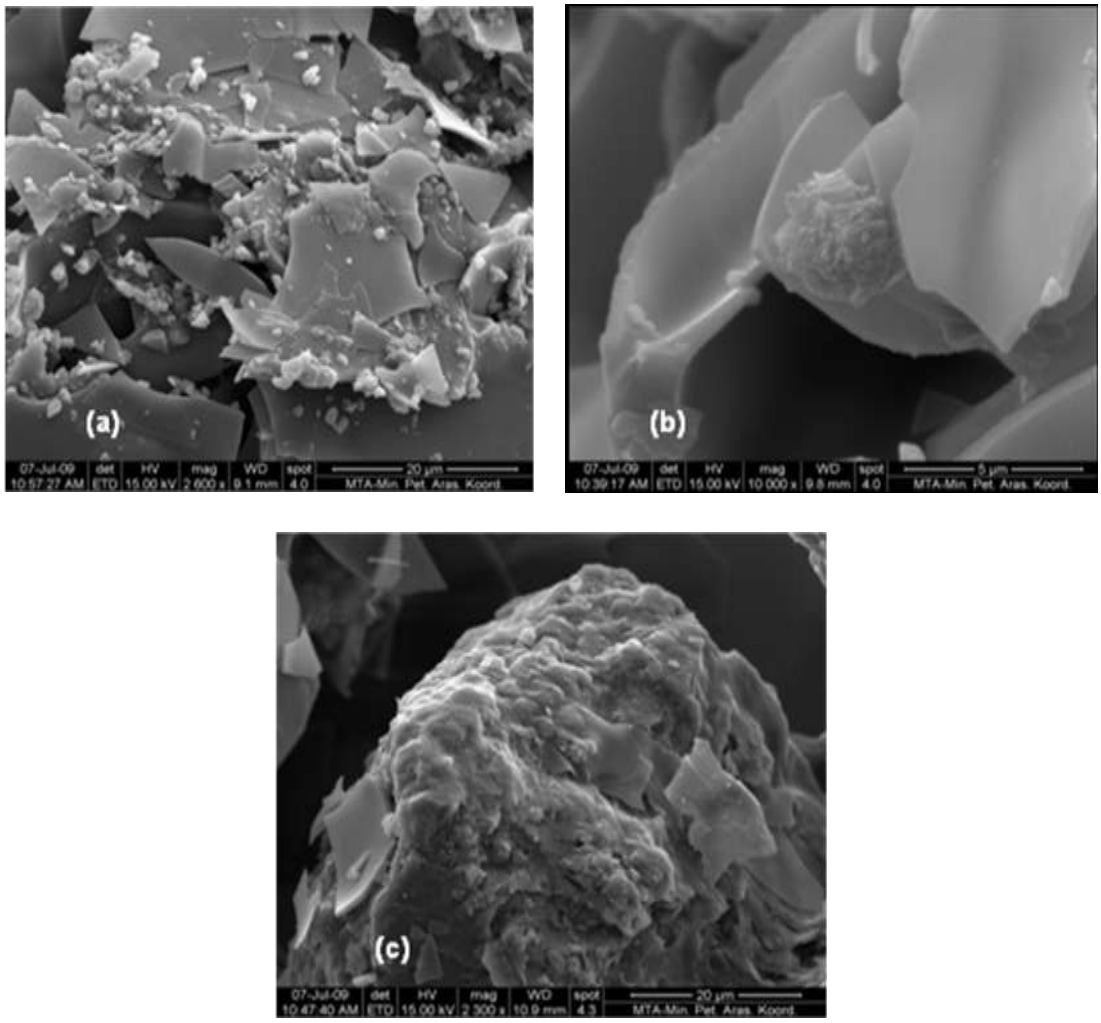
Kil katkılı tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %20 kil katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerlerini verdiği belirlenmiştir. Kil katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır.

%20 kil katkılı olarak üretilen tuğlalar, tüm pişme sıcaklıklarında en düşük porozite değerlerini vermektedir. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların porozite değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre oldukça düşük bulunmuştur.

Kil katkılı tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, tuğlaların farklı kil katkısı ve pişme sıcaklığına göre porozite değerleri; %5 kil katkısı (%31,9±1,7, 28,2±1,3 ve 24,8±1,5), %10 kil (%29,0±2,1, 23,8±2,8 ve 21,6±3,2), %15 kil (%25,2±1,5, 22,4±1,9 ve 18,5±0,8) ve %20 kil (%22,2±1,1, 19,4±1,0 ve 16,9±0,7) olarak belirlenmiştir.

5.3.3.6. Kil Katkılı Tuğlaların Minerolojik ve Termal Analizleri

Termal analizler yüksek mukavemet ve ideal birim hacim ağırlık değerini veren %15 kil katkılı ve 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri incelendiğinde, kil mineralinin 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda perlit taneleri arasındaki boşluklara yerleşimi, 300°C sıcaklıkta perlit taneleri arasında reaksiyon başlangıcı ve 400°C sıcaklıkta perlit taneleri arasında erime reaksiyonuyla bağlanarak mukavemet artışı sağlamaktadır (Şekil 5.60).



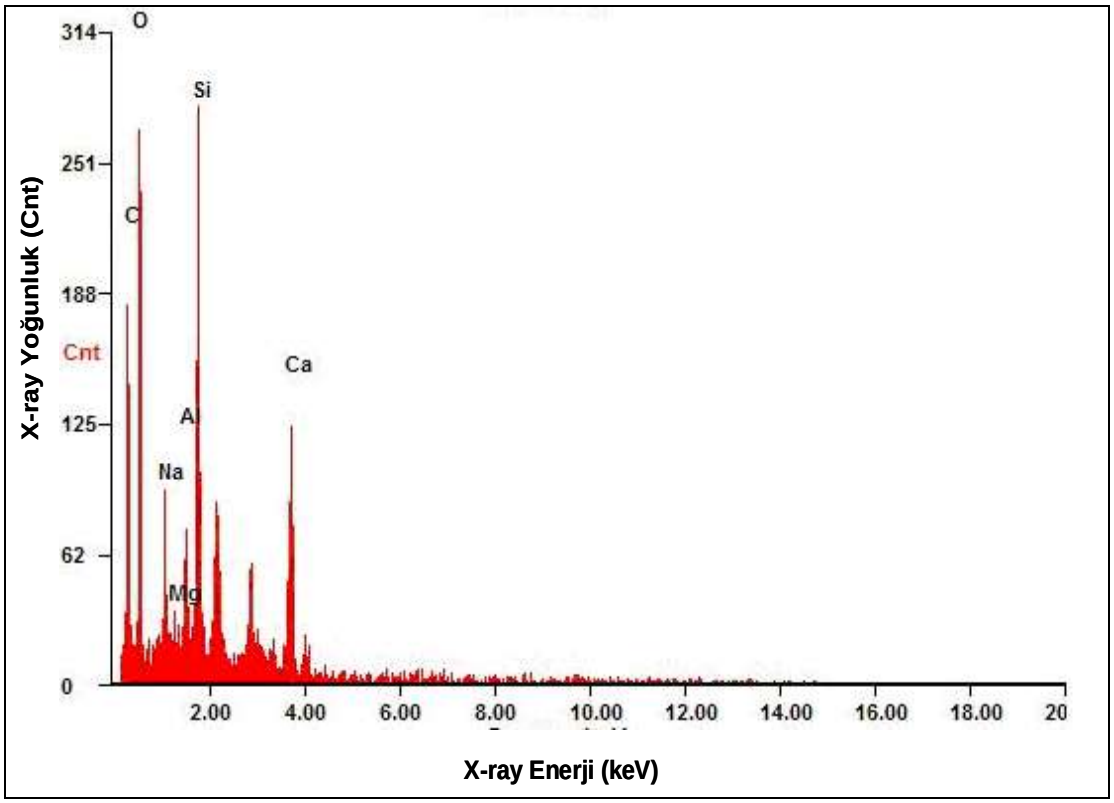
Şekil 5.60. Kil katkılı tuğlaların farklı pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri (a; 200°C, b; 300°C ve c; 400°C

Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında, bağlayıcı olarak kullanılan kil mineralinin EDS analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; Si (%23,39), C (%20,68), O (%34,59), Fe (%7,68), Al (%7,88), Na (%5,81), elementlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5.61).

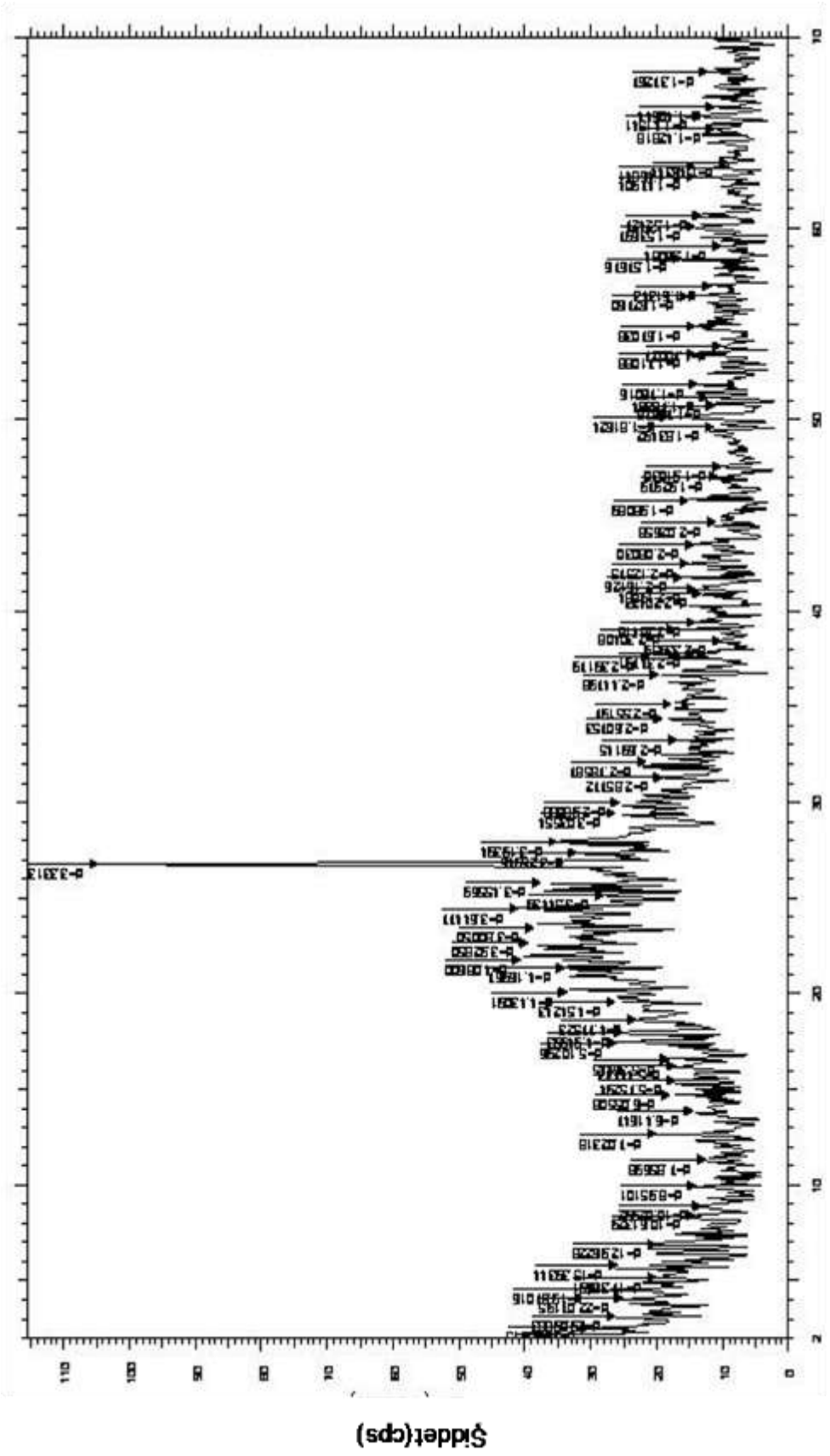
400°C pişme sıcaklığında üretilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analiz sonuçları incelendiğinde; tuğla bünyesinde opal, kuvars, kristobalit ve simektit minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Mineralojik incelemelerde, tuğla bünyesinde kullanılan kil mineralinin çekilen XRD piklerinin, hammadde olarak çekilen kil XRD piklerine göre kaydığı görülmüştür (Şekil 5.62).

Doğal bağlayıcı olarak kullanılan simektitlerin XRD çekimlerinde görülen pik şiddeti azalmaları, tuğlanın 400°C sıcaklıkta pişirilmesi esnasında tabakalar arası su ve hidroksil bağlarının yıkımından kaynaklanmaktadır. Bu durum, tuğlaların fiziksel olarak basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.61. Kil katkılı tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi



Şekil 5.62. Kil katkılı tuğlaların X-ray difraktometre analiz sonuçları

5.4. Bor ve Kil Katkılı Tuğlaların Kontrol Numunesi ile Karşılaştırılması

Çalışmalar sonunda kontrol numunesi (KN), Emet bor (EK) ve İmrahor kil (İK) katkılı perlit tuğlaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, farklı oranlarda doğal bağlayıcı ve CMC katılarak üretilen tuğlaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup en yüksek mukavemet ve en düşük birim hacim ağırlık değerini veren aralık tespit edilmiştir.

Üretilen malzemelerin fizikomekanik özeliklerinin tespiti TS 406 ve TS 3649 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen bulgular ışığında nihai ürün reçetesi belirlenmiş ve nihai tuğla üretimine geçilmiştir.

Çalışma kapsamında;

- Birim hacim ağırlık deneyi,
- Tek eksenli basma dayanımı deneyi,
- Sonik hız deneyi,
- Su emme deneyi ve
- Porozite (gözeneklilik) deneyi gerçekleştirilmiştir.

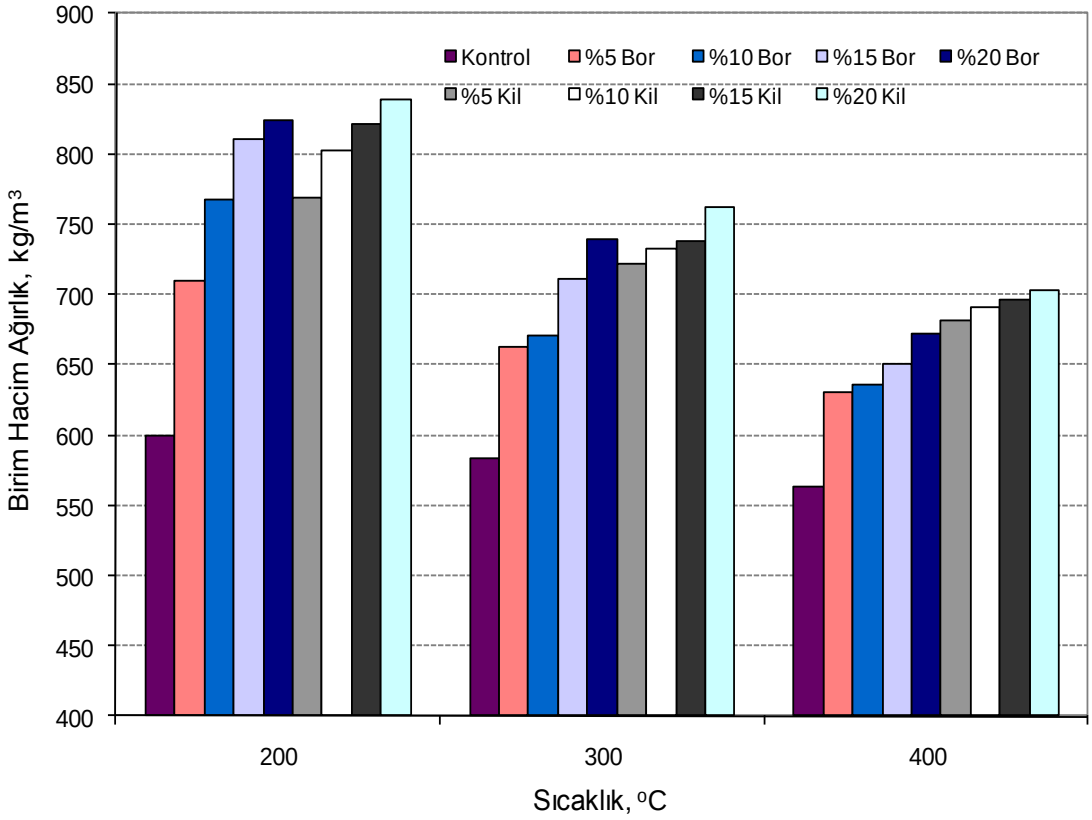
Elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikleri oluşturulmuştur. Üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.42 ve Şekil 5.63'de verilmiştir.

İnşaat sektöründe bina ağırlığının azalması için düşük birim hacim ağırlık ve yüksek mukavemet değerine sahip yapı malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bu amaçla, üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Çalışmalar sonunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri kıyaslandığında; karışım içersindeki bağlayıcı katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değeri artmakta ve pişme sıcaklığının artmasıyla değerlerin azaldığı belirlenmiştir. 400°C pişme sıcaklığında kontrol numunesinin birim hacim ağırlık değeri 563,7±8,3 kg/m^3 elde edilmiştir. Ayni pişme sıcaklığında %5 bor katkılı numuneler en düşük birim hacim ağırlık değerini (631±25,3 kg/m^3) verirken, %20 bor katkılı numuneler en yüksek değerleri (672,6±17,0 kg/m^3) vermiştir.

Çizelge 5.42. Tuğlaların sıcaklık-birim hacim ağırlık (BHA) deney sonuçlarının karşılaştırılması (kg/m^3)

Numune Adı	Birim Hacim Ağırlık (BHA)-Sıcaklık (Ortalama)		
	200°C	300°C	400°C
Kontrol	599,6±12,2	582,8±14,3	563,7±8,3
%5 Bor	710,4±26,6	662,8±25,7	631±25,3
%10 Bor	768,2±35,9	671,2±19,2	635,4±16,8
%15 Bor	810,8±19,4	711,6±17,3	651,2±15,1
%20 Bor	824,2±19,9	739,2±22,1	672,6±17,0
%5 Kil	769,4±5,8	722,4±9,7	681±10,1
%10 Kil	802,1±8,1	732,2±7,9	691,2±9,2
%15 Kil	821,6±7,2	738,6±6,8	697±8,4
%20 Kil	838,4±6,4	762,8±7,0	702,6±6,8



Şekil 5.63. Tuğlaların sıcaklık-birim hacim ağırlık değişimi karşılaştırma grafiği

Kontrol tuğlası ile 400°C pişme sıcaklığında, %5 ve %20 bor katkılı tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri kıyaslandığında, değerlerin %11,9 ve %19,3 oranında arttığı ve tuğlalardaki ortalama ağırlık artışın %14,9 olduğu belirlenmiştir.

Kontrol tuğlası ile %5 ve %20 kil katkılı tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri kıyaslandığında, değerlerin sırasıyla %20,8 ve %24,7 oranında arttığı ve tüm pişme sıcaklığındaki ortalama ağırlık artışının %23 olduğu tespit edilmiştir.

Farklı pişme sıcaklığında (200°C ve 300°C) hesaplanan birim hacim ağırlık değerlerindeki artışların orantılı olduğu görülmüştür. Borlu tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri killi tuğlaların ağırlık değerlerine göre %8,1 daha düşüktür.

İnşaat sektöründe hafif ve yüksek mukavemetli yapı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ancak, sektörde kullanılan tuğlalar taşıyıcı olmayıp bölme elemanı olarak kullanıldığı için yüksek mukavemet istenmemektedir. Bu amaçla, üretilen tuğlaların basma dayanımı deney sonuçlarının belirlenmesi ve çıkan sonuçların karşılaştırılması oldukça önemlidir.

Çizelge 5.43 ve Şekil 5.64'de tuğlaların sıcaklık ve tek eksenli basma dayanımı deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

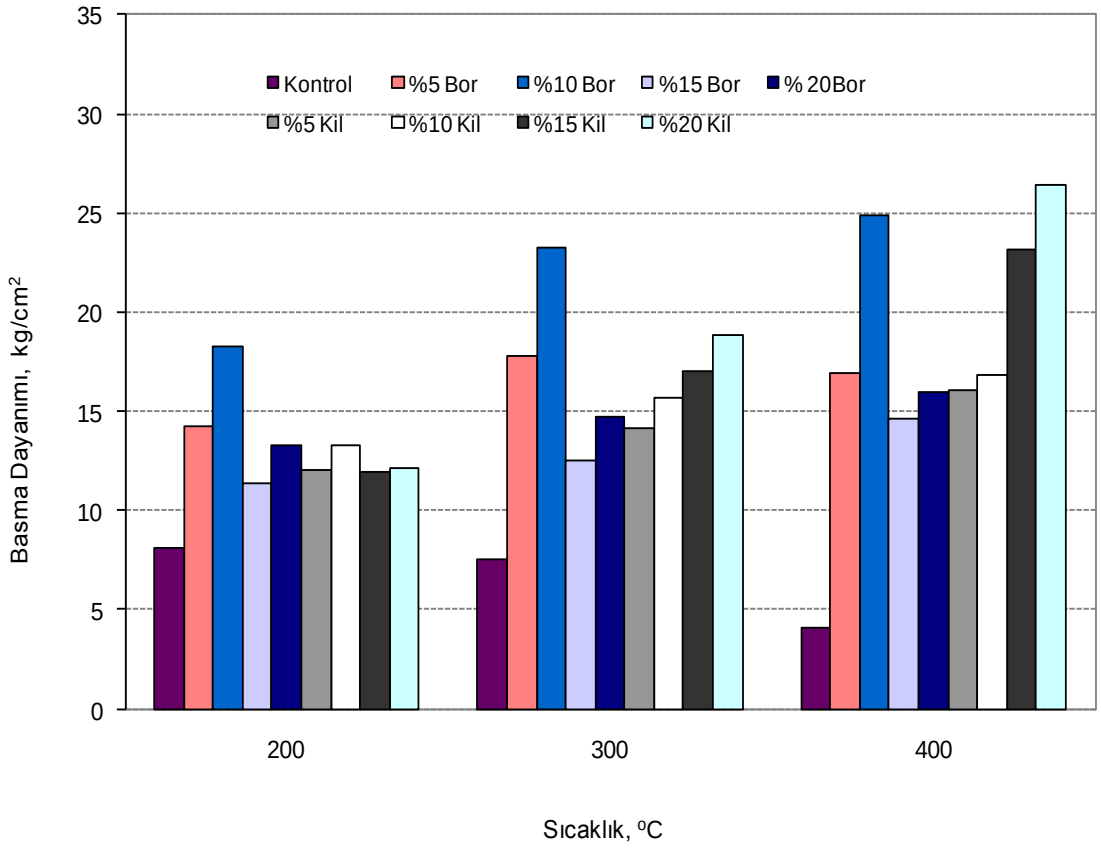
Deneyler sonunda üretilen tuğlaların dayanım değerleri kıyaslandığında; bağlayıcı katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla kil katkılı tuğlaların basma dayanımının arttığı ve bor katkılı tuğlaların %15 bor katkısına kadar dayanım değerlerinin arttığı ve sonrasında azaldığı belirlenmiştir.

Kontrol numunesinin 400°C pişme sıcaklığındaki dayanım değeri 9,1±0,6 kg/cm^2 elde edilmiştir. Aynı pişme sıcaklığında %10 bor katkılı numuneler en yüksek dayanım değerini (24,8±1,3 kg/cm^2) verirken, %20 bor katkılı numuneler en düşük değerleri (14,8±1,2 kg/cm^2) vermiştir. Tüm pişme sıcaklıklarında %10 bor katkısı ile üretilen tuğlalar en yüksek mukavemet değerlerini sağlamıştır. Ancak, %5-15 bor katkılı tuğlalardaki dayanım artışının düşük miktarlarda olduğu görülmüştür.

Kil katkılı numunelerin 400°C pişme sıcaklığındaki dayanım değerleri incelendiğinde; %5 kil katkılı tuğlalar en düşük (15,9±0,3) ve %20 kil katkılı tuğlaların en yüksek (26,2±0,4) basınç dayanım değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların mukavemet değerleri birbirine yakındır. Ancak, %5-10 kil katkılı tuğlaların mukavemet artışlarının düşük miktarlarda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.43. Tuğlaların sıcaklık-basma dayanım deney sonuçlarının karşılaştırılması (kg/cm^2)

Numune Adı	Basma Dayanımı-Sıcaklık (Ortalama)		
	200°C	300°C	400°C
Kontrol	10,9±0,4	9,9±0,5	9,1±0,6
%5 Bor	14,5±1,3	17,9±1,8	16,8±1,2
%10 Bor	18,7±1,2	23,2±1,1	24,8±1,3
%15 Bor	13,2±1,2	14,9±1,0	16,2±1,4
%20 Bor	12,0±0,9	13,3±0,9	14,8±1,2
%5 Kil	12,0±0,4	14,1±0,5	15,9±0,3
%10 Kil	13,3±1,0	15,8±0,4	16,8±0,5
%15 Kil	11,9±0,5	16,8±1,1	22,9±0,6
%20 Kil	12,1±0,5	18,9±1,2	26,2±0,4



Şekil 5.64. Tuğlaların sıcaklık-basma dayanımı değişimi karşılaştırma grafiği

Bor katkılı (%10) ve 400°C sıcaklıkta pişirilen tuğlaların yüksek dayanım değerleri sağladığı, bu tuğlaların dayanım değerlerinin kontrol tuğlasına kıyasla

2,72 kat arttığı ve tüm pişme sıcaklığında (200°C ve 300°C ve 400°C) bor katkılı tuğlalardaki ortalama dayanım artışının 2,0 kat olduğu tespit edilmiştir.

Kil katkılı (%20) ve 400°C sıcaklıkta pişirilen tuğlaların kontrol tuğlasına kıyasla yüksek dayanım sonuçları verdiği (2,88 kat) ve bu tuğlaların tüm pişme sıcaklığındaki ortalama dayanım artışının 2,23 kat olduğu tespit edilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar birbirinden farklı dayanım değerlerine sahiptir. Ancak, 300-400°C sıcaklıkta pişirilen %10 bor katkılı tuğlaların mukavemetleri yakın değerlerdedir. Üretilen tuğlalardan %20 kil katkılı olanlar en yüksek dayanıma sahiptir. Kil katkı miktarı arttıkça mukavemet ve birim hacim ağırlık değerinin orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri, gözenekliliği ve dayanım parametreleri hakkında değerlendirmeler yapmak için sonik hız deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.44 ve Şekil 5.65'de tuğlaların sıcaklık ve sonik hız deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

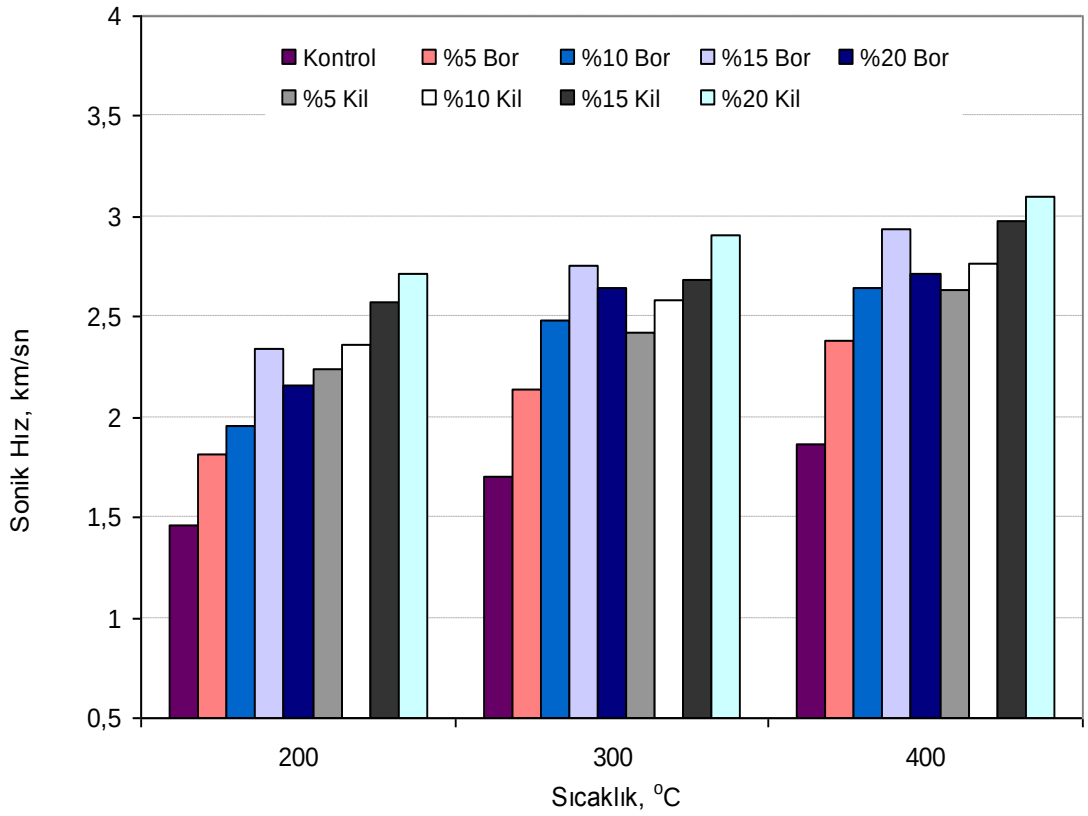
Üretilen tuğlaların sonik hız değerleri kıyaslandığında; bağlayıcı katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla kil ve bor katkılı tuğlaların sonik hız değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Kontrol numunesinin 400°C pişme sıcaklığındaki sonik hız değeri 1,87±0,03 km/sn elde edilmiştir. Aynı pişme sıcaklığında %15 bor katkılı numuneler en yüksek hız değerini (2,94±0,02 km/sn) verirken, %5 bor katkılı numuneler en düşük değerleri (2,38±0,05 km/sn) vermiştir. 200-300°C sıcaklıkta %15 bor katkısı ile üretilen tuğlalar en yüksek sonik hız değerlerini sağlamıştır. Ancak, %5-10 bor katkılı tuğlalardaki geçiş değerlerinin düşük miktarlarda olduğu görülmüştür.

Kil katkılı numunelerin 400°C pişme sıcaklığındaki sonik hız geçiş değerleri incelendiğinde; %5 kil katkılı tuğlalar en düşük (2,63±0,03 km/sn) ve %20 kil katkılı tuğlaların en yüksek (3,10±0,04 km/sn) sonik hız değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların geçiş değerleri birbirine yakındır. Ancak, %5-10 kil katkılı tuğlaların sonik hız geçiş değerlerinin düşük miktarlarda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.44. Tuğlaların sıcaklık-sonik hız deney sonuçlarının karşılaştırılması (km/sn)

Numune Adı	Sonik Hız-Sıcaklık (Ortalama)		
	200°C	300°C	400°C
Kontrol	1,46±0,04	1,70±0,07	1,87±0,03
%5 Bor	1,91±0,05	2,14±0,04	2,38±0,05
%10 Bor	1,96±0,04	2,48±0,06	2,64±0,05
%15 Bor	2,34±0,03	2,76±0,05	2,94±0,02
%20 Bor	2,16±0,02	2,64±0,05	2,72±0,04
%5 Kil	2,24±0,02	2,42±0,02	2,63±0,03
%10 Kil	2,36±0,03	2,58±0,01	2,77±0,02
%15 Kil	2,57±0,04	2,69±0,02	2,98±0,03
%20 Kil	2,72 ±0,02	2,91±0,03	3,10±0,04



Şekil 5.65. Tuğlaların sıcaklık-sonik hız değişimi karşılaştırma grafiği

Kontrol tuğlası ile kıyaslandığında, 400°C pişme sıcaklığında %5 bor katkılı tuğlaların sonik hız geçiş değerlerinin %27 oranında ve %15 bor katkılı tuğlaların

%57,2 oranında arttığı ve ayni sıcaklıkta ortalama sonik hız artışının %42,5 olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol tuğlası ile %5 ve %20 kil katkılı tuğlaların sonik hız değerleri kıyaslandığında, değerlerin sırasıyla %40,6 ve %65,8 oranında arttığı ve 400°C pişme sıcaklığındaki ortalama hız artışının %53,5 olduğu tespit edilmiştir.

Farklı pişme sıcaklığında (200°C ve 300°C) hesaplanan geçiş değerlerindeki artışların orantılı olduğu görülmüştür. Borlu tuğlaların sonik hız değerleri killi tuğlaların geçiş değerlerine göre %11 daha düşüktür.

Üretilen tuğlaların fiziksel özellikleri, gözenekliliği hakkında değerlendirmeler yapmak için TS 706 standartlarına uygun su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.45 ve Şekil 5.66'de tuğlaların sıcaklık ve su emme deney sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Üretilen tuğlaların su emme değerleri kıyaslandığında; bağlayıcı katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla kil ve bor katkılı tuğlaların su emme değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

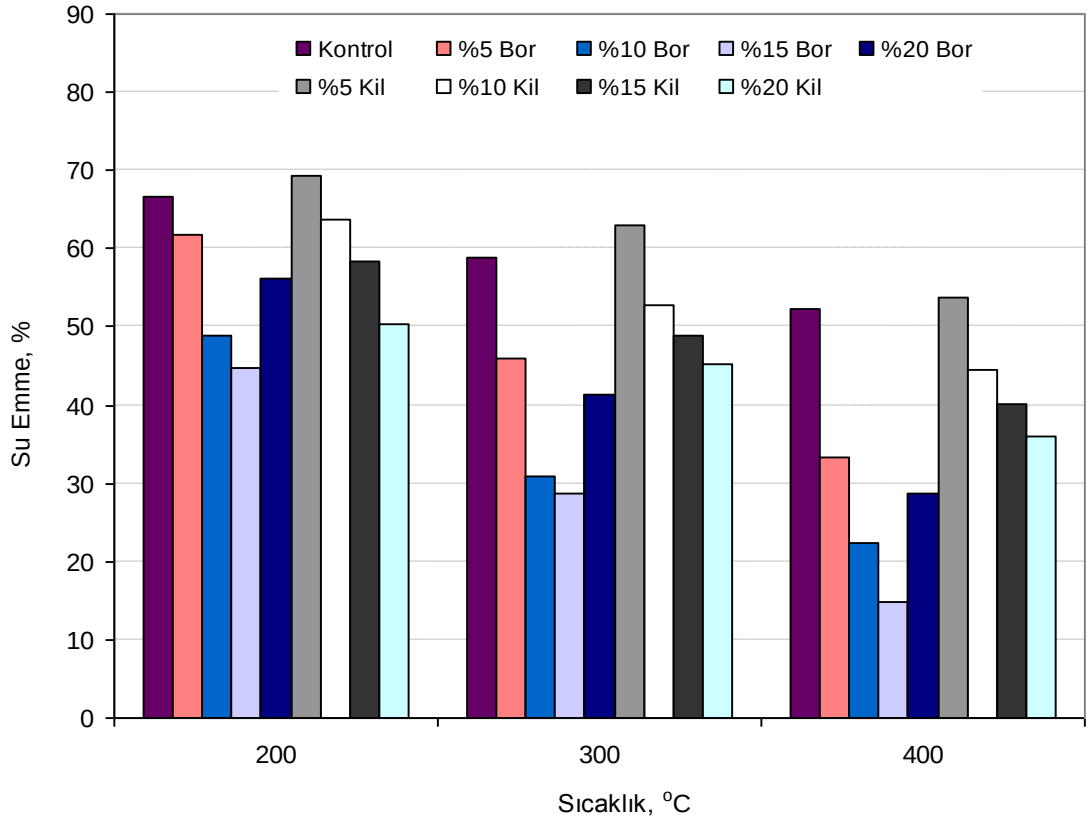
Kontrol numunesinin 400°C pişme sıcaklığındaki su emme değeri %48,6 elde edilmiştir. Aynı pişme sıcaklığında %10-15 bor katkılı numuneler en düşük su emme değerini verirken, %20 bor katkılı numuneler en yüksek su emme değerlerini (%28,8) vermiştir. 200-300°C sıcaklıkta %10-15 bor katkısı ile üretilen tuğlalar en düşük su emme değerlerini sağladığı görülmüştür.

Kil katkılı numunelerin 400°C pişme sıcaklığındaki su emme değerleri incelendiğinde; %5 kil katkılı tuğlalar en yüksek (%53,8) ve %20 kil katkılı tuğlaların en düşük (%36) su emme değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların su emme değerleri birbirine yakındır. Ancak, %5-10 kil katkılı tuğlaların su emme kapasitesinin yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Kontrol tuğlası ile kıyaslandığında, 400°C pişme sıcaklığında %5 bor katkılı tuğlaların su emme değerlerinin %31 oranında, %15 bor katkılı tuğlaların %69 oranında azaldığı, tuğlaların 400°C pişme sıcaklığı ve farklı bor katkı miktarına göre su emme değerlerindeki azalmanın ortalama %48,5 olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.45. Tuğlaların sıcaklık-su emme deney sonuçlarının karşılaştırılması (%)

Numune Adı	Su Emme-Sıcaklık (Ortalama)		
	200°C	300°C	400°C
Kontrol	66,7±3,3	58,9±4,2	52,3±5,1
%5 Bor	61,5±3,8	45,5±3,7	34,8±5,6
%10 Bor	48,8±5,3	32,3±2,5	25,1±3,7
%15 Bor	44,7±9,6	29,6±3,5	22,0±2,3
%20 Bor	56,1±8,6	42,5±5,9	32,7±2,2
%5 Kil	69,3±1,1	63,8±3,0	56,5±2,7
%10 Kil	64,0±2,5	54,7±4,2	48,5±3,9
%15 Kil	58,4±1,8	50,7±3,7	45,2±4,5
%20 Kil	51,5±4,8	46,6±5,1	40,6±2,2



Şekil 5.66. Tuğlaların sıcaklık-su emme değişimi karşılaştırma grafiği

Kontrol tuğlası ile %5 ve %20 kil katkılı tuğlaların su emme değerleri kıyaslandığında, değerlerin sırasıyla %8 ve %22,4 oranında azaldığı ve farklı kil katkısı ve 400°C pişme sıcaklığında su emme değerlerinde azalmanın ortalama %12,8 olduğu tespit edilmiştir.

Farklı katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre hesaplanan su emme değerlerindeki azalmaların orantılı olduğu görülmüştür. Borlu tuğlaların su emme kapasiteleri killi tuğlaların su emme kapasitelerine göre %35,7 daha düşüktür.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, bor katkılı olarak üretilen tuğlalar, kontrol ve kil katkılı olarak üretilen tuğlalara kıyasla daha az su emme kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.46 ve Şekil 5.67'de tuğlaların porozite değerleri kıyaslandığında; bağlayıcı katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla kil ve bor katkılı tuğlaların gözeneklilik değerlerinin azaldığı belirlenmiştir.

Kontrol numunesinin 400°C pişme sıcaklığındaki porozite değeri %28,9 elde edilmiştir. Aynı pişme sıcaklığında %15 bor katkılı numuneler en düşük porozite değerini (%19,7) verirken, %5 bor katkılı numuneler en yüksek porozite değerlerini (%16,6) vermiştir. 200-300°C sıcaklıkta %15 bor katkısı ile üretilen tuğlalar en düşük porozite değerlerini sağladığı görülmüştür.

Kil katkılı numunelerin 400°C pişme sıcaklığındaki porozite değerleri incelendiğinde; %5 kil katkılı tuğlalar en yüksek (%23,7) ve %20 kil katkılı tuğlaların en düşük (%15,6) değerleri sağladığı tespit edilmiştir. 200°C ve 300°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlaların porozite değerleri birbirine yakındır. Ancak, %15-20 kil katkılı tuğlaların gözeneklilik değerlerinin düşük oranlarda olduğu görülmüştür.

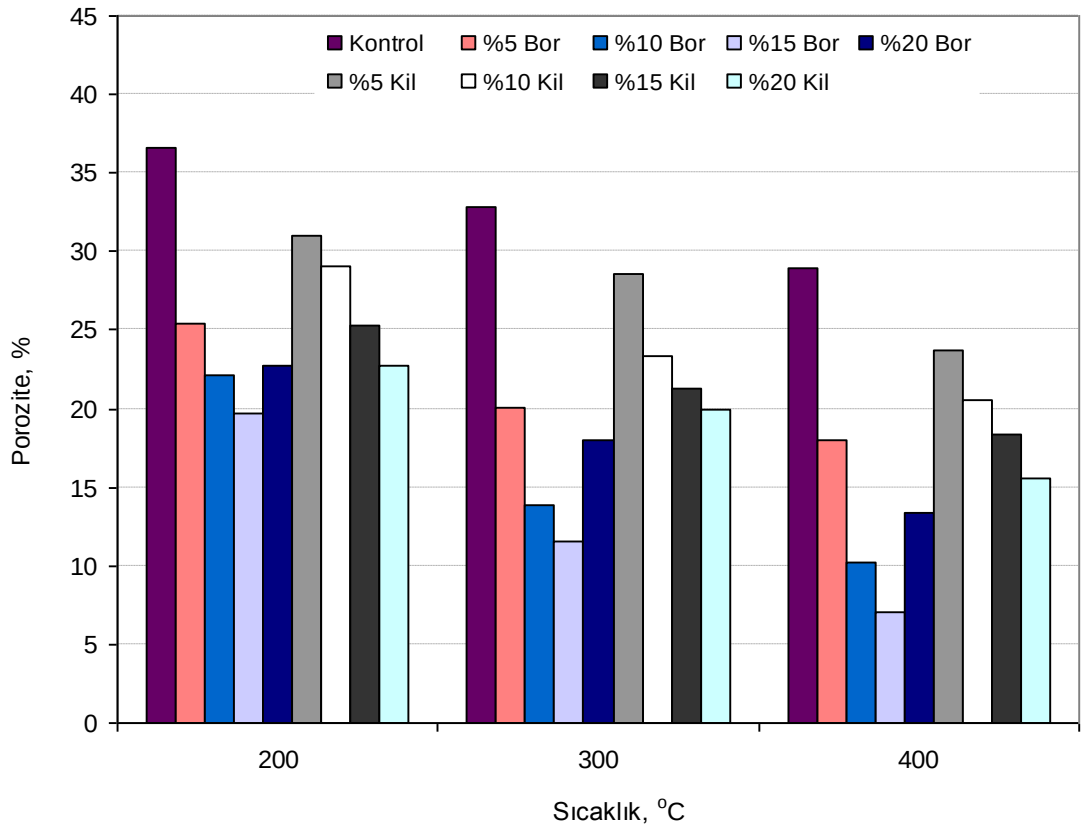
Kontrol tuğlası ile kıyaslandığında, 400°C pişme sıcaklığında %5 bor katkılı tuğlaların porozite değerlerinin %42,3 oranında, %15 bor katkılı tuğlaların %75,8 oranında azaldığı ve tuğlaların 400°C pişme sıcaklığı ve farklı bor katkı miktarına göre porozite değerlerindeki azalmanın ortalama %59,8 olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol tuğlası ile %5 ve %20 kil katkılı tuğlaların porozite değerleri kıyaslandığında, değerlerin sırasıyla %18 ve %46 oranında azaldığı ve farklı kil katkısı ve 400°C pişme sıcaklığında porozite değerlerinde azalmanın ortalama %32,3 olduğu tespit edilmiştir.

Farklı katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre hesaplanan gözeneklilik değerlerindeki azalmaların orantılı olduğu görülmüştür. Borlu tuğlaların porozite değerleri killi tuğlaların porozite değerlerine göre %35,7 daha düşüktür.

Çizelge 5.46. Tuğlaların sıcaklık-porozite deney sonuçlarının karşılaştırılması (%)

Numune Adı	Porozite-Sıcaklık (Ortalama)		
	200°C	300°C	400°C
Kontrol	36,6±3,5	32,8±4,3	28,9±4,7
%5 Bor	25,6±2,5	20,2±1,6	18,0±3,4
%10 Bor	22,4±1,7	14,1±1,5	10,2±2,1
%15 Bor	19,7±3,6	12,3±2,6	7,1±2,3
%20 Bor	23,1±3,1	18,8±3,9	13,9±1,9
%5 Kil	31,9±1,7	28,2±1,3	24,8±1,5
%10 Kil	29,0±2,1	23,8±2,8	21,6±3,2
%15 Kil	25,2±1,5	22,4±1,9	18,5±0,8
%20 Kil	22,2±1,1	19,4±1,0	16,9±0,7



Şekil 5.67. Tuğlaların sıcaklık-porozite değişimi karşılaştırma grafiği

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, bor katkılı olarak üretilen tuğlalar, kontrol ve kil katkılı olarak üretilen tuğlalara kıyasla daha az gözenekli yapıya sahip olduğu görülmektedir.

5.5. Nihai Ürün Üretimi

Doğal ve gözenekli boşluklar içeren hammaddelerin kullanılmasıyla elde edilen yapı malzemeleri bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların arasında kullanım oranı en fazla olan türler olarak, pomza, genleştirilmiş perlit, volkanik cruf, diatomit vs. gibi doğal kayaç ve minerallerdir. Tüm bu kayaçlar endüstriyel alanda hafif agrega olarak tanımlanabilmektedir.

Doğal ve hafif özellikler arz eden perlitlerin inşaat sektöründe kullanımı, binaların stabilitesi açısından oldukça önemlidir. Son zamanlarda inşaat sektöründe yüksek mukavemet sağlayan, ısı ve ses yalıtımı bakımından yüksek değerlere sahip, hafif yapı malzemelerinden üretilen kayaçların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Ancak farklı şekil, boy, standart ve karışım oranlarında üretilen bu malzemelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin muhakkak belirlenmesi gerekmektedir.

Şimdiye kadar yapılan tez çalışmasında perlit agregasının hammadde, kolemanit ve kil minerallerinin bağlayıcı olarak analizleri yapılmış ve TS 705 ve 406 standartlarına uygun oldukları belirlenmiştir. Daha sonra perlit agregalarının farklı bağlayıcılar kullanarak yapı malzemesi üretiminde kullanılması için farklı karışım oranlarında üretilen tuğlaların mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

Farklı karışım oranlarındaki denemelerde elde edilen sonuçlar neticesinde Menderes genleştirilmiş perlit agregasının tuğla üretimine ve kalite analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Hammadde olarak perlit agregasının tercih edilmesindeki en büyük neden perlitlerin birim hacim ağırlığının düşük olmasıdır. Ayrıca, perlit agregalarının ısı ve ses tutma yeteneğinin benzer ürünlere kıyasla daha iyi olduğu düşünülmüştür.

Bu amaçla, yapılan denemelerin neticesinde nihai ürün üretim çalışmalarına geçilmişti. Nihai ürünler farklı boyutlarda (50x100x100 mm, 100x150x100 mm, 100x200x100 mm ve 100x250x100 mm) üretilmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek boyut analizi yapılmıştır. Daha sonra tuğlaların 2-7-14-28-90 gün sonunda kimyasal, fiziksel, mekanik, ısı ve ses özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, tuğlaların cp testi (ısı tutma) ve nötron tutma özelliği gibi teknolojik deneylerde gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Tuğla Karışım Oranının Belirlenmesi

Araziden alınan tüvenan şekilde perlit örnekleri yüksek sıcaklık fırınında genleştirilip elendikten sonra 0-0,5, 0,5-1, 1-2 ve 2-4 mm' lik elek aralıklarına göre sınıflaması yapılmıştır. Sınıflama ve kırma işlemleri TS 706, TS 3682, EN 12620 standartlarının öngörüldüğü şekilde yapılmıştır. Tüm deneyler oda sıcaklığında 22°C, nem miktarının %65-70 olduğu uygun oda ve çevre şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Hammaddelerin genel sınıflandırılmasından sonra fiziksel ve mekanik özellikleri olarak en iyi mühendislik kriterleri sunan tuğla su-bağlayıcı-kimyasal karışım oranlarının tespiti için çok sayıda karışım hesapları ve deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneme yanılma deneylerinde birim hacim ağırlık ve dayanım değerleri karışım oranlarının oluşturulmasında en büyük kriterler olmuştur.

Yapılan deneme yanılma deneysel çalışmaları kapsamında üretilen tuğlaların bazılarının dayanımı yüksek çıkarken birim hacim ağırlıklarının çok yüksek olduğu görülmüştür. Ayni çalışmalar neticesinde birim hacim ağırlık değerinin düşük karışımı sağlayıp ürettikten sonra bu seferde dayanım değerinin çok düşük çıktığı görülmüştür.

Bazı denemelerde bağlayıcı miktarının fazla konulması dayanım artışını sağlamış fakat malzemenin fazla kullanılması maliyeti arttırdığından endüstriyel alanda uygulanabilirliği kısıtladığı için kullanılamamıştır. Ayni deneme yanılma çalışmaları neticesinde su miktarının uygun olmayan miktarda kullanılması tuğla karışım harcında büyük sıkıntılar meydana getirmiştir.

Tüm bu çalışmalar sonucunda Menderes perlitlerinden üretilen tuğlaların yüksek mukavemet, düşük birim hacim ağırlık ve diğer mühendislik özelliklerinde en optimum değerleri sağlayan karışım oranı belirlenerek bu değerler Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Karışım oranları belirlendikten sonra üretilecek tuğlaların şekil ve boyut tasarımı hakkında çalışmalar yapılmıştır. TS 705 ve 406 standartlarının öngördüğü şekil ve boyuta uygun bazı değişimler yapılarak dört farklı boyut ve tipte tuğla dizaynı gerçekleştirilmiştir. Ancak üretilen tuğlaların boyutlarıyla ilgili hazır TS standardı bulunmadığı için benzer ürünlerin standartları uygulanmıştır.

Çizelge 5.47. Nihai tuğla karışım oranları

S/K	Perlit %	Bor %	Kil %	K.tozu %	CMC %
0,85	72	9	11	3	5

Tasarımı yapılan tuğlaların standardı bulunmadığı için benzer ürünlerin boyutları ve minimum olması gereken et kalınlıkları kullanılmıştır. Ayrıca mekanik özellikler olarak uyulması gereken minimum dayanım değerleri tespit edilmiştir. bu özelliklere uygun bir dizayn yapıldıktan sonra daha yüksek fiziksel ve mekanik özellikleri veren tuğlaların tasarımı yapılabilmektedir.

Tasarlanan tuğlaların benzer ürünlere kıyasla daha iyi özellikler sunması endüstriyel alanda sevindirici bir gelişmedir. Ayrıca yapılan doktora çalışmasıyla sektöre yeni bir ürün kazandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, üretilen tuğlaların yüksek dayanım vermesi, tuğlaların yapısında bulunan hammaddelerin karışım oranlarına, şekil ve boyutuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Tüm bu özelliklerin bulunmasına rağmen üretim esnasında kalıbı iyi bir şekilde presleyip sıkıştırma işlemleri gerçekleşmezse tuğlaların dayanım değerlerinin %35 varan oranlarda azaldığı görülmüştür.

Bu amaçla yine deneme yanılma yöntemi ile tuğlaların pres vasıtası ile sıkıştırılması esnasında 50 barlık basınç değerinin en optimum sıkışma değeri sağladığı gözlenmiştir. Seri üretim esnasında 50 barlık bir basınç değeri kullanılmıştır.

Çalışmalarda nihai tuğla üretimi kapsamında dört farklı şekil ve boyutta tuğla üretimleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.68).

Üretilen tuğlaların boyutları,

- 50x100x100 mm
- 100x150x100 mm
- 100x200x100 mm
- 100x250x100 mm

Tuğlalar 4 farklı tip ve boyutta oldukları için ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.68. Farklı boyutda üretilen tuğlaların genel görünümü

5.5.2. 50x100x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi

Bu tuğlalar, TS 406'da belirtilen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Perlit agregası, bağlayıcı ve su karışımı kalıplara dökülerek, 50 bar'lık bir basınç altında preslenmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek elde edilmiştir.

Yapı endüstrisinde özellikle estetik ve konfor istenen duvarlarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 50x100x100 mm (genişlik, boy, yükseklik) tercih edilmesi üretim kolaylığı açısından tuğlanın tasarım amacını oluşturmaktadır. Bu boyutta tasarlanan tuğlaların nihai üretim esnasında elde edilen ürünler Şekil 5.69'da verilmiştir.

İnşaat sektöründe bina ağırlığının azalması için düşük birim hacim ağırlık ve yüksek mukavemet değerine sahip yapı malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bu amaçla, üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5.69. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi

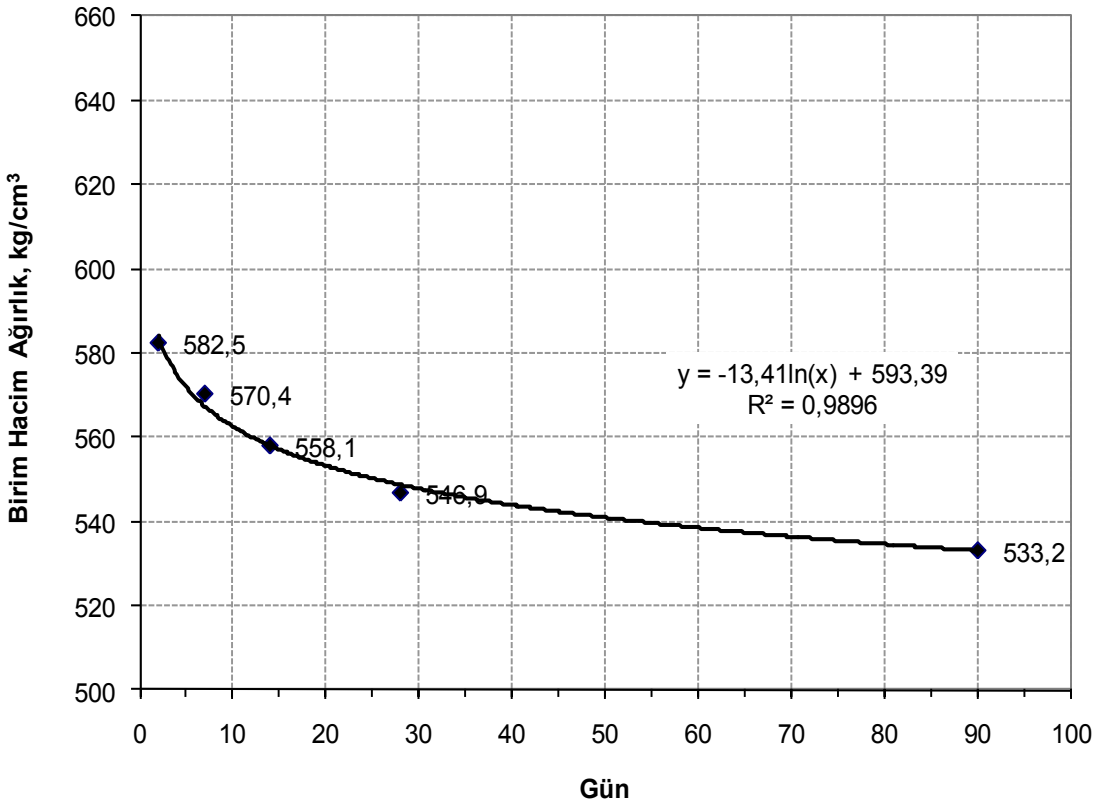
İnşaat sektöründe kullanılan tuğlalar taşıyıcı olmayıp bölme elemanı olarak kullanıldığı için yüksek mukavemet istenmemektedir. Bu amaçla, üretilen tuğlaların basma dayanımı deney sonuçlarının belirlenmesi ve çıkan sonuçların karşılaştırılması oldukça önemlidir.

Nihai tuğlanın, 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek SEM ve XRD çekimleri yapılmış, birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, sonik hız, su emme, porozite, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.48 ve Şekil 5.70, basınç dayanımı Çizelge 5.49 ve Şekil 5.71, nokta yük dayanımı Çizelge 5.50 ve Şekil 5.72, sonik hız Çizelge 5.51 ve Şekil 5.73, su emme Çizelge 5.52 ve Şekil 5.74, porozite Çizelge 5.53 ve Şekil 5.75 ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 5.54 ve Şekil 5.76 ve 100 Hz frekansta ölçüm yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Çizelge 5.55 ve Şekil 5.77'de verilmiştir.

Çizelge 5.48. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık (BHA) değerleri (kg/m^3)

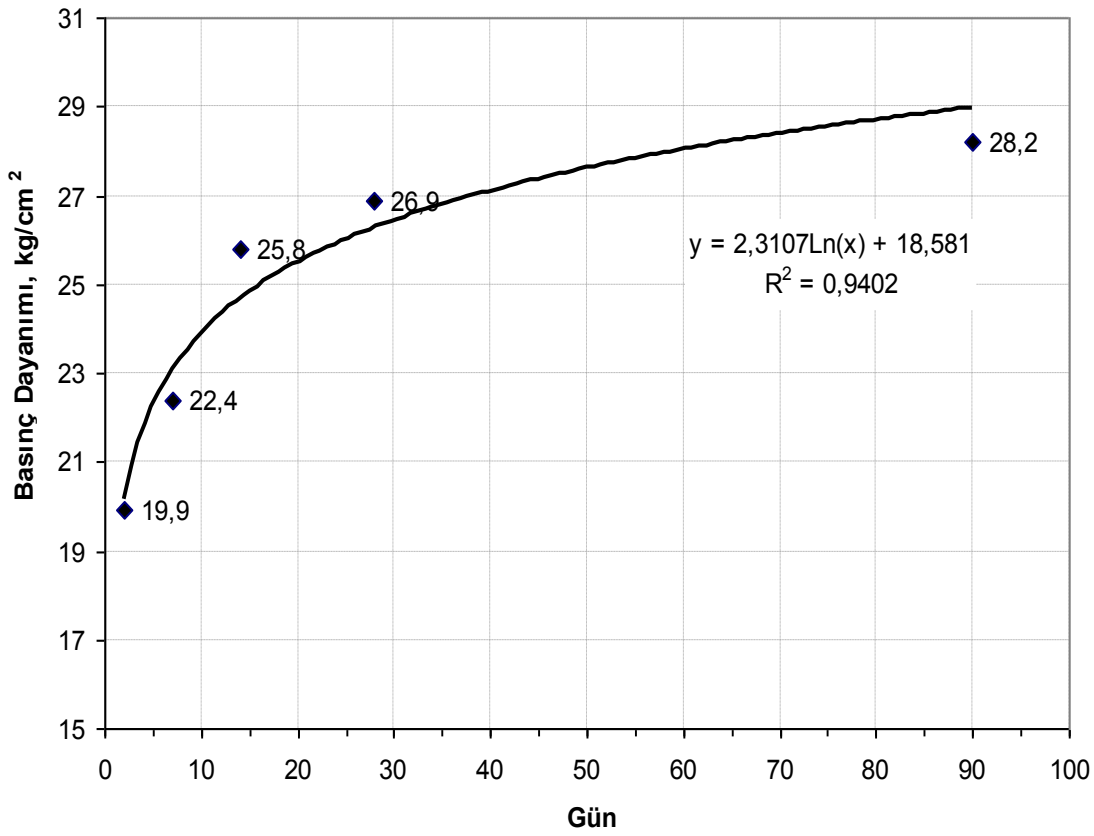
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	622	603	591	585	566
2	557	545	532	525	494
3	544	532	522	514	481
4	518	499	487	471	450
5	524	512	498	492	467
6	647	643	635	627	604
7	591	580	572	563	541
8	646	637	623	615	595
9	604	592	579	553	538
10	572	561	542	524	596
Ortalama	**582,5±49,4**	**570,4±51,8**	**558,1±52,5**	**546,9±53,7**	**533,2±57,8**



Şekil 5.70. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık (BHA) değişim grafiği

Çizelge 5.49. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri (kg/cm^2)

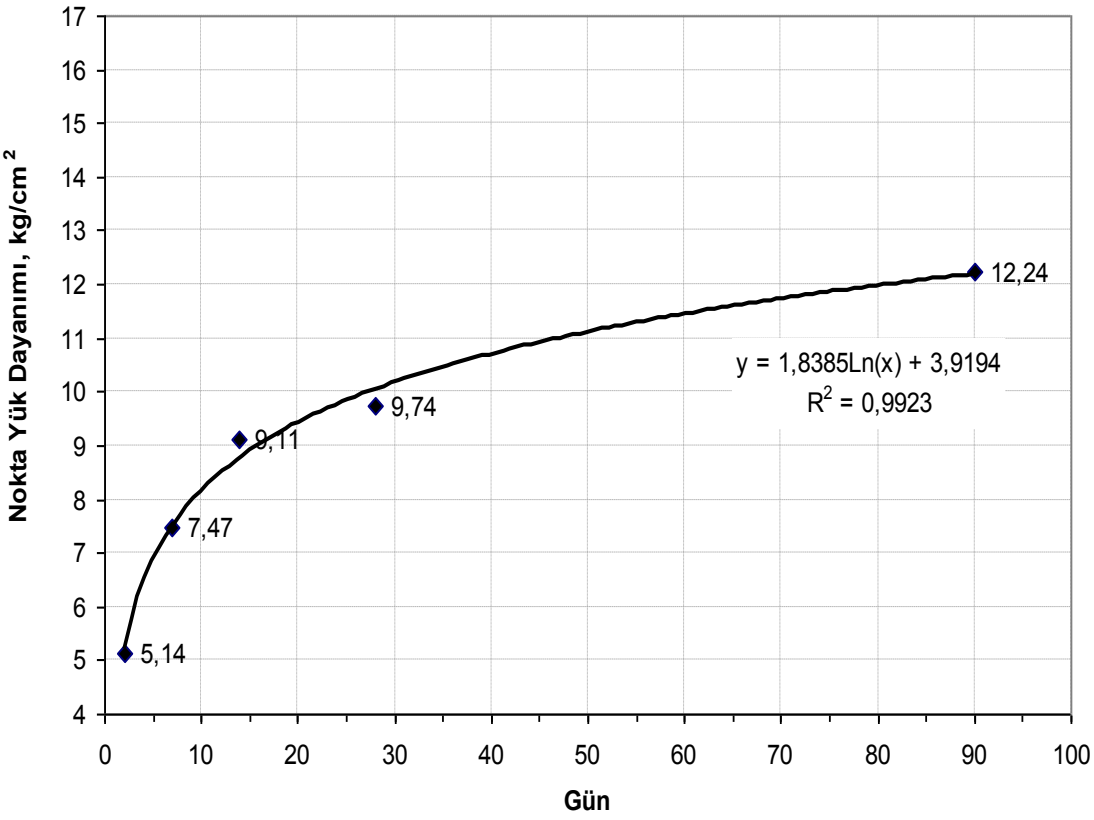
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	17,2	23,2	24,6	25,8	27
2	19,3	24,9	26,7	27,6	28,3
3	22,1	22,1	24,1	26,4	29,1
4	24,4	24,7	25,3	28,9	27,7
5	20,2	24,2	26,2	27,1	30,5
6	19,8	20,5	28,1	24,3	28,2
7	17,5	22,5	26,3	25,3	26,6
8	20,9	18,9	24,9	28,5	26,2
9	19,6	23,1	24,5	29,2	27,9
10	18,3	19,4	27,3	25,6	30,1
Ortalama	**19,9±2,2**	**22,4±2,0**	**25,8±1,3**	**26,9±1,6**	**28,2±4,6**



Şekil 5.71. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.50. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri (kg/cm^2)

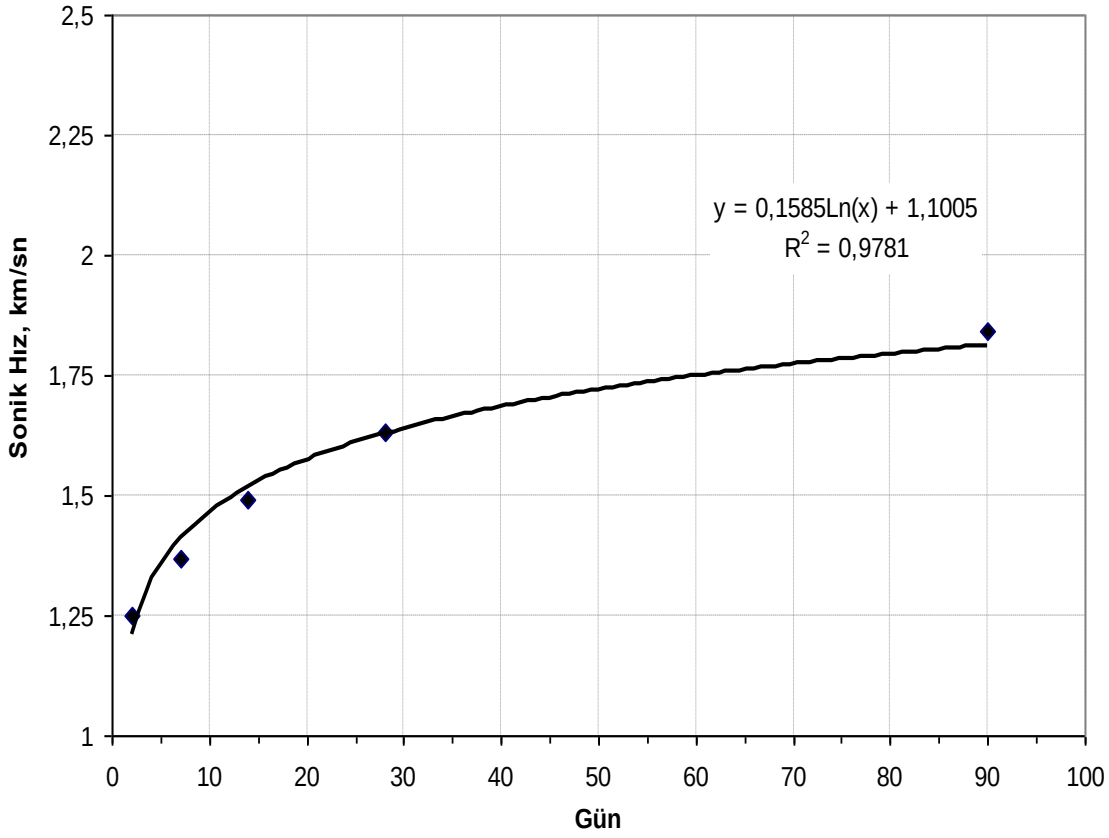
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	4,7	6,1	9	10	12,4
2	4,4	9	8,4	11,4	10,8
3	5,7	7,8	9,5	10,2	13,2
4	4,5	8,2	9,3	9,7	12,4
5	5,9	6,6	8,6	8,6	10,3
6	4,6	7,6	7,2	10,1	11,4
7	5,1	6,5	10,4	8,3	12,6
8	5,9	7,7	9,3	8,5	11,3
9	6,2	6,9	8,9	9,1	13,2
10	4,4	8,3	10,5	11,5	14,8
Ortalama	**5,14±0,7**	**7,47±0,8**	**9,11±0,8**	**9,74±1,1**	**12,24±1,0**



Şekil 5.72. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.51. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri (km/sn)

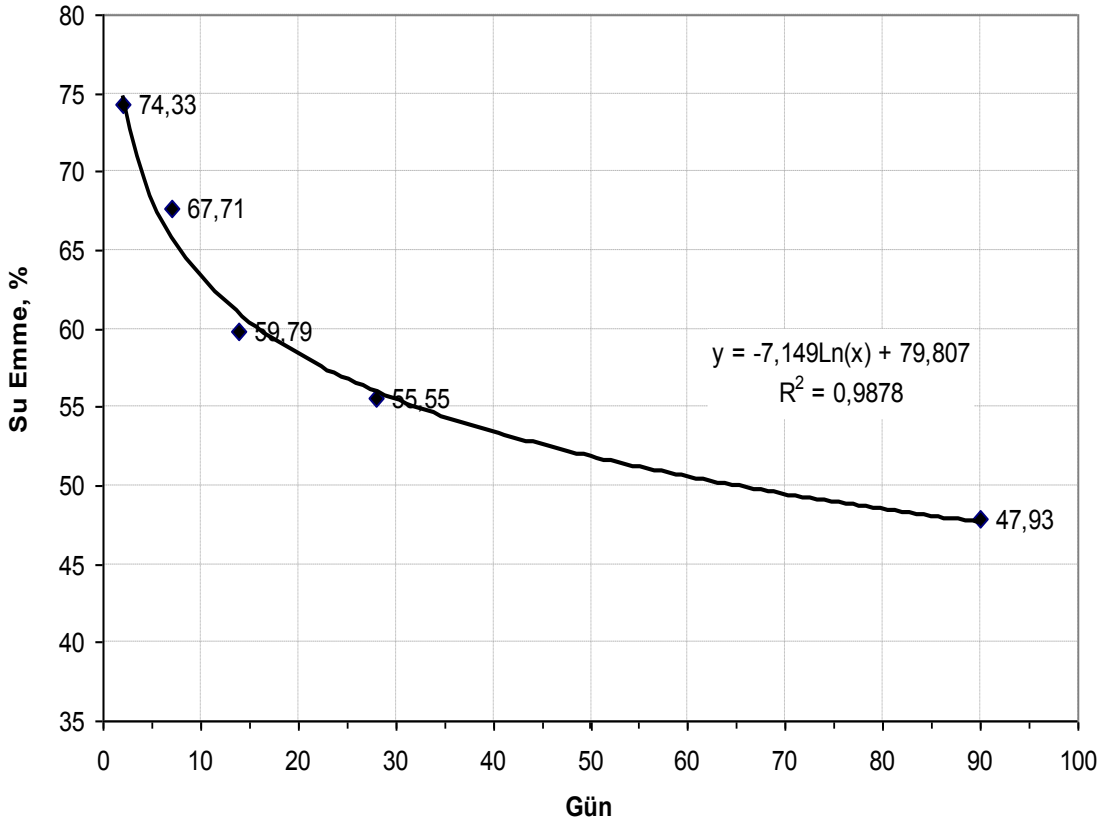
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	1,26	1,37	1,64	1,75	1,92
2	1,27	1,46	1,56	1,82	1,91
3	1,06	1,26	1,39	1,63	1,82
4	1,45	1,55	1,59	1,65	1,95
5	1,38	1,41	1,5	1,59	1,87
6	1,09	1,27	1,35	1,47	1,78
7	1,04	1,26	1,33	1,43	1,61
8	1,26	1,31	1,6	1,72	1,87
9	1,55	1,57	1,64	1,7	1,96
10	1,13	1,29	1,37	1,48	1,66
Ortalama	**1,25±0,06**	**1,37±0,08**	**1,49±0,04**	**1,63±0,09**	**1,84±0,08**



Şekil 5.73. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Çizelge 5.52. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri (%)

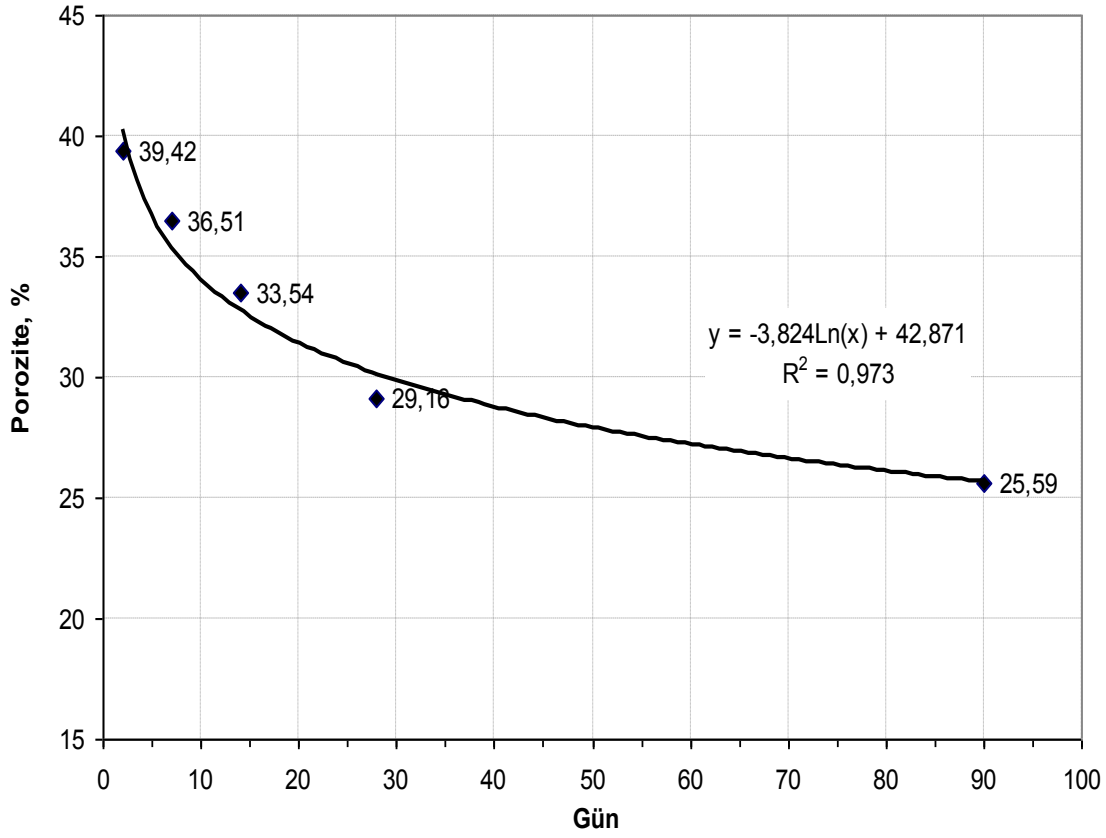
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	77,8	68,9	62,2	60,5	53,8
2	80,1	74,5	60	58,2	51,2
3	82,6	71,2	63	55,3	47,7
4	69,4	60,5	57,4	50,9	45,3
5	77,9	65,9	62,5	49,2	42,9
6	71,6	76,1	58,7	57,8	49,3
7	71,3	72,8	53	62,3	52,8
8	76,9	59,3	69,3	61,5	52,7
9	67,6	69,5	55,7	50,2	42,1
10	68,1	58,4	56,1	49,6	41,5
Ortalama	**74,33±9,4**	**67,71±5,9**	**59,79±6,7**	**55,55±4,8**	**47,93±4,0**



Şekil 5.74. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği

Çizelge 5.53. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri (%)

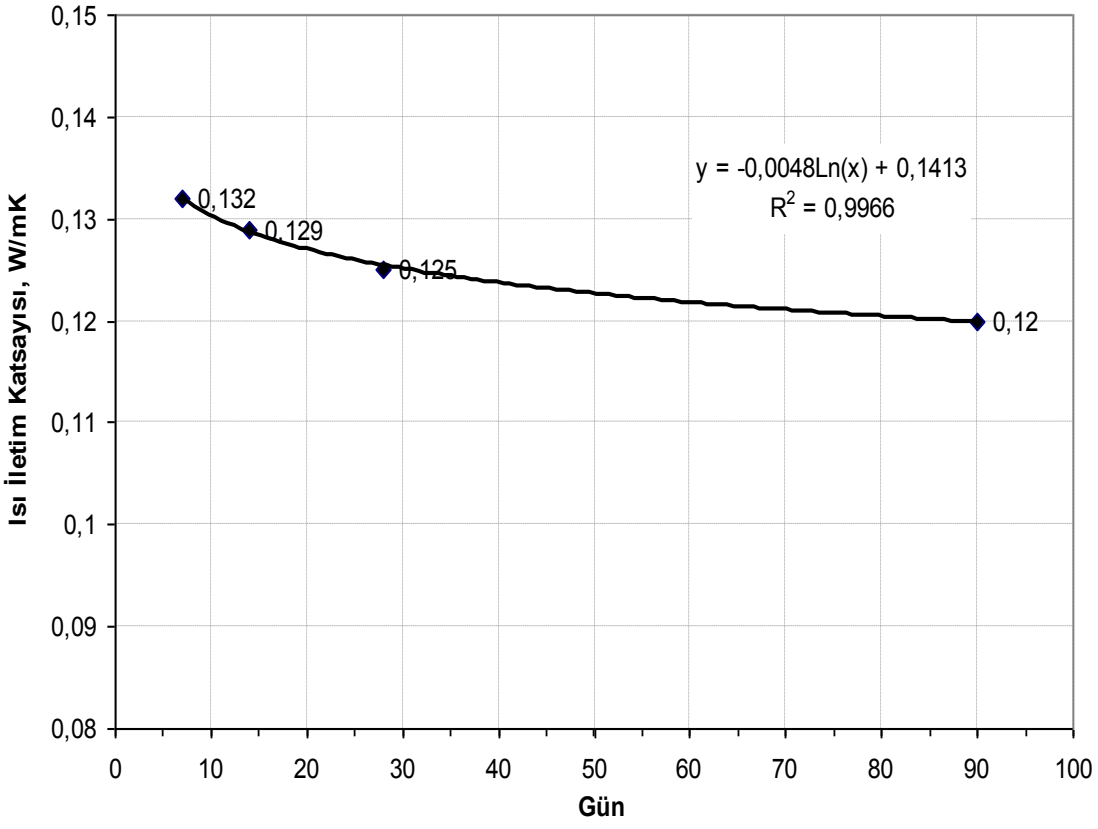
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	38,6	34,7	38,1	26,9	21,3
2	43,2	39,8	39,9	32	27,1
3	41,9	36,7	29,8	34,1	31,3
4	39,5	35,6	33	25	24,8
5	37,4	34,8	33,7	27,2	24,2
6	40,7	38,9	36,3	29,1	26,2
7	41,9	36,6	34,8	24,6	20,1
8	38,2	40,5	31,4	28,5	24,4
9	37,5	33,1	30,1	34,4	30,6
10	35,3	34,4	28,3	29,8	25,9
Ortalama	**39,42±2,2**	**36,51±2,1**	**33,54±3,2**	**29,16±3,3**	**25,59±3,2**



Şekil 5.75. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği

Çizelge 5.54. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)

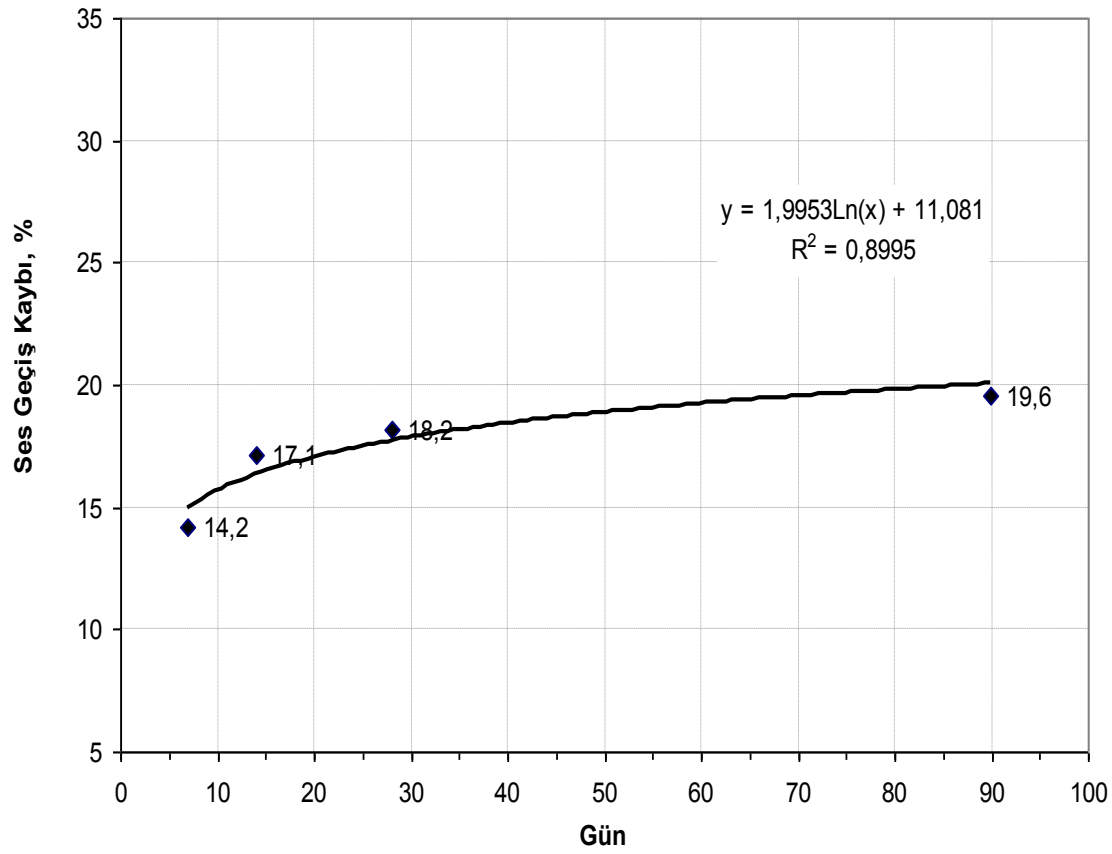
Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	0,132	0,129	0,126	0,121
2	0,133	0,127	0,124	0,119
3	0,137	0,133	0,13	0,127
4	0,135	0,132	0,129	0,124
5	0,14	0,137	0,135	0,128
6	0,134	0,13	0,126	0,118
7	0,128	0,126	0,121	0,116
8	0,127	0,124	0,119	0,114
9	0,131	0,129	0,126	0,117
10	0,126	0,122	0,118	0,112
Ortalama	**0,132±0,004**	**0,129±0,003**	**0,125±0,005**	**0,12±0,003**



Şekil 5.76. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği

Çizelge 5.55. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri (%)

Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	14,3	18,8	19,8	21,7
2	17,5	20	21,3	22
3	19,7	19,6	20,4	21,3
4	15,5	18,8	19,9	21,1
5	15	17,5	18,5	19,6
6	13,6	18,6	19,6	21,3
7	12,9	14,8	15,7	17
8	11,3	14,4	15,3	17,1
9	9,9	15	16,1	17,9
10	11,8	13,8	14,7	16,8
Ortalama	**14,2±2,8**	**17,1±2,1**	**18,2±2,0**	**19,6±1,9**



Şekil 5.77. 50x100x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 582,5±49,4, 570,4±51,8, 558,1±52,5, 546,9±53,7 ve 533,2±57,8 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde zamana bağlı olarak tuğlaların birim hacim ağırlıklarında bir azalma meydana geldiği, 28 günden sonraki azalma miktarının ise çok fazla olmadığı ve optimum birim hacim ağırlığa 28. günde ulaşıldığı belirlenmiştir. yapı malzemelerinin sonik hız geçiş değerleri 1,25±0,06, 1,37±0,08, 1,49±0,04, 1,63±0,09 ve 1,84±0,08 olarak bulunumuştur

Ayrıca, tuğlaların zamana bağlı basınç ve nokta yük dayanımı değerleri sırasıyla 19,9±2,2, 22,4±2,0, 25,8±1,3, 26,9±1,6, 28,2±4,6 kg/cm^2 ve 5,14±0,7, 7,47±0,8, 9,11±0,8, 9,74±1,1 ve 12,24±1,0 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Tespit edilen sonuçlara göre, tuğlaların zamana bağlı olarak basınç ve nokta yük dayanımlarının giderek arttığı, 90.günde en yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Tuğlaların zamana bağlı su emme ve porozite değerleri sırasıyla 74,33±9,4, 67,71±5,9, 59,79±6,7, 55,55±4,8 ve 47,93±4,0 (%) ve 39,42±2,2, 36,51±2,1, 33,54±3,2, 29,16±3,3 ve 25,59±3,2 (%) olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak su emme ve porozite değerlerinin ters orantılı olarak giderek azaldığı belirlenmiştir. Tuğlaların 90 gün sonunda su emme ve porozite değerleri 2 günlük tuğlalardan elde edilen değerlere kıyasla %35,5 oranında azaldığı görülmüştür.

Aynı şekilde, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses yalıtım değerleri, 0,132±0,004, 0,129±0,003, 0,125±0,005, 0,12±0,003 W/mK ve 14,2±2,8, 17,1±2,1, 18,2±2,0 ve 19,6±1,9 (%) olarak tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Tuğlaların Isı iletim katsayı değerlerinin zamanla düşük miktarda azaldığı ve ısı yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir. Ayni şekilde, ses yalıtım değerleri 2-28 gün arasında düşük miktarlarda arttığı ve optimum ses yalıtım değerlerine 90. günde ulaşıldığı bulunmuştur.

5.5.3. 100x150x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi

Bu tuğlalar, TS 406'da belirtilen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Yapı endüstrisinde özellikle akustik ve estetik istenilen binalarda sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x150x100 (genişlik, boy, yükseklik) mm tercih edilmesi üretim kolaylığı açısından tuğlanın tasarım amacını oluşturmaktadır. Bu boyutta tasarlanan tuğlaların nihai üretim esnasında elde edilen şekiller Şekil 5.78'de verilmiştir.

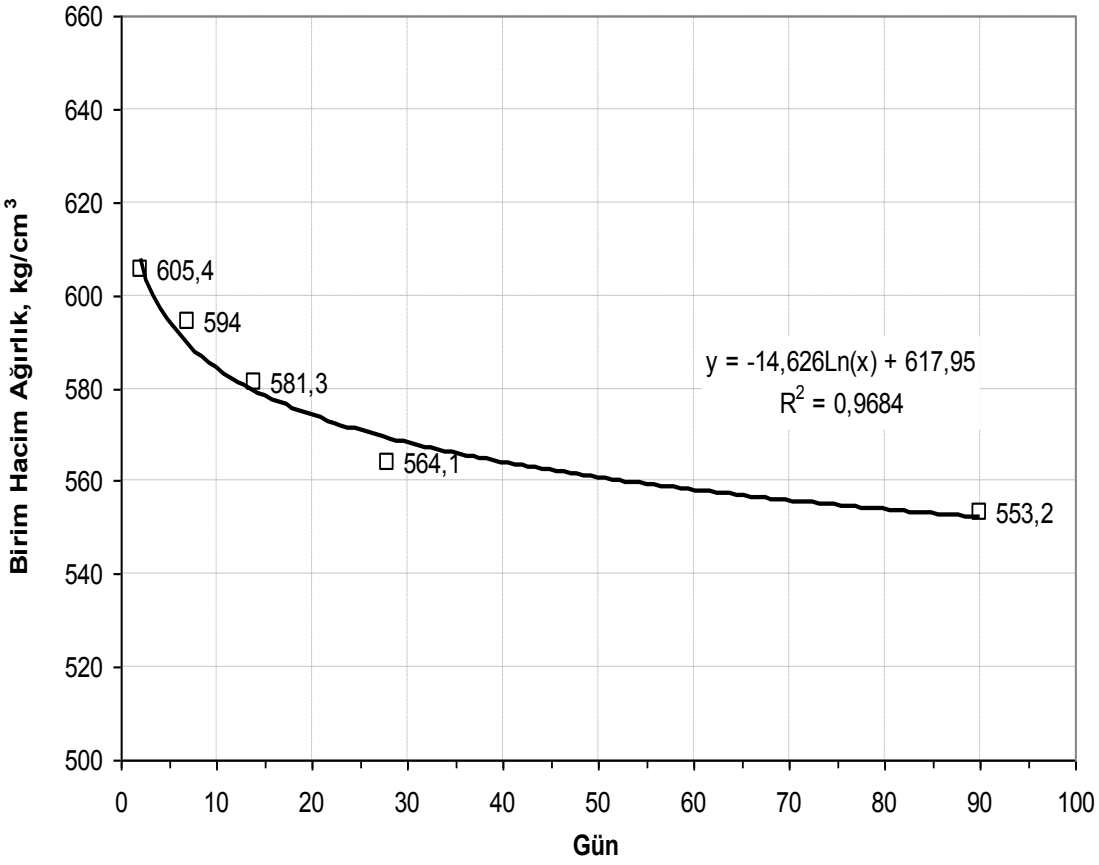


Şekil 5.78. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi

Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.56 ve Şekil 5.79, basınç dayanımı Çizelge 5.57 ve Şekil 5.80, nokta yük dayanımı Çizelge 5.58 ve Şekil 5.81, sonik hız Çizelge 5.59 ve Şekil 5.82, su emme Çizelge 5.60 ve Şekil 5.83, porozite Çizelge 5.61 ve Şekil 5.84 ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 5.62 ve Şekil 5.85 ve 100 Hz frekansta ölçüm yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Çizelge 5.63 ve Şekil 5.86' da verilmiştir.

Çizelge 5.56. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

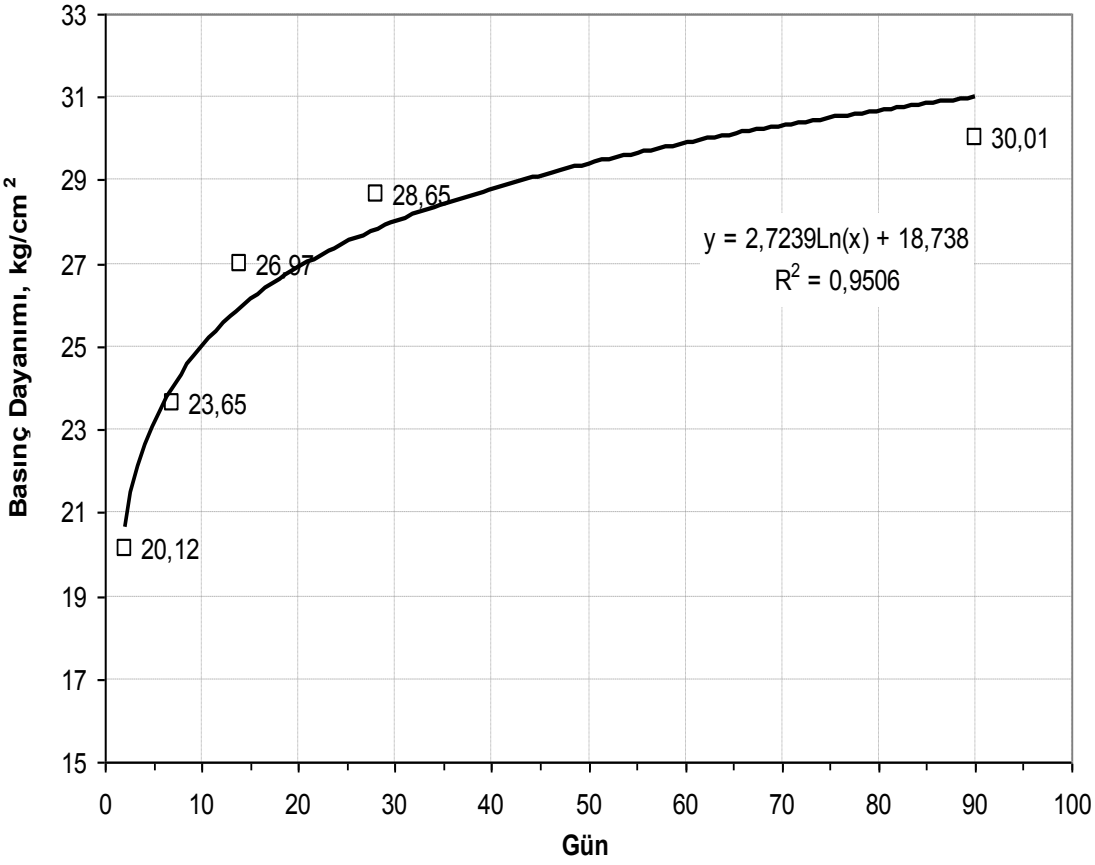
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	588	584	576	568	555
2	560	549	533	527	563
3	595	586	578	569	548
4	659	639	618	611	533
5	582	571	558	552	542
6	569	560	546	539	587
7	598	581	578	570	565
8	686	679	670	564	539
9	659	644	621	615	535
10	558	547	535	526	565
Ortalama	**605,4±47,9**	**594±43,7**	**581,3±42,7**	**564,1±30,2**	**553,2±35,8**



Şekil 5.79. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği

Çizelge 5.57. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri (kg/cm^2)

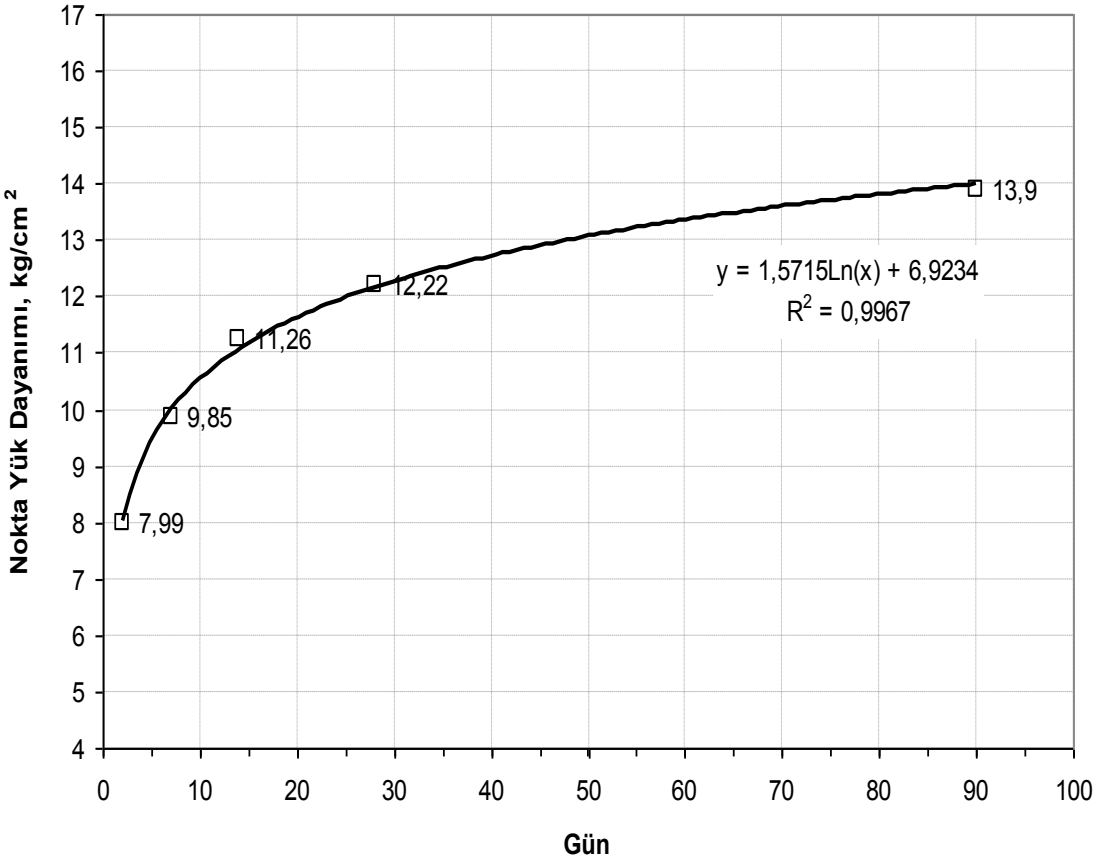
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	20,3	23,8	28,7	27,8	30,3
2	19	20,8	30,6	31,3	31,2
3	18,6	26,5	26,3	28,7	29,8
4	20,7	24,9	25,7	26,6	30,1
5	20,2	25,2	27,9	25,5	29,5
6	21	24,3	29,2	28,5	32,4
7	20,4	23,7	23,8	29,4	30
8	20,8	25,5	26,3	30,1	28,6
9	18,7	21,6	22,7	30,7	28,9
10	21,5	20,2	28,5	27,9	29,3
Ortalama	**20,12±1,6**	**23,65±3,2**	**26,97±4,9**	**28,65±1,9**	**30,01±2,2**



Şekil 5.80. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.58. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri (kg/cm^2)

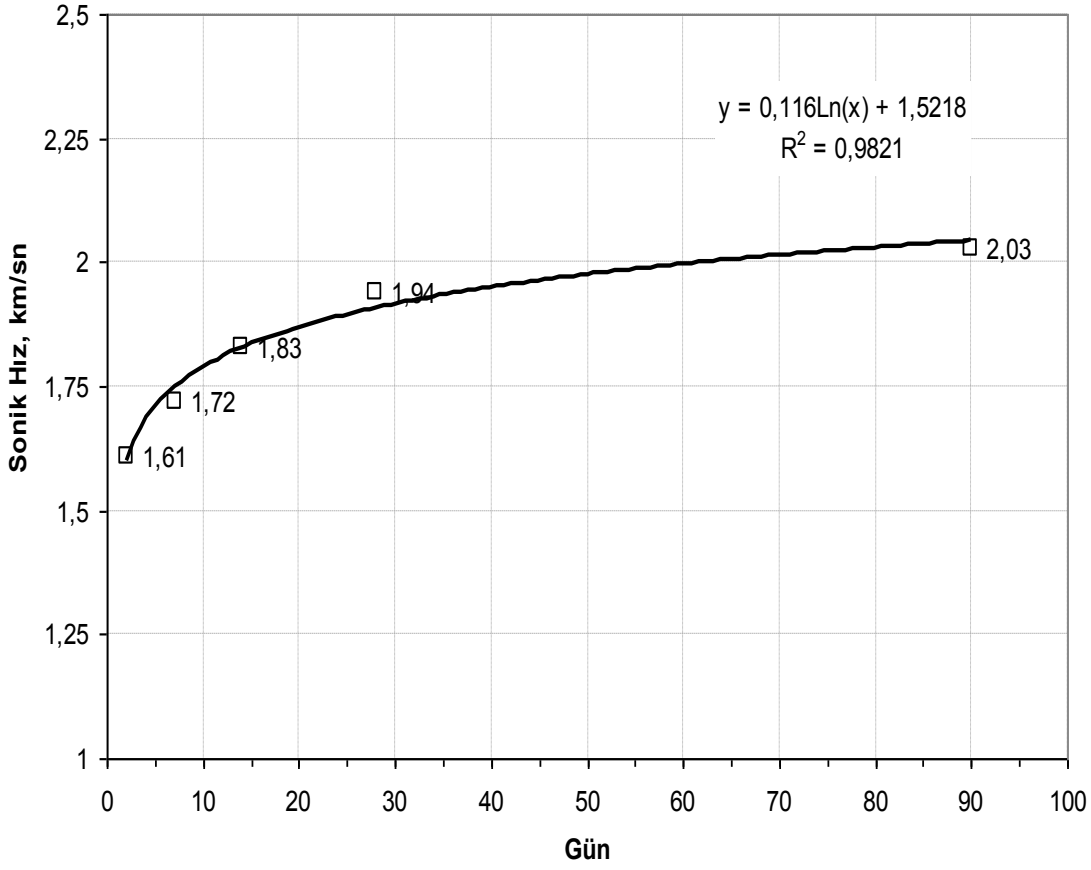
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	9,1	9,7	12,1	14,3	14,8
2	7,2	8,8	11,4	12,8	13,5
3	7,7	10,7	12,9	13,6	13,1
4	6,9	8,6	10,5	10,5	12,9
5	8,8	10,8	9,9	11,3	13,8
6	8,1	9,2	12,3	13,7	14
7	6,7	9,7	10,6	11,2	15
8	8	10,7	11,9	11,6	14,5
9	7,9	10,4	9,3	10,3	14,7
10	9,5	9,9	11,7	12,9	12,7
Ortalama	**7,99±0,9**	**9,85±0,8**	**11,26±1,0**	**12,22±1,2**	**13,9±1,5**



Şekil 5.81. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.59. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri (km/sn)

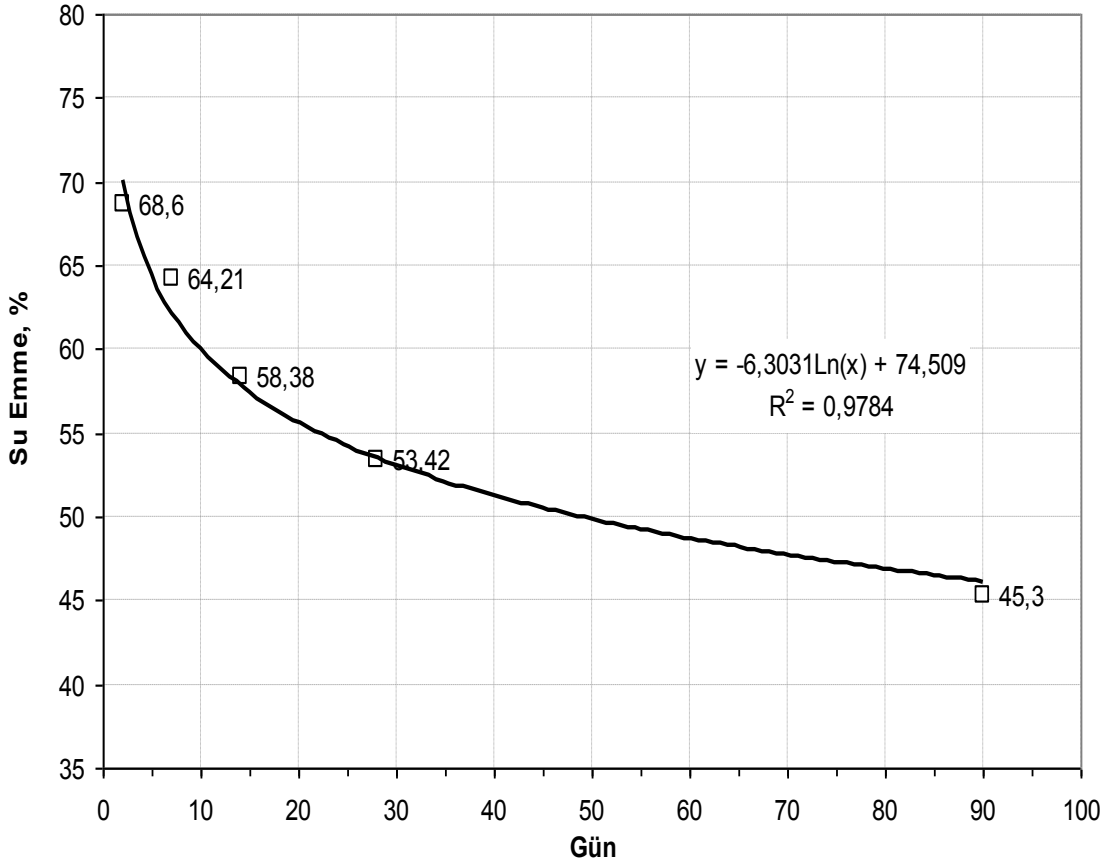
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	1,75	1,56	1,76	1,79	1,97
2	1,76	1,34	1,93	1,96	2,05
3	1,42	1,9	2,01	2,02	2,11
4	1,71	1,59	1,52	1,75	1,78
5	1,64	1,63	1,45	1,83	1,99
6	1,45	1,77	1,82	1,94	2,07
7	1,62	1,93	1,75	2,03	2,13
8	1,87	1,86	1,49	2,06	2,1
9	1,23	1,79	1,93	2,01	2,03
10	1,67	1,83	1,86	1,95	2,01
Ortalama	**1,61±0,06**	**1,72±0,01**	**1,75±0,04**	**1,94±0,03**	**2,03±0,05**



Şekil 5.82. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Çizelge 5.60. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri (%)

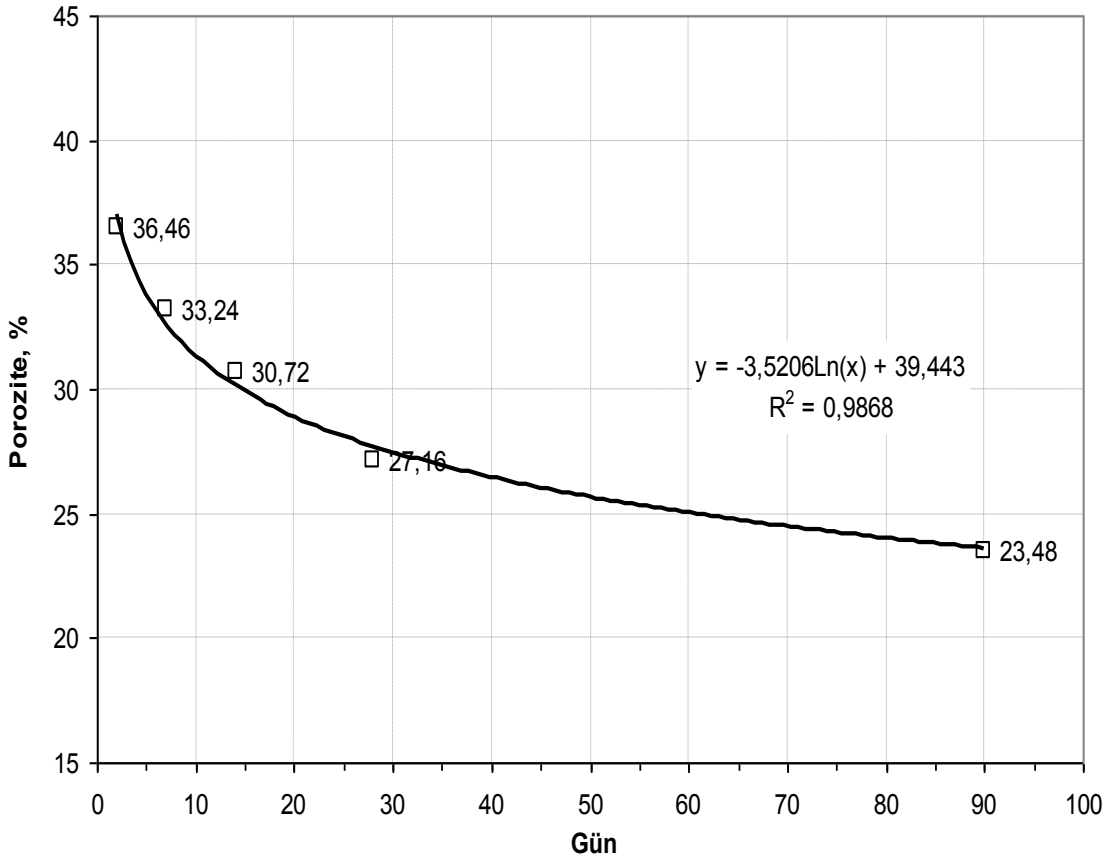
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	68,1	67	59,8	55,2	42,6
2	77,3	70,4	65,2	60,3	47,9
3	69,2	59,9	61,3	60,4	43,3
4	75,6	71	58,7	54,2	46,1
5	71	66,8	54,9	49,6	45,3
6	65,8	60,5	57,1	47,1	43,6
7	66	63	58	48	45,8
8	67,3	66,8	55,5	55,7	43,9
9	63,7	59,6	52,4	49,9	49
10	62	70,1	60,9	53,8	45,1
Ortalama	**68,6±4,5**	**65,51±4,3**	**58,38±3,7**	**53,42±5,0**	**45,3±4,6**



Şekil 5.83. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği

Çizelge 5.61. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri (%)

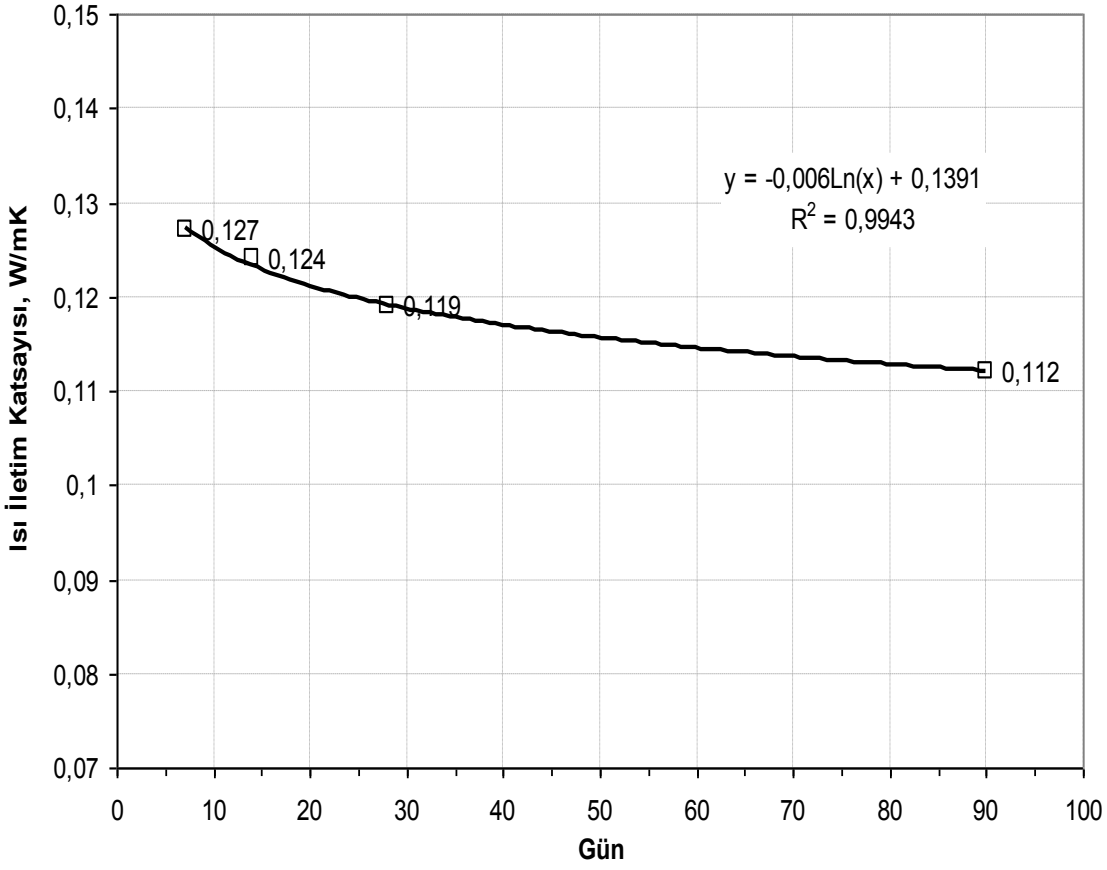
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	40,7	36,8	30,9	27,5	23,3
2	37,4	35,9	33	30,3	25,5
3	37	38,3	30,5	25,2	26,4
4	39,6	35,5	27,4	24,3	22,7
5	38,1	28,7	25,8	22,5	21,4
6	35,5	27,4	24,9	23,9	20,9
7	29,6	31,6	32,4	25,9	23,6
8	33,8	35,8	31,6	30,6	22,1
9	40	33,2	35,8	32	25,3
10	32,9	29,2	34,9	29,4	23,6
Ortalama	**36,46±3,2**	**33,24±3,6**	**30,72±3,5**	**27,16±3,4**	**23,48±4,2**



Şekil 5.84. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği

Çizelge 5.62. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)

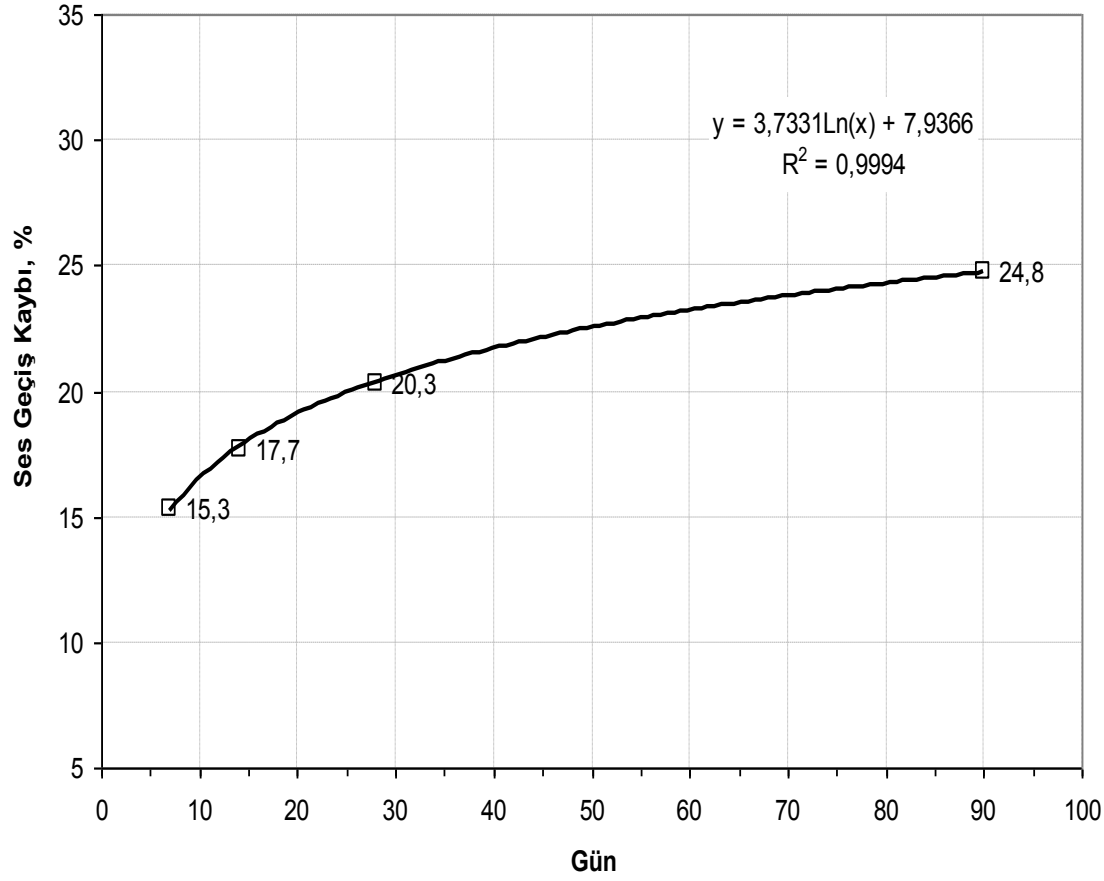
Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	0,128	0,125	0,121	0,114
2	0,123	0,121	0,116	0,108
3	0,125	0,12	0,117	0,111
4	0,13	0,128	0,123	0,117
5	0,123	0,119	0,114	0,107
6	0,127	0,124	0,118	0,1
7	0,131	0,128	0,124	0,115
8	0,129	0,125	0,119	0,112
9	0,13	0,129	0,125	0,117
10	0,122	0,118	0,111	0,114
Ortalama	**0,127±0,003**	**0,124±0,007**	**0,119±0,005**	**0,112±0,009**



Şekil 5.85. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği

Çizelge 5.63. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri (%)

Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	16,2	18,8	22	25,6
2	15,4	18	21,2	24,9
3	14,8	16,6	19,3	24,4
4	15	15,8	18,4	23,8
5	16,3	17,1	18,6	24,5
6	14,4	19,4	21,7	25,2
7	13,7	17	19,2	24,9
8	14,9	18,9	21,4	26,2
9	15,7	17,2	20,3	24,4
10	16	17,9	20,6	23,2
Ortalama	**15,3±0,7**	**17,7±1,1**	**20,3±2,2**	**24,8±3,1**



Şekil 5.86. 100x150x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği

Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük 100x150x100 mm boyutunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 605,4±47,9, 594±43,7, 581,3±42,7, 564,1±30,2 ve 553,2±35,8 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tuğlaların zamana bağlı basınç ve nokta yük dayanımı değerleri sırasıyla 20,12±1,6, 23,65±3,2, 26,97±4,9, 28,65±1,9, 30,01±2,2 kg/cm^2 ve 7,99±0,9, 9,85±0,8, 11,26±1,0, 12,22±1,2 ve 13,9±1,5 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tuğlaların zamana bağlı olarak birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı, basınç ve nokta yük dayanımlarının giderek arttığı belirlenmiştir. Tuğlaların zamana bağlı su emme ve porozite değerleri sırasıyla 68,6±4,5, 65,51±4,3, 58,38±3,7, 53,42±5,0 ve 45,3±4,6 (%) ve 36,46±3,2, 33,24±3,6, 30,72±3,5, 27,16±3,4 ve 23,48±4,2 (%) olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak su emme ve porozite değerlerinin ters orantılı olarak giderek azaldığı belirlenmiştir.

Ayni şekilde, 7, 14, 28 ve 90 günlük üretilen tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses yalıtım değerleri, 0,127±0,003, 0,124±0,007, 0,119±0,005, 0,112±0,009 W/mK ve 15,3±0,7, 17,7±1,1, 20,3±2,2 ve 24,8±3,1 (%) olarak tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

5.5.4. 100x200x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi

Bu tuğlalar, TS 406'da belirtilen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Perlit agregası, bağlayıcı ve su karışımı kalıplara dökülerek, 50 bar'lık bir basınç altında preslenmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek elde edilmiştir. Bu boyutta tasarlanan tuğlaların üretiminde kullanılan başlıklar Şekil 5.87'de ve nihai üretim esnasında elde edilen ürünler Şekil 5.88'de verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.64 ve Şekil 5.89, basınç dayanımı Çizelge 5.65 ve Şekil 5.90, nokta yük dayanımı Çizelge 5.66 ve Şekil 5.91, sonik hız Çizelge 5.67 ve Şekil 5.92, su emme Çizelge 5.68 ve Şekil 5.93, porozite Çizelge 5.69 ve Şekil 5.94 ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 5.70 ve Şekil 5.95 ve 100 Hz frekansta ölçüm yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Çizelge 5.71 ve Şekil 5.96' de verilmiştir.



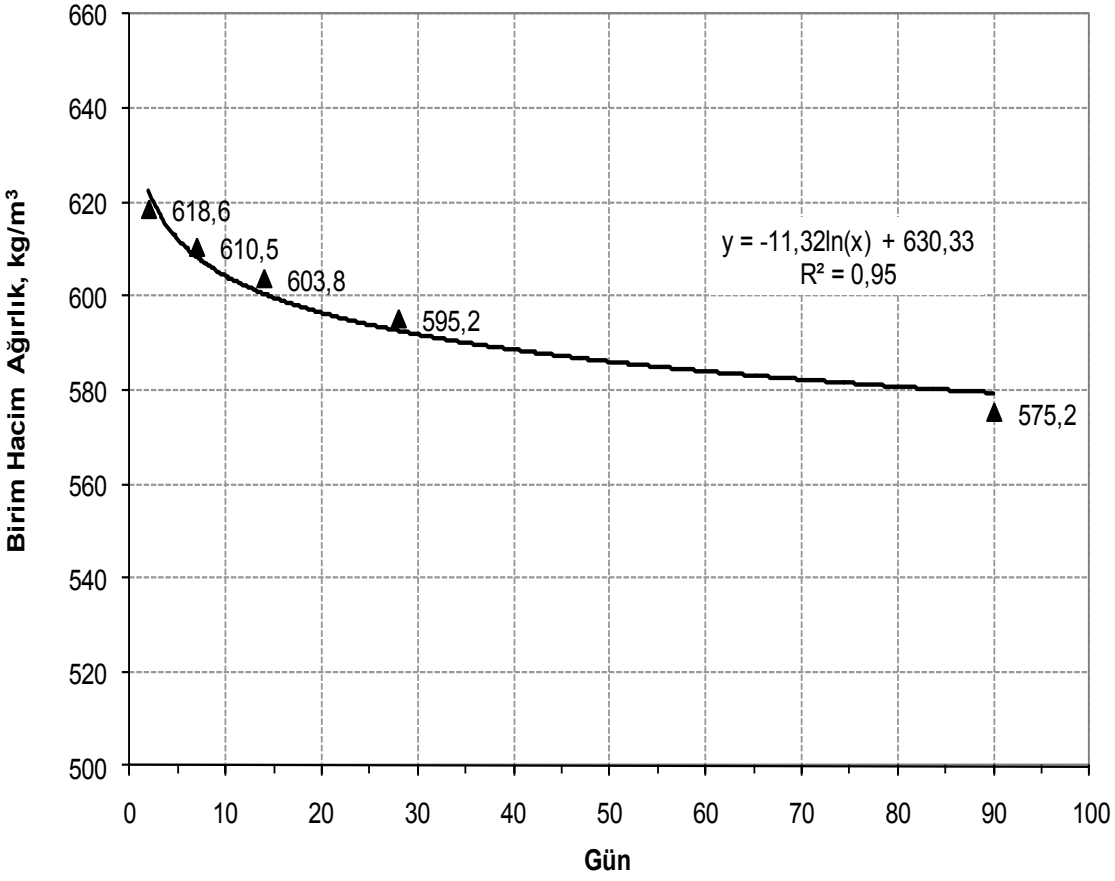
Şekil 5. 87. 100x200x100 mm tuğla üretiminde kullanılan kalıp ve başlık



Şekil 5. 88. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi

Çizelge 5.64. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

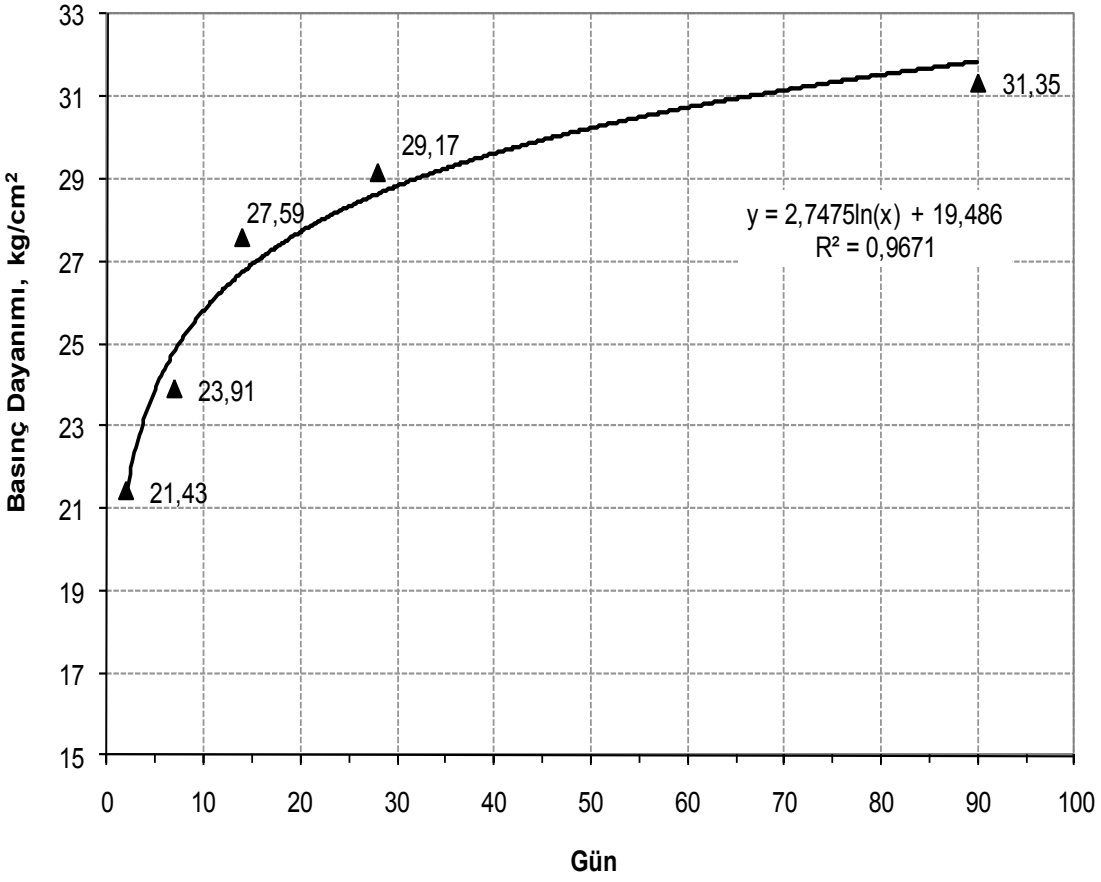
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	612	604	599	590	576
2	609	602	596	588	572
3	624	615	610	603	583
4	667	658	652	645	601
5	592	581	575	567	561
6	585	576	569	559	550
7	645	636	627	618	598
8	619	613	606	595	576
9	589	582	576	568	550
10	644	638	628	619	585
Ortalama	**618,6±28,3**	**610,5±28,6**	**603,8±27,2**	**595,2±25,1**	**575,2±23,4**



Şekil 5.89. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği

Çizelge 5.65. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri (kg/cm^2)

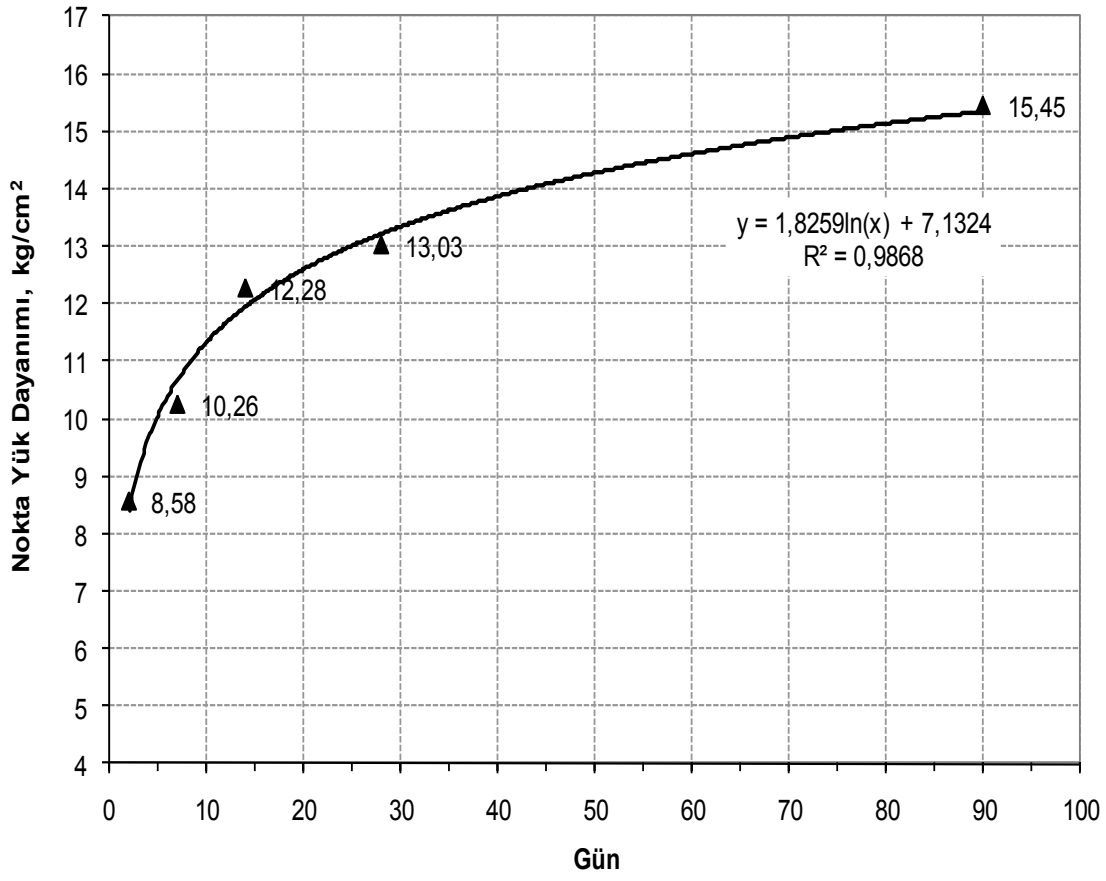
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	20,9	22,7	27,6	30,8	32,3
2	21,3	24,5	29,1	31,3	32,7
3	21,6	23,8	30,4	29,6	30,9
4	20,8	23,4	29,5	30,1	29,9
5	19,5	24,2	26,4	25,4	33,8
6	22,4	24	26,5	27,8	30,5
7	21,8	25,1	27,9	27	29,8
8	22	23,9	25,8	29	29,5
9	22,1	23,5	24,5	29,2	30,7
10	21,9	24	28,2	31,5	33,4
Ortalama	**21,43±0,9**	**23,91±0,5**	**27,59±1,8**	**29,17±1,6**	**31,35±1,9**



Şekil 5.90. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.66. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri (kg/cm^2)

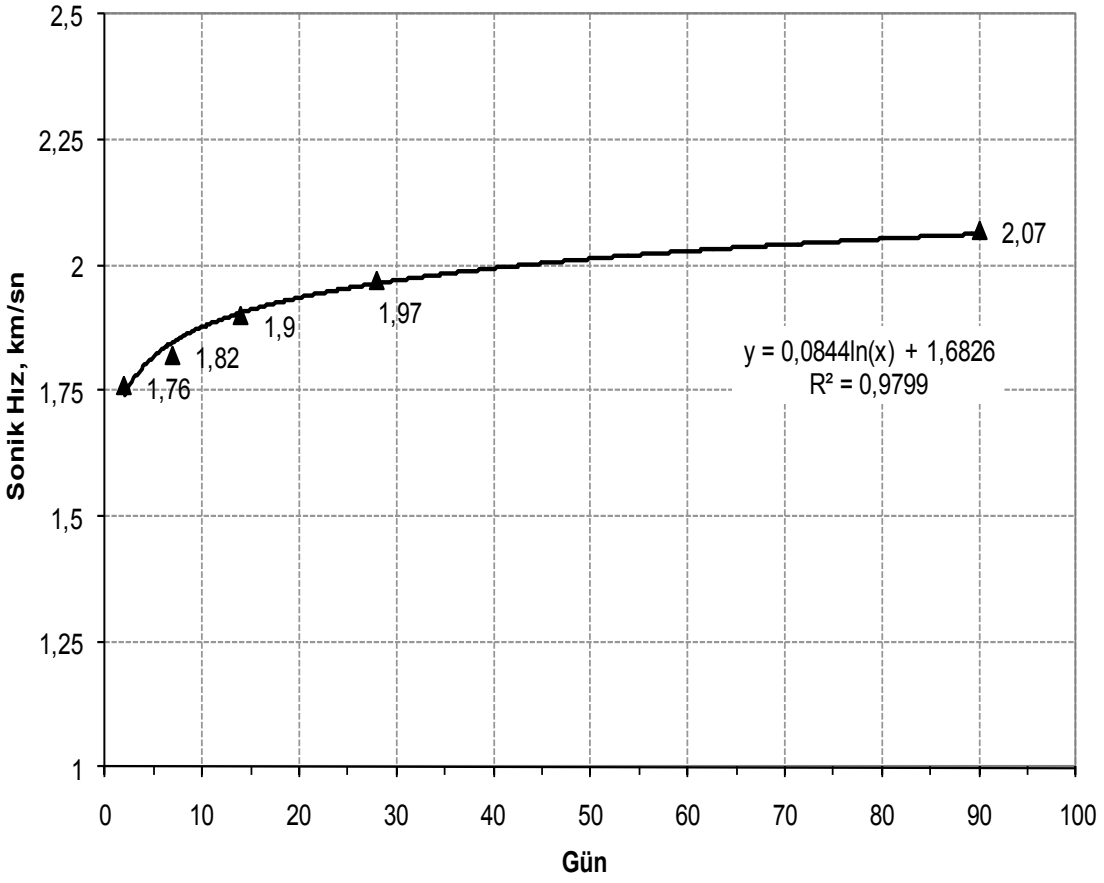
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	10,3	10,3	13,8	14,5	15,2
2	9,2	11,7	11	13,7	16,5
3	7,8	11,2	12,6	13	14,9
4	8,6	9,8	12,5	12,5	15,2
5	7,9	9,9	13,1	14,7	15,5
6	7,5	10	10,6	11,1	14,8
7	8,7	11	12,2	13,4	15
8	9,5	10,7	13,4	12,5	17,2
9	8,4	8,9	11,3	12	14,9
10	7,9	9,1	12,3	12,9	15,3
Ortalama	**8,58±0,7**	**10,26±0,6**	**12,28±0,9**	**13,03±1,1**	**15,45±1,4**



Şekil 5.91. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.67. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri (km/sn)

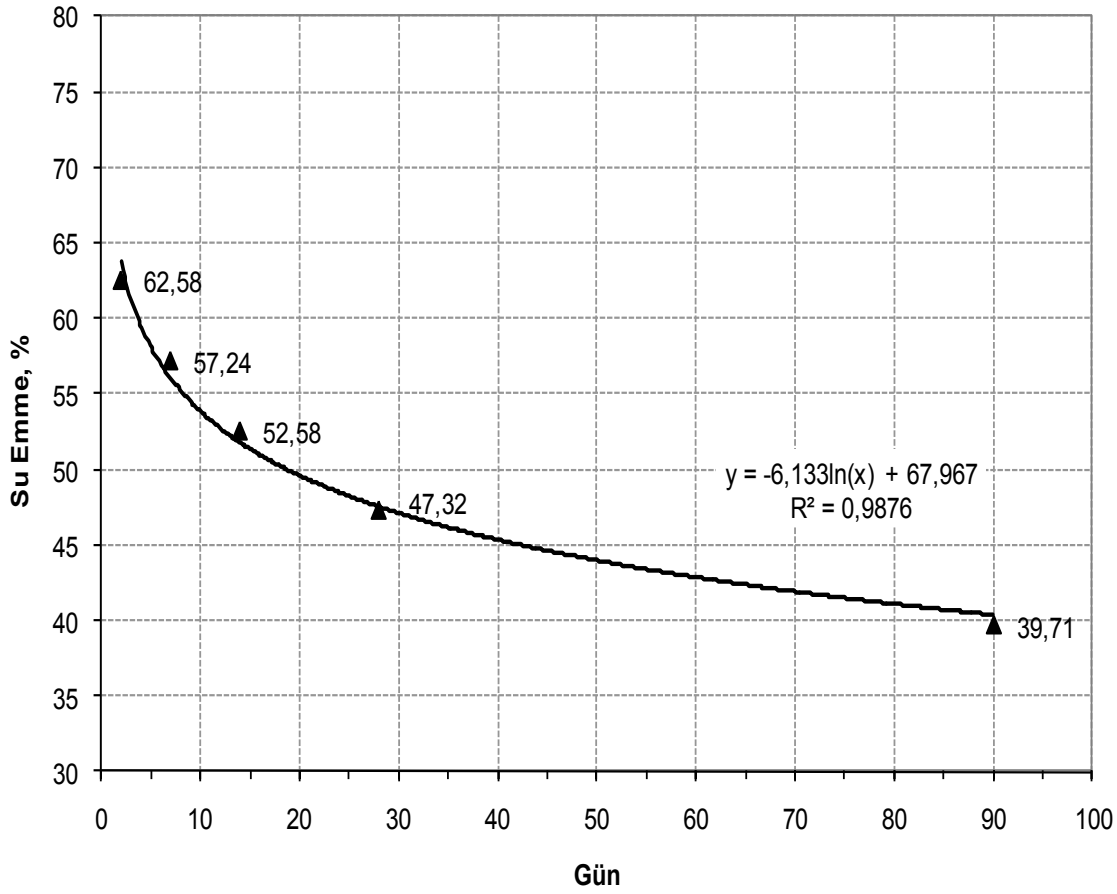
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	1,62	1,65	1,71	1,92	2,05
2	1,81	1,85	1,88	1,99	2,09
3	1,75	1,77	1,79	1,93	2,02
4	1,67	1,7	1,75	1,91	1,99
5	1,85	1,88	1,93	2,03	2,14
6	1,96	1,99	2,02	2,08	2,17
7	1,74	1,77	1,91	2,04	2,15
8	1,78	1,79	1,83	1,98	2,06
9	1,65	1,68	1,74	1,87	1,95
10	1,71	1,77	1,87	1,96	2,01
Ortalama	**1,76±0,08**	**1,79±0,04**	**1,85±0,03**	**1,97±0,05**	**2,07±0,06**



Şekil 5.92. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Çizelge 5.68. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri (%)

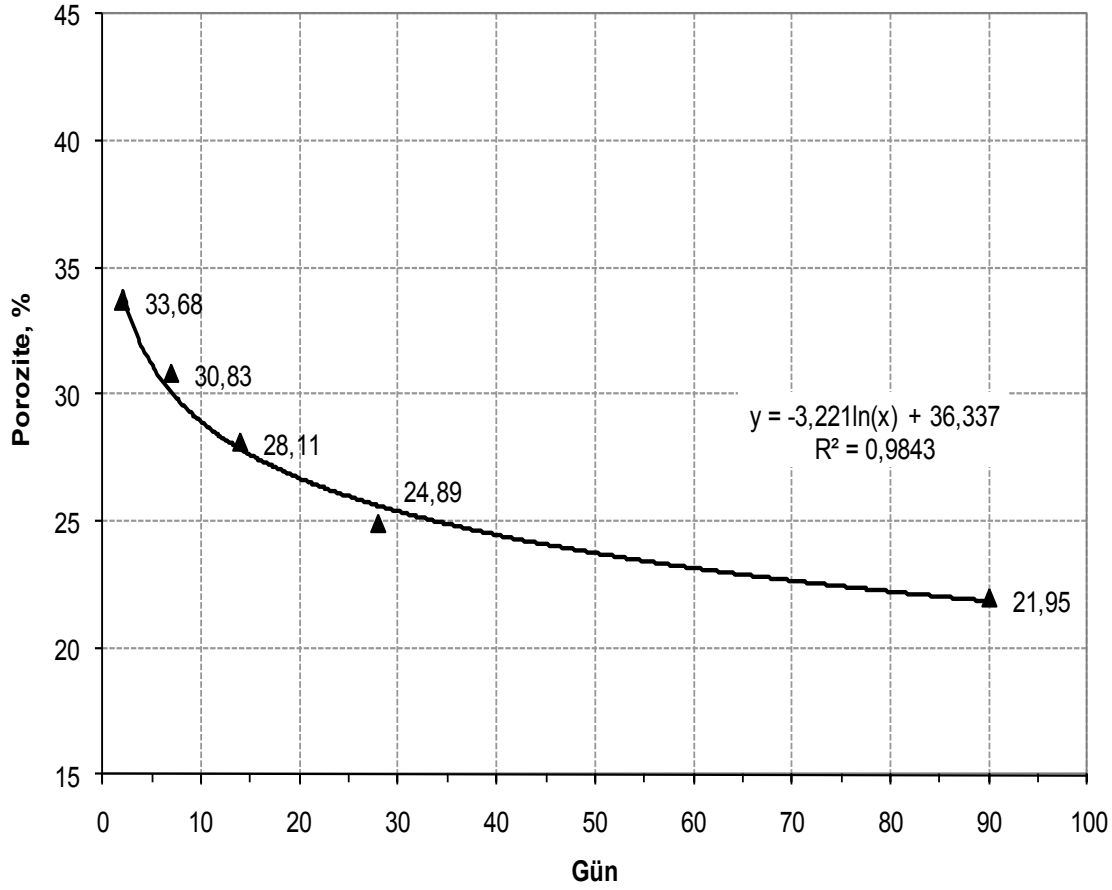
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	62,8	56,2	53,2	49,2	41,2
2	65,2	58	54,1	48,4	39,6
3	64,3	55,4	52,8	47,3	39,8
4	60,7	57,2	51,7	48,2	40,3
5	61,3	59	53,8	46,8	38,5
6	59,6	58,1	54	47,1	40,7
7	58,8	55,3	51,3	46,4	38,6
8	63,3	57,6	52,4	47,2	40,5
9	65,5	58,9	50,5	45,9	37,9
10	64,3	56,7	52	46,5	39,5
Ortalama	**62,58±2,4**	**57,24±1,3**	**52,58±1,3**	**47,32±0,8**	**39,71±0,8**



Şekil 5.93. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği

Çizelge 5.69. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri (%)

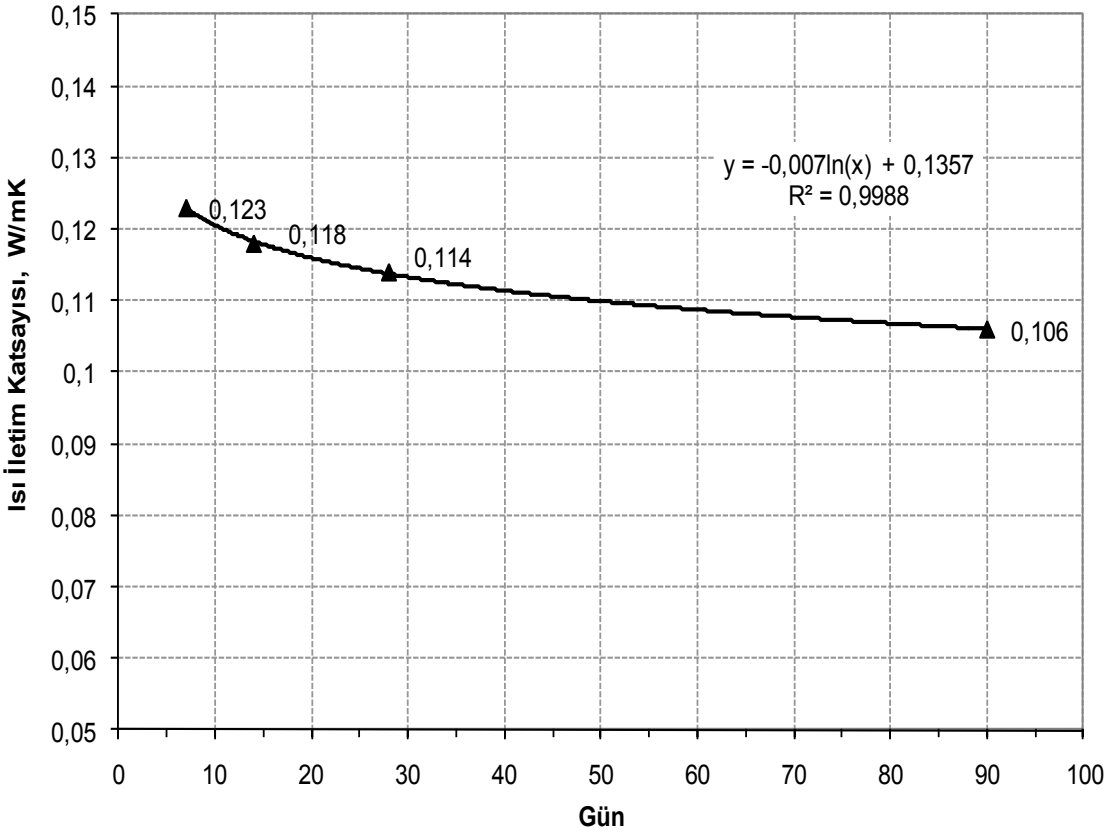
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	38,7	34,5	32	25,7	22,4
2	36,4	33	30,2	25	23,1
3	35	31,7	27,5	27,3	24,5
4	34,5	34,2	27	23,2	20,9
5	33,6	31	26,8	24,4	22,3
6	32,2	28,4	25,6	25,1	21,1
7	30,4	29,1	26,5	24,6	20,8
8	30,9	28,3	25,9	26,2	22,6
9	31	28,6	30,2	24,4	21,7
10	34,1	29,5	29,4	23	20,1
Ortalama	**33,68±2,1**	**30,83±2,3**	**28,11±1,7**	**24,89±1,2**	**21,95±2,1**



Şekil 5.94. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği

Çizelge 5.70. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)

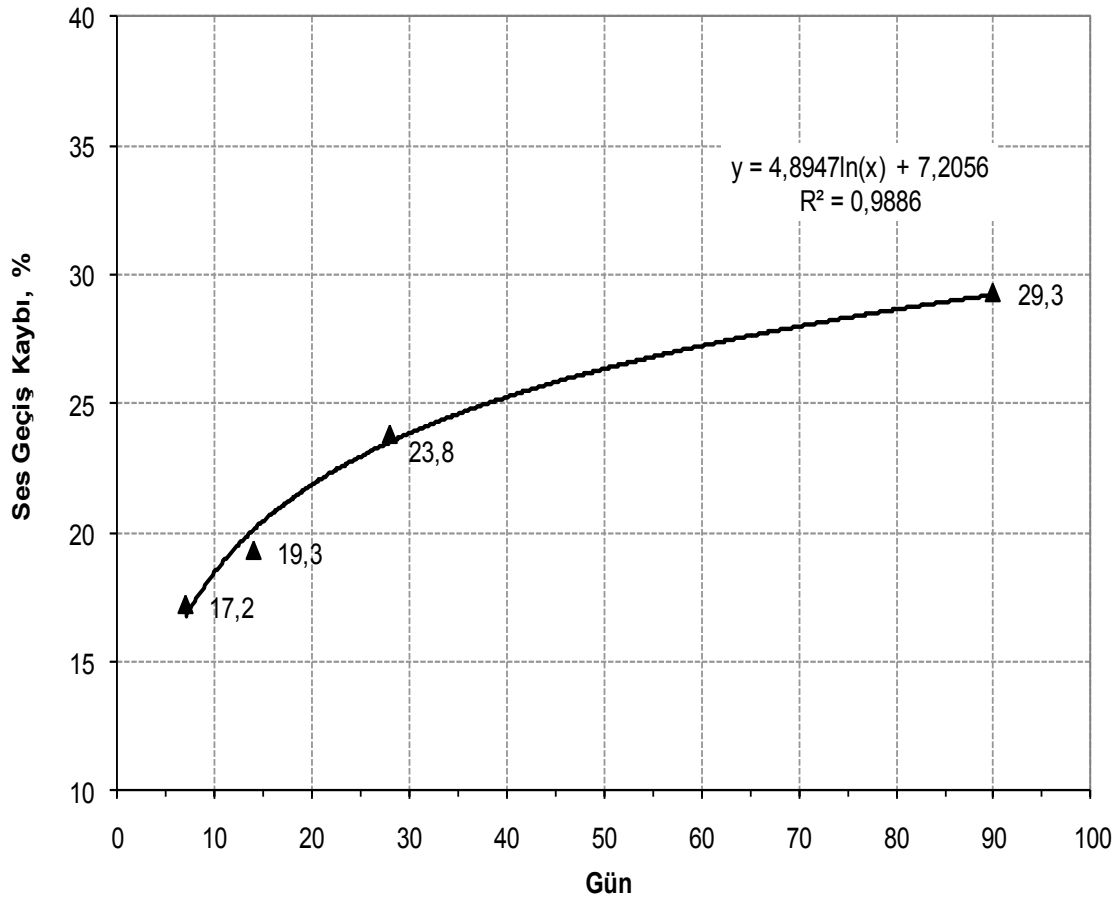
Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	0,121	0,117	0,113	0,105
2	0,124	0,12	0,116	0,107
3	0,123	0,119	0,114	0,107
4	0,12	0,116	0,112	0,106
5	0,117	0,113	0,108	0,101
6	0,126	0,124	0,119	0,1
7	0,121	0,117	0,112	0,105
8	0,119	0,115	0,111	0,104
9	0,127	0,122	0,118	0,111
10	0,125	0,12	0,117	0,109
Ortalama	**0,123±0,004**	**0,118±0,004**	**0,114±0,003**	**0,106±0,002**



Şekil 5.95. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği

Çizelge 5.71. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri (%)

Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	17,9	19,8	22,6	27,9
2	18,6	20	23,3	28,6
3	15,7	18,5	24,1	28,1
4	16	18,3	23,8	27,6
5	19,1	20,9	25,1	32,4
6	18,3	20,4	24,7	31,1
7	17	19,2	23,8	29,2
8	15,9	17,8	22,5	27,8
9	15,6	17,5	22,1	28,5
10	18,5	20,8	25,5	31,8
Ortalama	**17,2±4,2**	**19,3±2,7**	**23,8±4,5**	**29,3±7,9**



Şekil 5.96. 100x200x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği

Deneyler neticesinde 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük 100x200x100 mm boyutunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 618,6±28,3, 610,5±28,6, 603,8±27,2, 595,2±25,1 ve 575,2±23,4 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Tuğlaların zamana bağlı basınç ve nokta yük dayanım değerleri sırasıyla 20,12±1,6, 23,65±3,2, 26,97±4,9, 28,65±1,9, 30,01±2,2 kg/cm^2 ve 8,58±0,7, 10,26±0,6, 12,28±0,9, 13,03±1,1 ve 15,45±1,4 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tuğlaların sonik hız geçiş değerleri 1,76±0,08, 1,79±0,04, 1,85±0,03, 1,97±0,05 ve 2,07±0,06 olarak belirlenmiştir

Tuğlaların zamana bağlı su emme ve porozite değerleri sırasıyla 62,58±2,4, 57,24±1,3, 52,58±1,3, 47,32±0,8 ve 39,71±0,8 (%) ve 33,68±2,1, 30,83±2,3, 28,11±1,7, 24,89±1,2 ve 21,95±2,1 (%) olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak su emme ve porozite değerlerinin giderek azaldığı belirlenmiştir.

Ayni şekilde, tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses yalıtım değerleri, 0,123±0,004, 0,118±0,004, 0,114±0,003, 0,106±0,002 W/mK ve 17,2±4,2, 19,3±2,7, 23,8±4,5 ve 29,3±7,9 (%) olarak tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

5.5.5. 100x250x100 mm Boyutlu Tuğla Üretimi

Bu tuğlalar, TS 406'da belirtilen tanımlamalara uygun olarak üretilmiştir. Perlit agregası, bağlayıcı ve su karışımı kalıplara dökülerek, 50 bar'lık bir basınç altında preslenmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek elde edilmiştir.

Yapı endüstrisinde özellikle büyük ölçekli merkezlerin duvarlarında sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x250x100 (genişlik, boy, yükseklik) mm boyutundaki tuğlaların tasarımı gerçekleştirilmiştir. İnşaat sektöründe bina ağırlığının azalması için düşük birim hacim ağırlık ve yüksek mukavemet değerine sahip yapı malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bu amaçla, üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Tasarlanan tuğlaların nihai üretim esnasında elde edilen ürünler Şekil 5.97'de verilmiştir.



Şekil 5. 97. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların nihai üretilmiş resmi

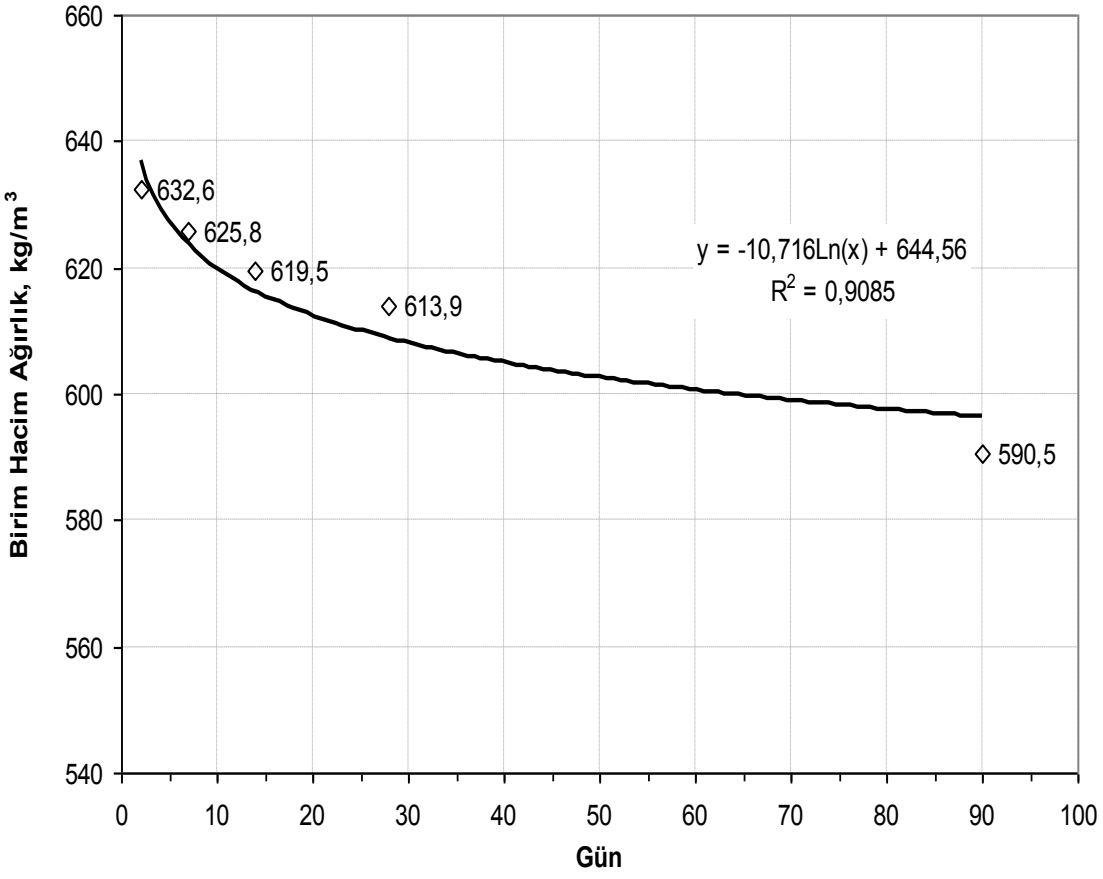
İnşaat sektöründe kullanılan tuğlalar taşıyıcı olmayıp bölme elemanı olarak kullanıldığı için yüksek mukavemet istenmemektedir. Bu amaçla, üretilen tuğlaların basma dayanımı deney sonuçlarının belirlenmesi ve çıkan sonuçların karşılaştırılması oldukça önemlidir.

Nihai tuğlanın, 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük zaman süreleri boyunca kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek SEM ve XRD çekimleri yapılmış, birim hacim ağırlık, tek eksenli basma dayanımı, sonik hız, su emme, porozite, ısı ve ses iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık Çizelge 5.72 ve Şekil 5.98, basınç dayanımı Çizelge 5.73 ve Şekil 5.99, nokta yük dayanımı Çizelge 5.74 ve Şekil 5.100, sonik hız Çizelge 5.75 ve Şekil 5.101, su emme Çizelge 5.76 ve Şekil 5.102, porozite Çizelge 5.77 ve Şekil 5.103 ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 5.78 ve Şekil 5.104 ve 100 Hz frekansta ölçüm yapılan ortalama ses geçiş kayıpları Çizelge 5.79 ve Şekil 5.105'de verilmiştir.

Çizelge 5.72. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

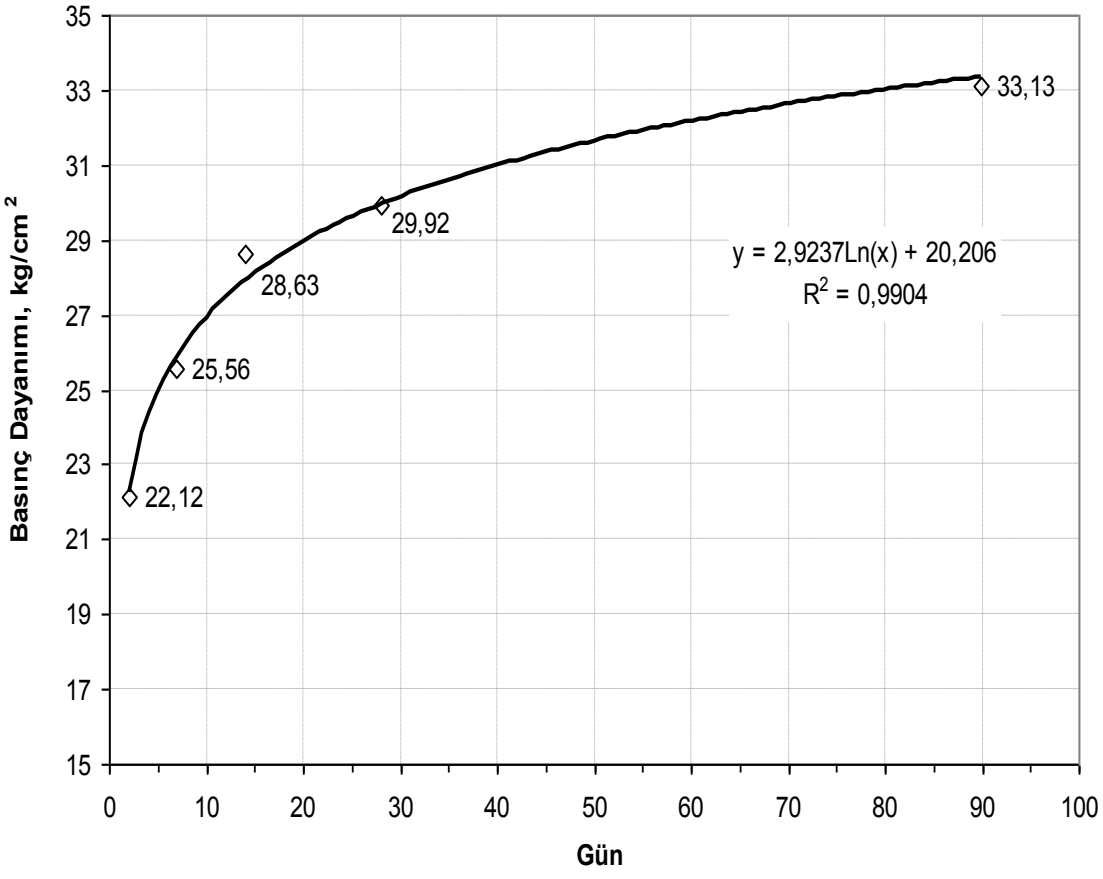
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	670	663	656	649	628
2	658	651	643	638	616
3	643	635	627	622	587
4	608	600	593	588	571
5	625	618	612	606	575
6	632	624	617	611	581
7	613	609	605	601	579
8	645	641	634	628	611
9	620	610	606	599	577
10	612	607	603	597	580
Ortalama	**632,6±16,1**	**625,8±16,5**	**619,5±15,3**	**613,9±14,9**	**590,5±16,3**



Şekil 5.98. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değişim grafiği

Çizelge 5.73. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değerleri (kg/cm^2)

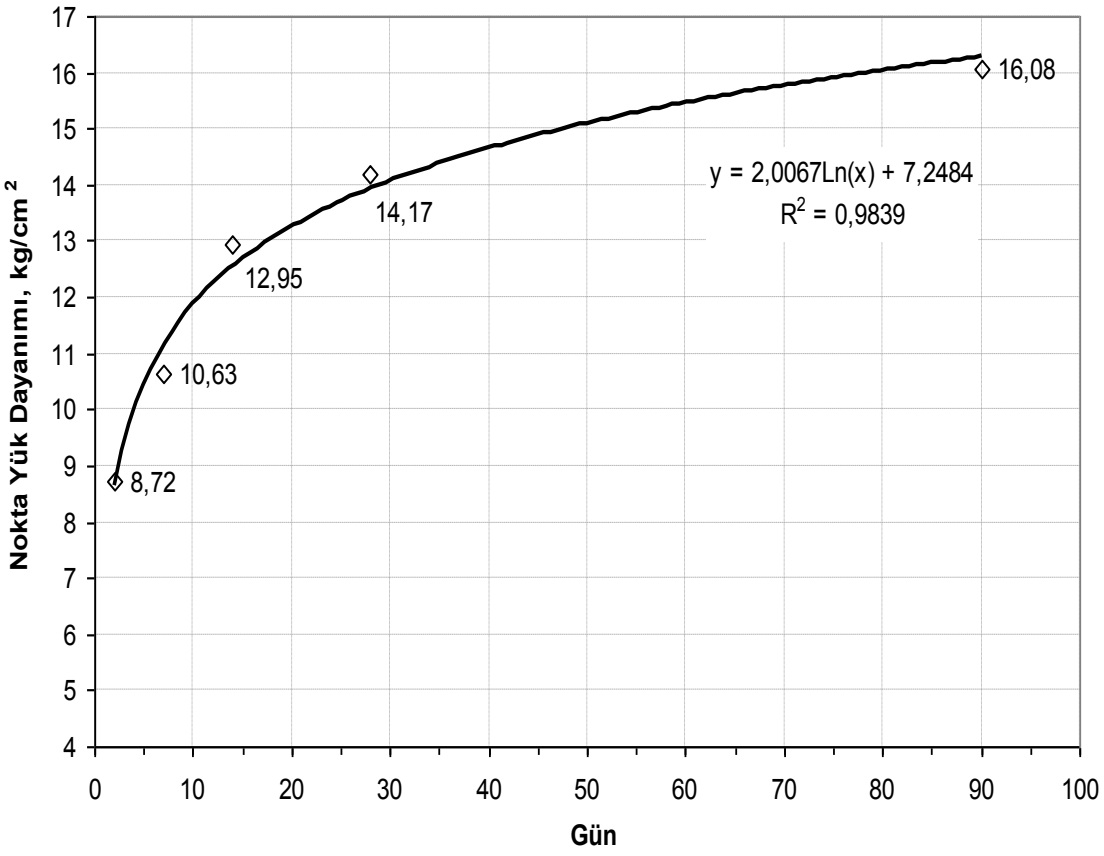
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	21,4	24,8	29,5	31,3	33,4
2	21,5	25	28,1	31,1	33,7
3	22,6	23,7	26,8	30,8	30,8
4	23,2	24,1	27,5	30,4	31,5
5	20,9	25,3	27,9	29,6	35,7
6	22,8	25,2	30,4	29,5	34,5
7	23	24	30,2	27,5	31,2
8	20,5	23,5	28,8	30	33,8
9	22	22,7	28	30,2	34,9
10	23,3	24,3	29,1	28,8	31,8
Ortalama	**22,12±1,0**	**24,26±0,7**	**28,63±1,2**	**29,92±1,1**	**33,13±1,2**



Şekil 5.99. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı basınç dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.74. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değerleri (kg/cm^2)

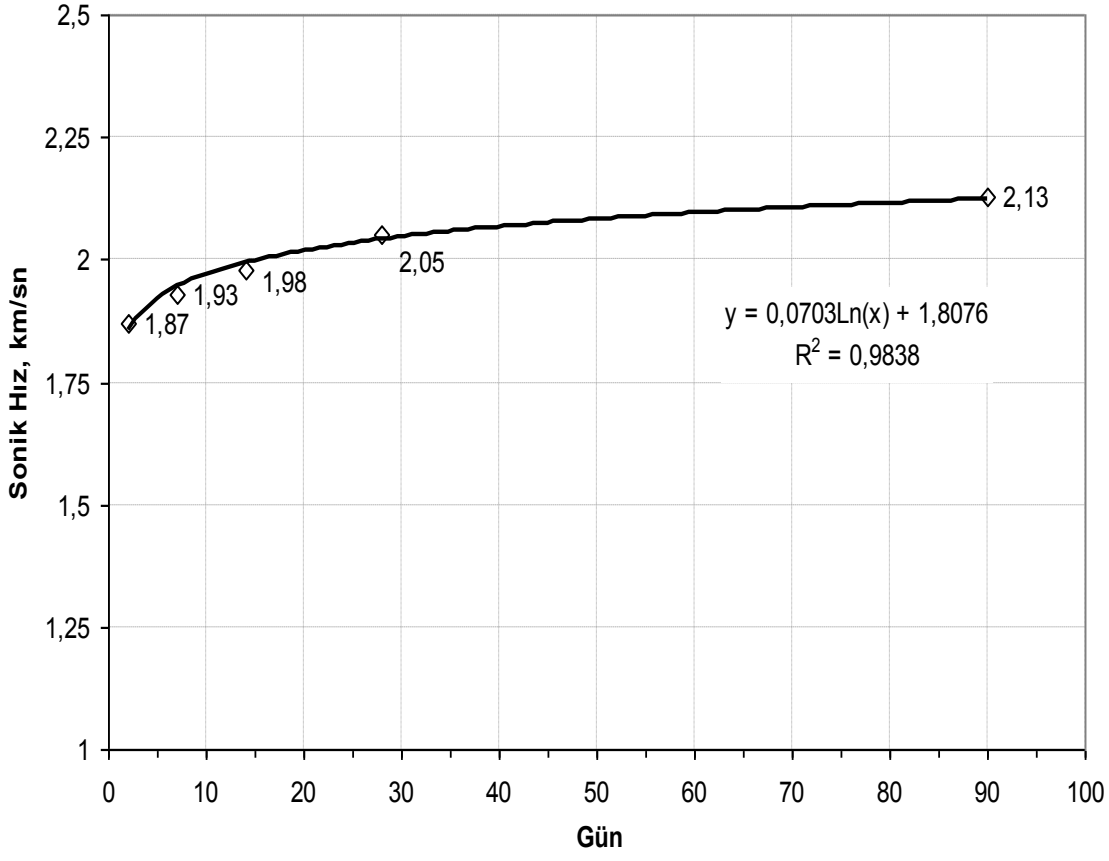
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	9,5	11,5	13,8	15,3	15,7
2	9,8	11,8	13	14,8	14,8
3	8,4	12,2	14,2	14	17,9
4	8	10,6	14,5	13,5	16,3
5	8,9	10	11,3	12,9	14,9
6	7,9	9,6	11	15,1	17
7	9	11	10,5	14,3	14,1
8	9,4	9,9	13,1	11,2	16,2
9	8,5	9,5	14	10,6	17,5
10	7,8	10,2	14,1	13	16,4
Ortalama	**8,72±0,6**	**10,63±0,9**	**12,95±1,5**	**13,47±1,6**	**16,08±2,2**



Şekil 5.100. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanımı değişim grafiği

Çizelge 5.75. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı sonik hız değerleri (km/sn)

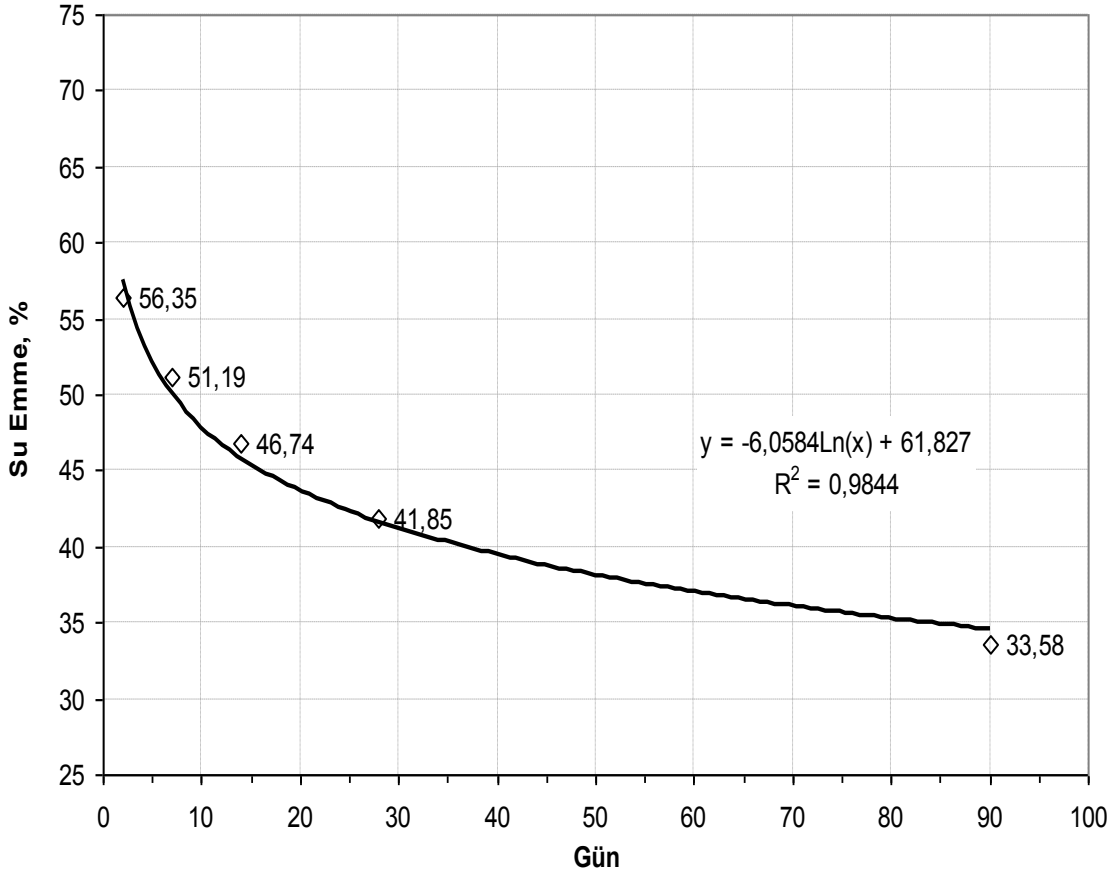
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	1,84	1,89	1,94	2,02	2,1
2	1,78	1,85	1,9	1,96	2,05
3	1,82	1,87	1,92	1,98	2,04
4	1,88	1,94	1,99	2,05	2,13
5	1,91	1,96	2	2,07	2,15
6	1,96	2,02	2,07	2,13	2,2
7	1,98	2,05	2,11	2,18	2,26
8	1,81	1,86	1,93	2	2,09
9	1,99	2,06	2,13	2,18	2,27
10	1,75	1,81	1,88	1,95	2,02
Ortalama	**1,87±0,08**	**1,93±0,04**	**1,98±0,09**	**2,05±0,06**	**2,13±0,07**



Şekil 5.101. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı sonik hız değişim grafiği

Çizelge 5.76. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı su emme değerleri (%)

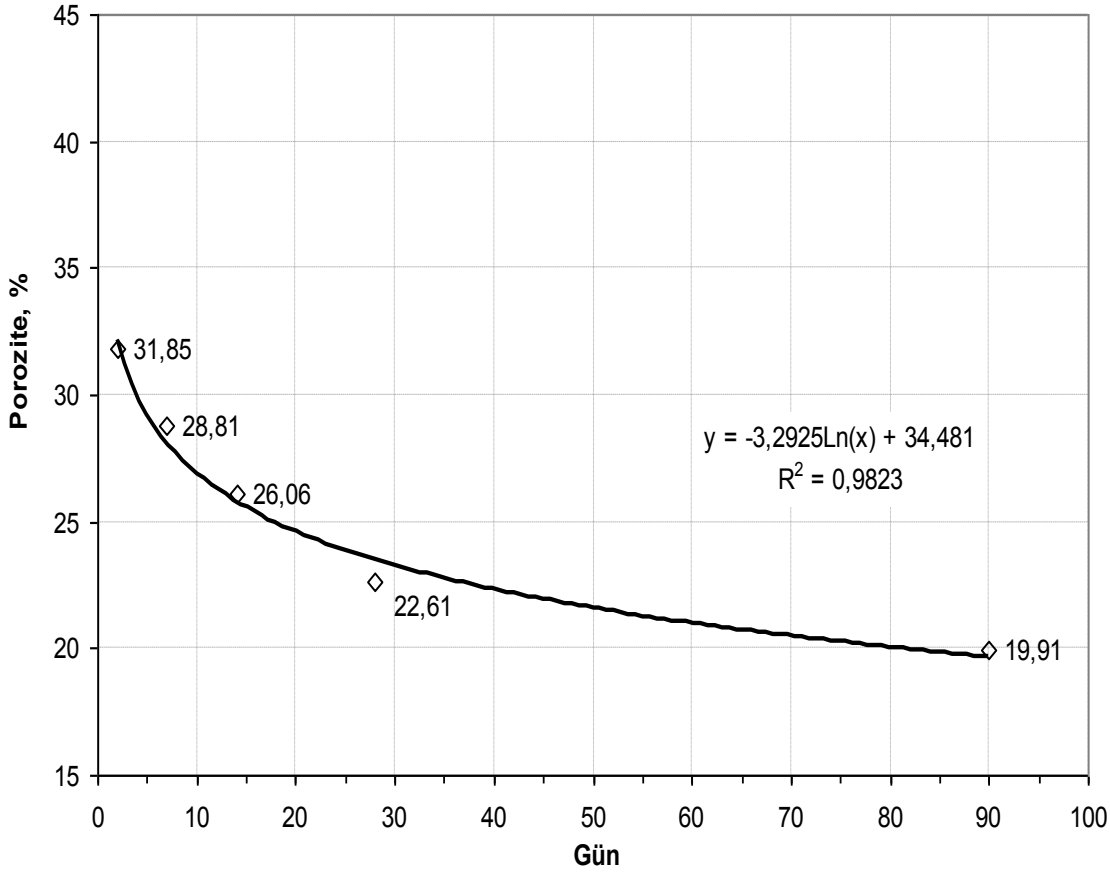
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	58,5	50,8	42,3	40,4	31,7
2	55,4	55,7	52,7	41,2	34,6
3	56,2	54,3	49,5	45,9	33,5
4	60	50,1	48,2	45,5	36,9
5	53,2	50,9	45,1	38,8	34,3
6	50,8	49,3	50,6	45,1	35,2
7	60,9	50,1	43,9	37,7	32
8	58,7	45,5	45,2	44	33,3
9	59,6	56,4	45	38,6	31,9
10	49,2	48,8	44,9	41,3	32,4
Ortalama	**56,35±3,3**	**51,19±3,5**	**46,74±2,9**	**41,85±3,2**	**33,58±3,0**



Şekil 5.102. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı su emme değişim grafiği

Çizelge 5.77. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı porozite değerleri (%)

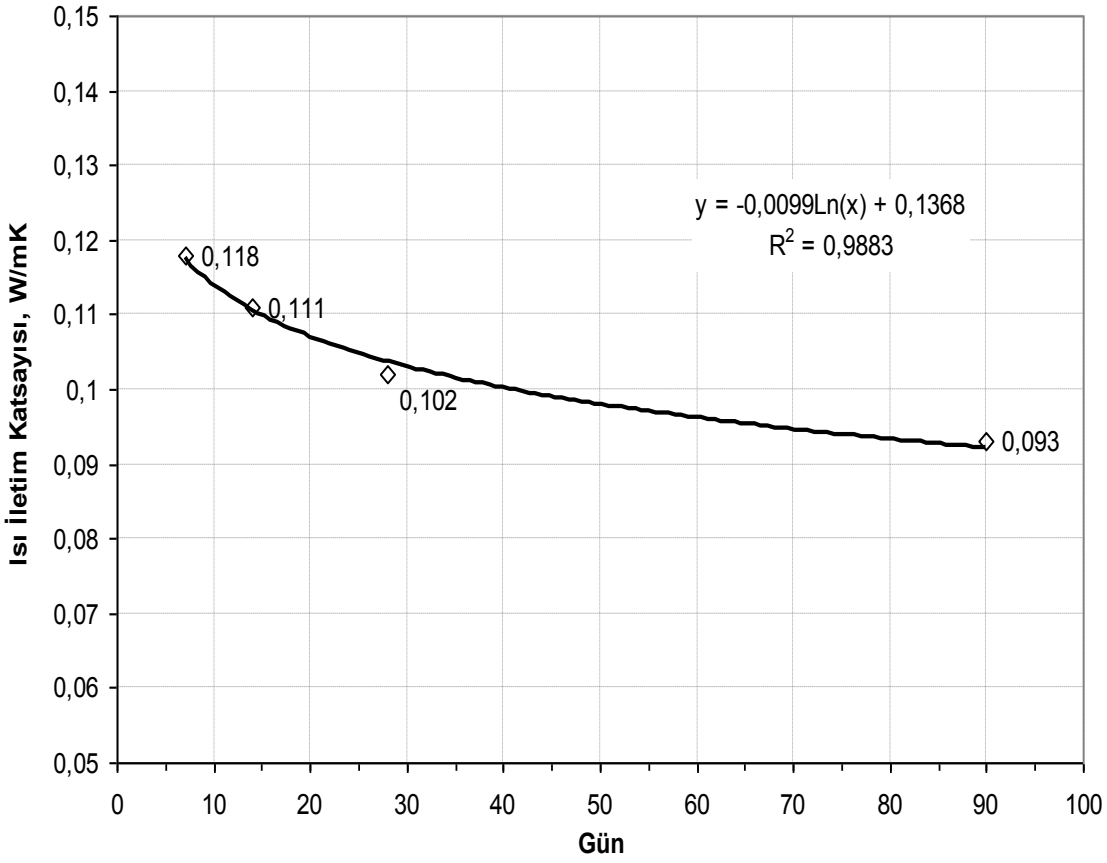
Numune No	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	35,6	31,3	28,6	25,2	20,2
2	32	28,7	26	23,8	20,8
3	30,1	27,6	25,8	21,4	18,7
4	34,5	30,6	27,1	23,8	21,6
5	29,6	27,5	25,8	22,7	19,4
6	28,6	26,4	23,9	20,5	18,2
7	35,8	31,8	27,6	22,8	19,5
8	31,2	28,4	25,7	22,1	19,9
9	33,2	30	27,1	24	21,6
10	27,9	25,8	23	19,8	19,1
Ortalama	**31,85±2,3**	**28,81±1,7**	**26,06±1,1**	**22,61±1,7**	**19,91±1,5**



Şekil 5.103. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı porozite değişim grafiği

Çizelge 5.78. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değerleri (W/mK)

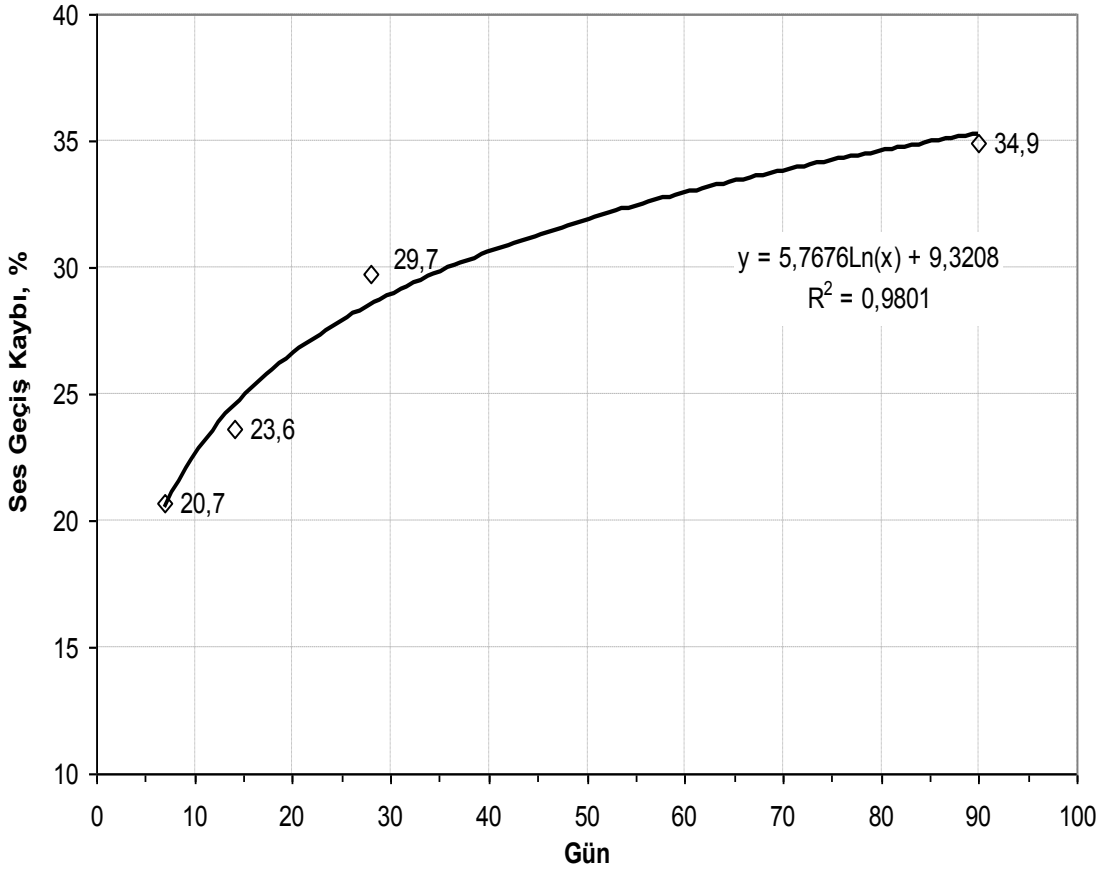
Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	0,119	0,112	0,103	0,091
2	0,117	0,109	0,101	0,093
3	0,113	0,106	0,099	0,089
4	0,115	0,107	0,097	0,087
5	0,121	0,114	0,106	0,098
6	0,117	0,111	0,101	0,092
7	0,122	0,117	0,106	0,1
8	0,118	0,112	0,104	0,095
9	0,12	0,113	0,096	0,088
10	0,115	0,108	0,101	0,094
Ortalama	**0,118±0,003**	**0,111±0,004**	**0,102±0,004**	**0,093±0,005**



Şekil 5.104. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayısı değişim grafiği

Çizelge 5.79. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerleri (%)

Numune No	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
1	19,5	22,8	29,4	34,7
2	20,7	23,1	29,5	35,1
3	20	22,9	30,1	36
4	18,5	24	29,3	34,5
5	22,4	24,3	30,4	34,9
6	22,1	24,7	30,1	35,8
7	21,9	23,6	28,5	33,6
8	19,8	23,1	29,2	34,3
9	22,5	25,2	31,1	36,2
10	19,4	23,5	29,3	34,4
Ortalama	**20,7±2,9**	**23,6±3,3**	**29,7±8,4**	**34,9±9,2**



Şekil 5.105. 100x250x100 mm tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değişim grafiği

Deneyler neticesinde 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük 100x250x100 mm boyutunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 618,6±28,3, 610,5±28,6, 603,8±27,2, 595,2±25,1 ve 575,2±23,4 kg/m^3 olarak bulunmuştur.

Tuğlaların zamana bağlı basınç ve nokta yük dayanım değerleri sırasıyla 21,43±0,9, 27,59±1,8, 23,91±0,5, 29,17±1,6, 31,35±1,9 kg/cm^2 ve 8,72±0,6, 10,63±0,9, 12,95±1,5, 13,47±1,6 ve 16,08±2,2 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Yapı malzemesinin sonik hız geçiş değerleri 1,87±0,08, 1,93±0,04, 1,98±0,09, 2,05±0,06 ve 2,13±0,07 olarak tespit edilmiştir.

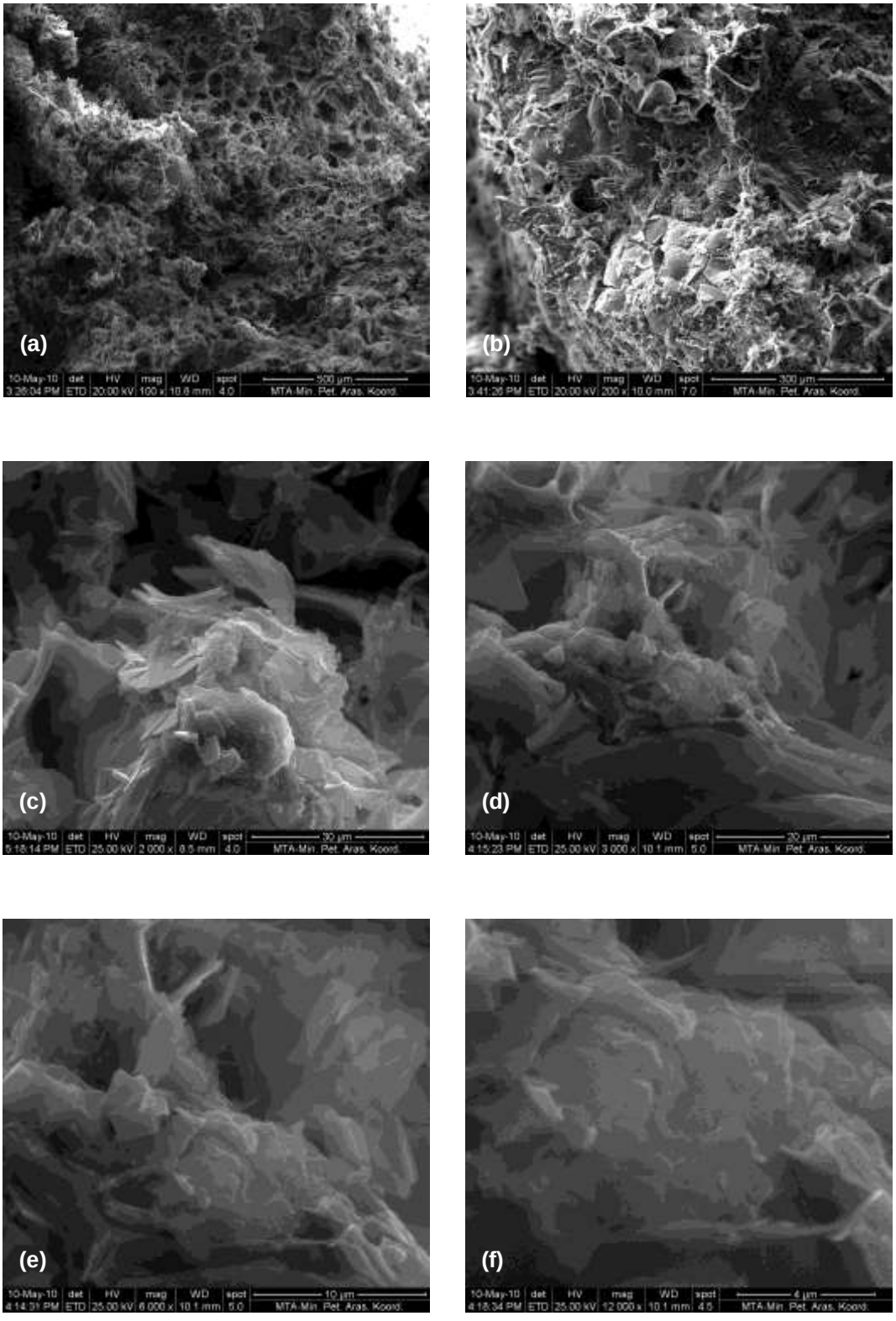
Tuğlaların zamana bağlı su emme ve porozite değerleri sırasıyla 56,35±3,3, 51,19±3,5, 46,74±2,9, 41,85±3,2 ve 33,58±3,0 (%) ve 31,85±2,3, 28,81±1,7, 26,06±1,1, 22,61±1,7 ve 19,91±1,5 (%) olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak su emme ve porozite değerlerinin giderek azaldığı belirlenmiştir.

Aynı şekilde, tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses yalıtım değerleri, 0,118±0,003, 0,111±0,004, 0,102±0,004, 0,093±0,005 W/mK ve 20,7±2,9, 23,6±3,3, 29,7±8,4 ve 34,9±9,2 (%) olarak tespit edilmiştir. Değerler incelendiğinde, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

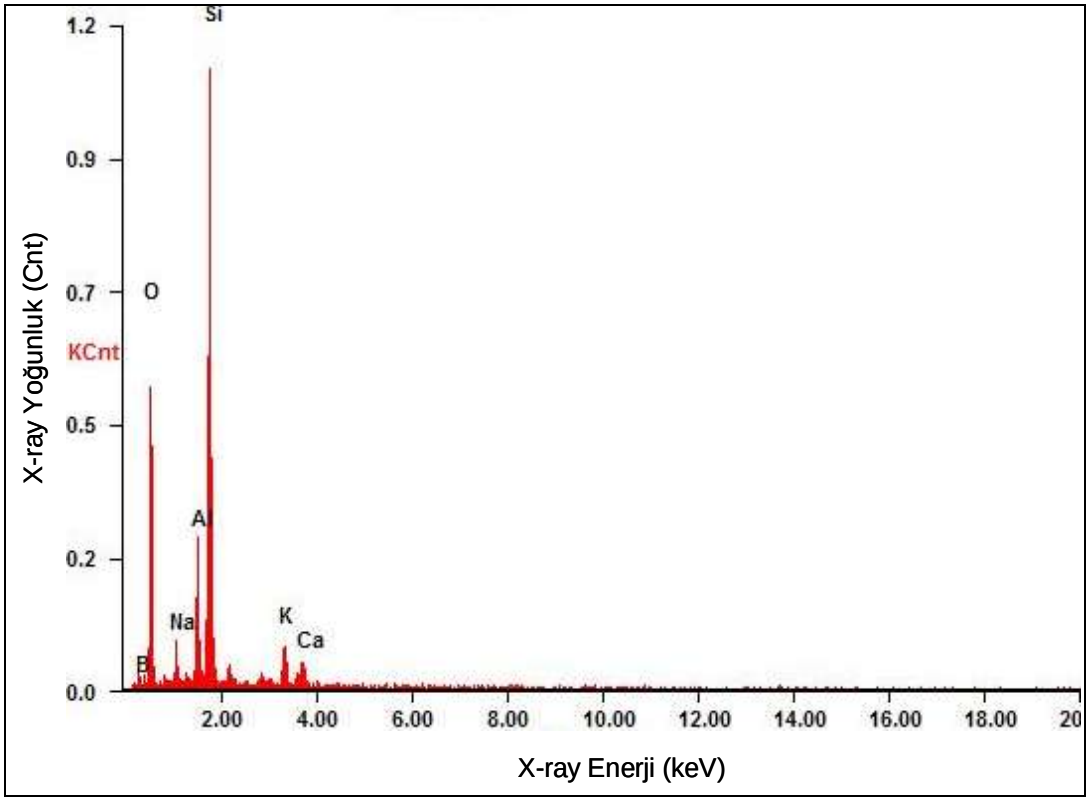
5.5.6. Nihai Tuğlanın Minerolojik ve Termal Analizleri

Termal analizler yüksek mukavemet ve ideal birim hacim ağırlık değerini veren ve 400°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri incelendiğinde, bağlayıcı olarak kullanılan minerallerin perlit taneleri arasında bağlanarak mukavemet artışı sağladığı görülmektedir (Şekil 5.106).

Nihai tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında, bağlayıcı olarak kullanılan minerallerin EDS analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; B (%15,16), Si (%14,1), O (%47,55), Fe (%7,25), Al (%8,62), Na (%1,29), Mg (%5.01), K(0,71) elementlerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 5.107). 400°C pişme sıcaklığında üretilen tuğlalar üzerinde mineralojik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan XRD deneyleri ile tuğla bünyesinde bulunan minerallerin değişimi belirlenmiştir.



Şekil 5.106. Nihai Tuğlanın 400°C pişme sıcaklığında çekilen SEM görüntüleri (a;0,5mm, b;0,3mm, c;0,03mm, d;0,02mm, e;0,01mm, f;0,004mm

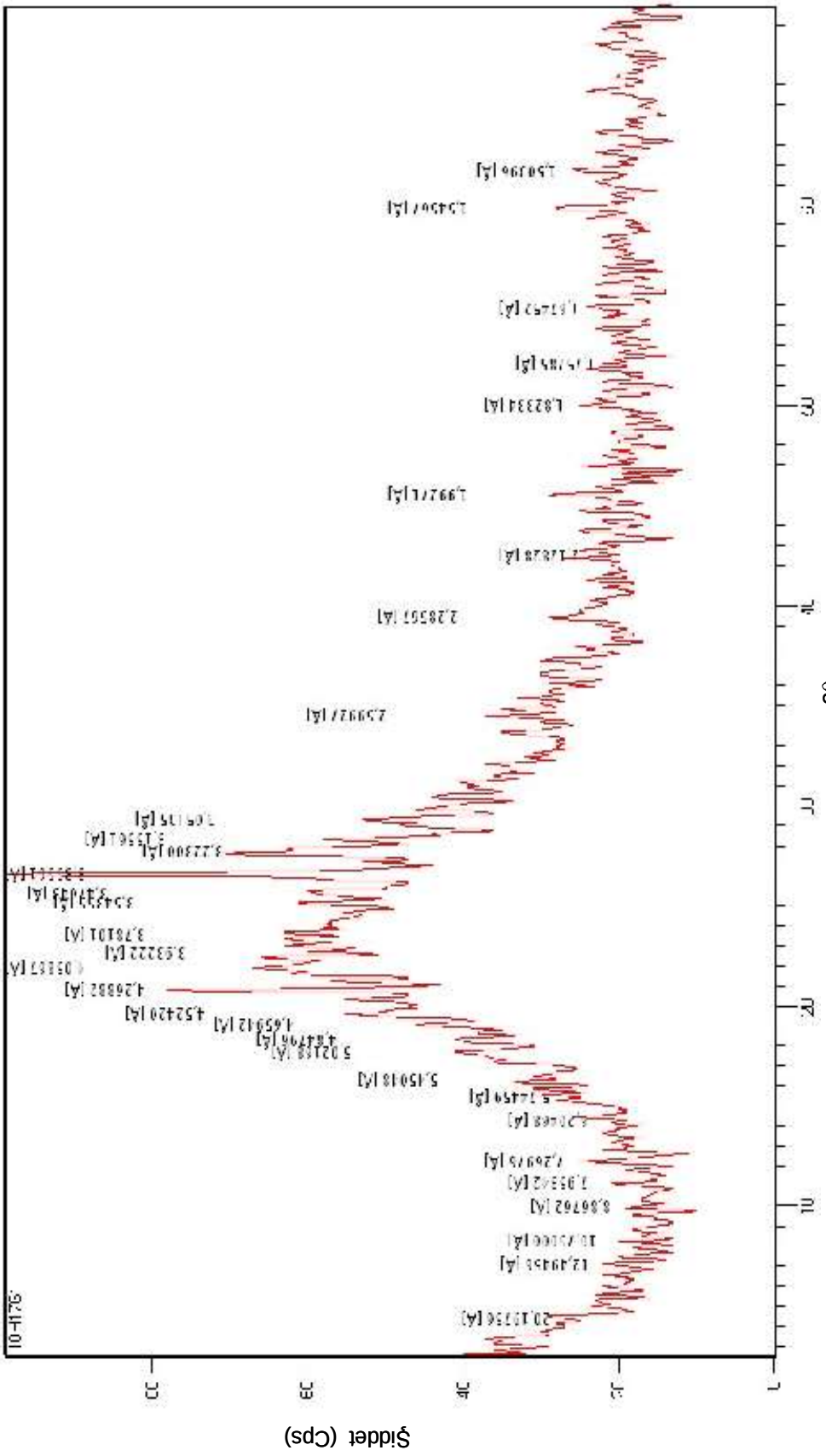


Şekil 5.107. Nihai tuğlanın 400°C pişme sıcaklığında EDS analizi

400°C pişme sıcaklığında üretilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analiz sonuçları incelendiğinde; tuğla bünyesinde kuvars, feldispat gurubu mineral, amorf malzeme, opal, kolemanit ve çok az (hematit, zeolit, kalsit, klorit, karışık tabakalı kil, talk, kaolinit, illit ve mika gurubu) minerallerinin varlığı tespit edilmiştir.

Mineralojik incelemelerde, nihai tuğla bünyesinde kullanılan minerallerin çekilen XRD piklerinin, kontrol numunesinin çekilen XRD piklerine göre hareketlendiği görülmüştür (Şekil 5.108).

Doğal bağlayıcı olarak kullanılan minerallerin (kolemanit ve simektit) XRD çekimlerinde görülen pik şiddeti azalmaları, tuğlanın 400°C sıcaklıkta pişirilmesi esnasında tabakalar arası su ve hidroksil bağlarının yıkımından kaynaklanmaktadır. Bu durumun, fiziksel olarak tuğlaların basınç dayanımının artmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.108. Nihai tuğlalara ait X-ray difraktometre analiz sonuçları

5.5.7. Farklı Boyutta Üretilen Tuğlaların Karşılaştırılması

Çalışmalar sonunda farklı boyutlarda (50x100x100 mm, 100x150x100 mm, 100x200x100 mm ve 100x250x100 mm) nihai perlit tuğlaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, farklı boyutlarda üretilen nihai tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve her bir boyut aralığında yüksek mukavemet ve düşük birim hacim ağırlık değerini veren aralık tespit edilmiştir. Ayrıca, tuğlaların fizikomekanik özeliklerinin tespiti TS 406 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanması için grafikler oluşturulmuştur. Üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.80-81 ve Şekil 5.109-110' da verilmiştir.

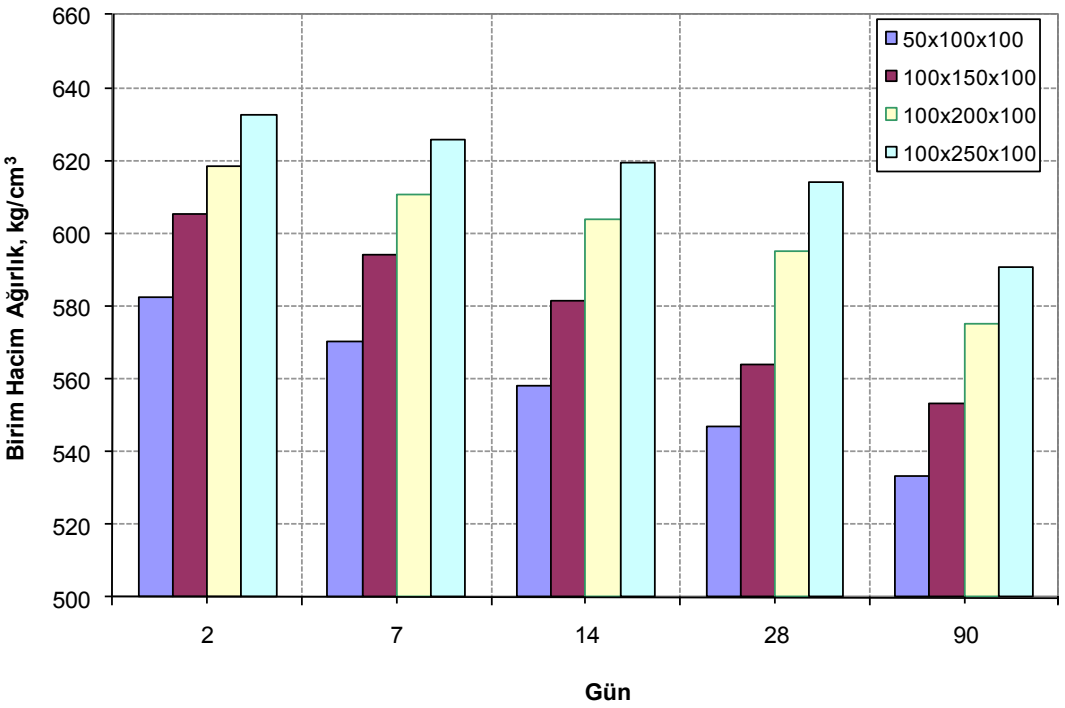
Çalışmalar sonunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri kıyaslandığında; boyut büyüdükçe tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı ve zamanla değerlerin orantılı olarak artmaya devam ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı boyutta üretilen tüm tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin TS standartlarının altında (1600 kg/m^3) değerlerde olduğu görülmüştür.

Bekleme süresi (90 gün) sonunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar en düşük birim hacim ağırlık değeri 533,2 kg/m^3 elde edilmiştir. Ayni zaman dilimi içersinde 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en yüksek birim hacim ağırlık değerini (590,5 kg/m^3) verirken, 100x200x100 mm' lik tuğlalar uygun değerler (575,2 kg/m^3) sağlamıştır.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ağırlık değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %7,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.80. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması (kg/m^3)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	582,5	570,4	558,1	546,9	533,2
100x150x100	605,4	594	581,3	564,1	553,2
100x200x100	618,6	610,5	603,8	595,2	575,2
100x250x100	632,6	625,8	619,5	613,9	590,5



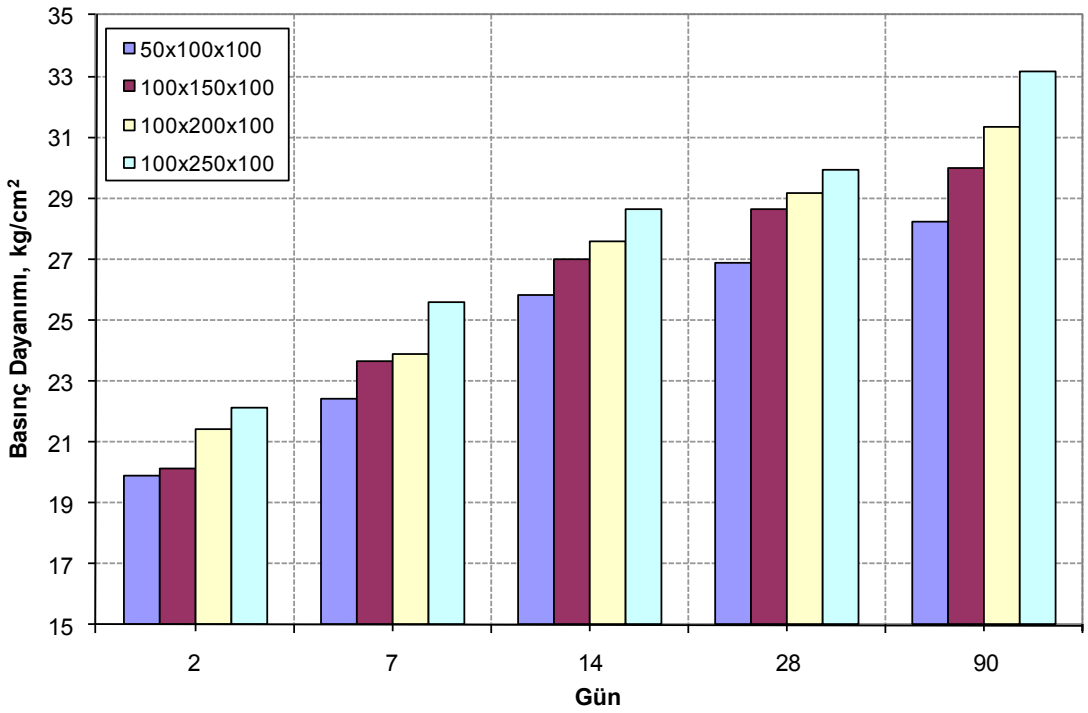
Şekil 5.109. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-birim hacim ağırlık değişim grafiği

Farklı boyut ve şekilde üretilen tuğlalarda boyut büyüdükçe basınç dayanım değerlerinin arttığı ve zamanla değerlerin orantılı olarak artmaya devam ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı boyutta üretilen tüm tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin TS standartlarına (17 kg/cm^2) uygun değerlerde olduğu görülmüştür.

Bekleme süresi (90 gün) sonunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar en düşük mukavemet değerini (28,2 kg/cm^2) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en yüksek mukavemet değerini (33,13 kg/cm^2) sağlamaktadır. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ağırlık değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %46,9 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.81. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması (kg/cm^2)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	19,9	22,4	25,8	26,9	28,2
100x150x100	20,12	23,65	26,97	28,65	30,01
100x200x100	21,43	23,91	27,59	29,17	31,35
100x250x100	22,12	25,56	28,63	29,92	33,13



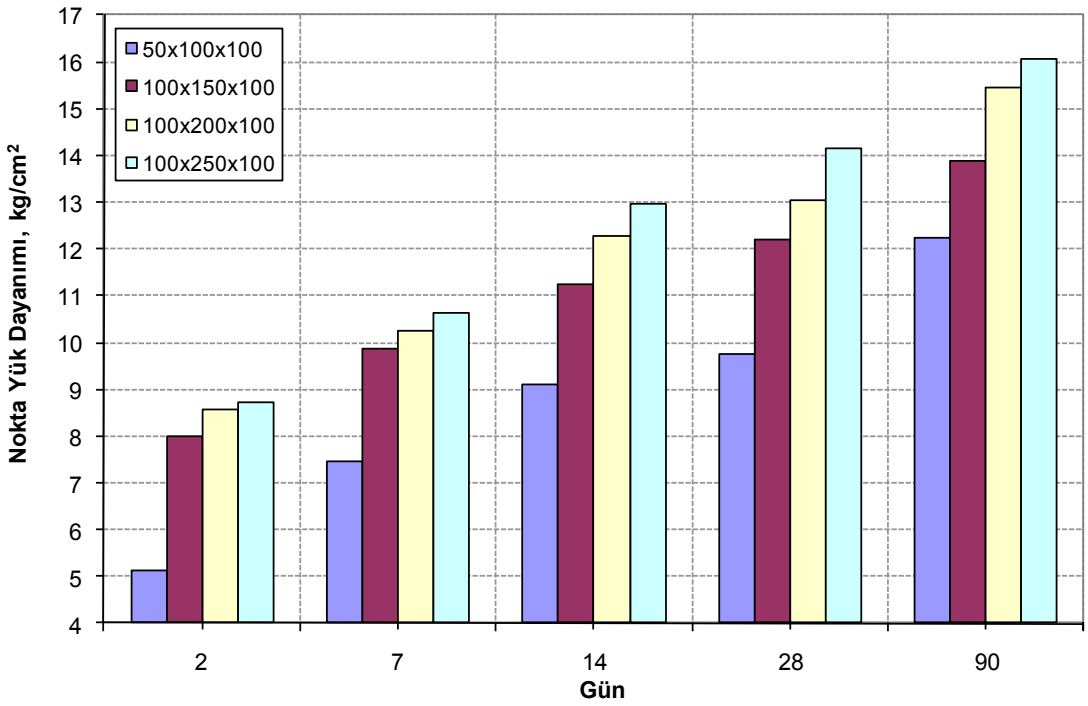
Şekil 5.110. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-basınç dayanımı değişim grafiği

Farklı ebatta üretilen tuğlaların nokta yük dayanımı ve sonik hız geçiş değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe nokta yük dayanım ve sonik hız geçiş değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Üretilen tuğlaların nokta yük ve sonik hız deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.82-83 ve Şekil 5.111-112' de verilmiştir

Bekleme süresi (90 gün) sonunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar en düşük yük dayanım değerini (12,24 kg/cm^2) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en yüksek dayanım değerini (16,08 kg/cm^2) sağlamaktadır. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen yük dayanım değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %89,4 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.82. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı nokta yük dayanım değerlerinin karşılaştırılması (kg/cm^2)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	5,14	7,47	9,11	9,74	12,24
100x150x100	7,99	9,85	11,26	12,22	13,9
100x200x100	8,58	10,26	12,28	13,03	15,45
100x250x100	8,72	10,63	12,95	14,17	16,08



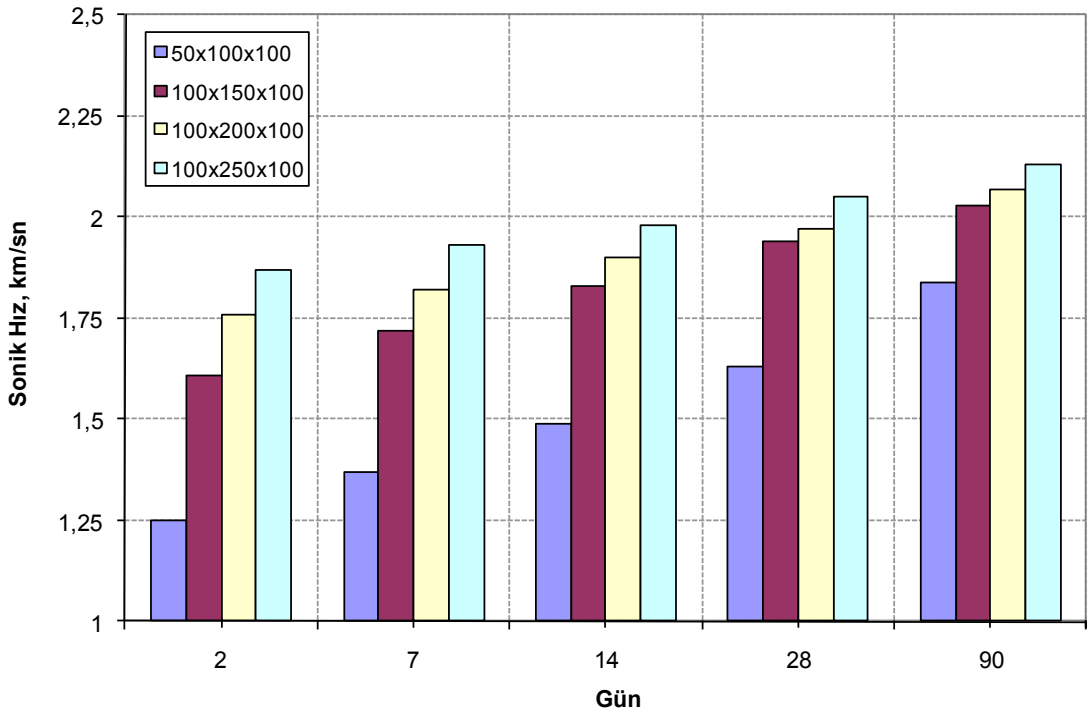
Şekil 5.111. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-nokta yük değişim grafiği

Tuğlaların sonik hız deney sonuçları 90 gün sonunda incelendiğinde; 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar en düşük sonik hız geçiş değerini (1,84 km/sn) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en yüksek sonik hız değerini (2,13 km/sn) sağlamaktadır. 100x150x100 ve 100x200x100 mm boyutunda üretilmiş tuğlaların geçiş değerleri birbirine yakın bulunmuştur.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen hız geçiş değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %55,3 oranında arttığı tespit edilmiştir. 7-14-28 gün bekleme sonunda elde edilen deney sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.83. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı sonik hız geçiş değerlerinin karşılaştırılması (km/sn)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	1,25	1,37	1,49	1,63	1,84
100x150x100	1,61	1,72	1,83	1,94	2,03
100x200x100	1,76	1,82	1,9	1,97	2,07
100x250x100	1,87	1,93	1,98	2,05	2,13



Şekil 5.112. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-sonik hız değişim grafiği

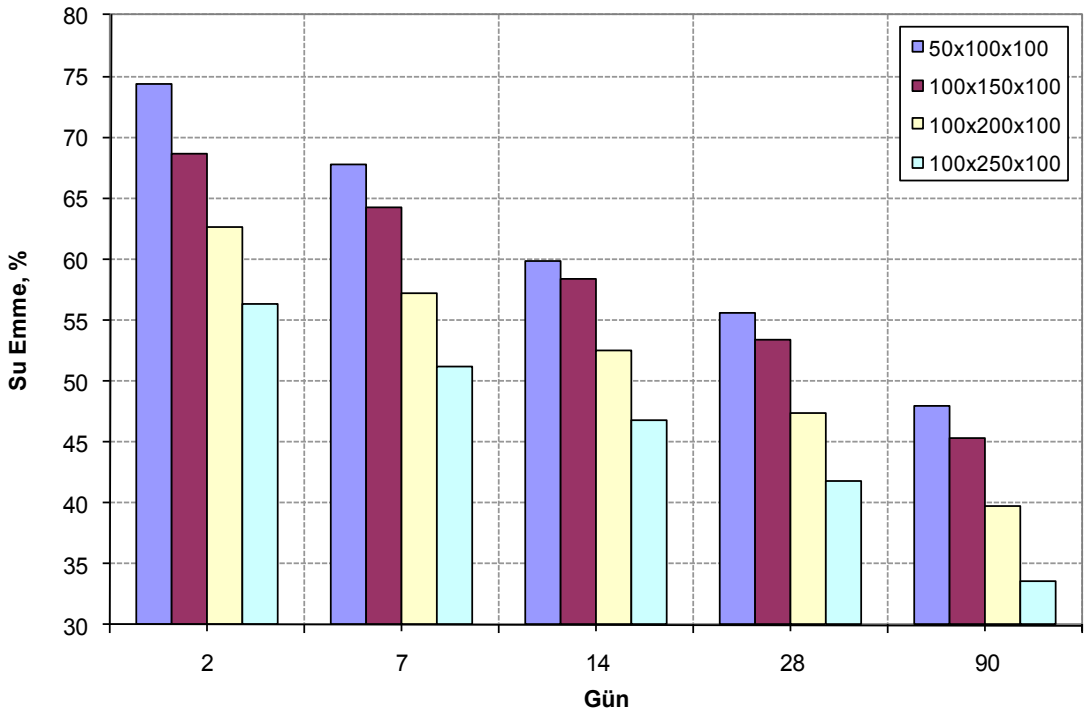
Farklı ebatta üretilen tuğlaların su emme ve porozite değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe su emme ve porozite değerlerinin ters orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Üretilen tuğlaların su emme ve porozite deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.84-85 ve Şekil 5.113-114' da verilmiştir

Bekleme süresi (90 gün) sonunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar yüksek su emme değerini (47,93 %) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en düşük su emme değerini (33,58 %) sağlamaktadır.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen su emme değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %36,5 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.84. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı su emme değerlerinin karşılaştırılması (%)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	74,33	67,71	59,79	55,55	47,93
100x150x100	68,6	64,21	58,38	53,42	45,3
100x200x100	62,58	57,24	52,58	47,32	39,71
100x250x100	56,35	51,19	46,74	41,85	33,58



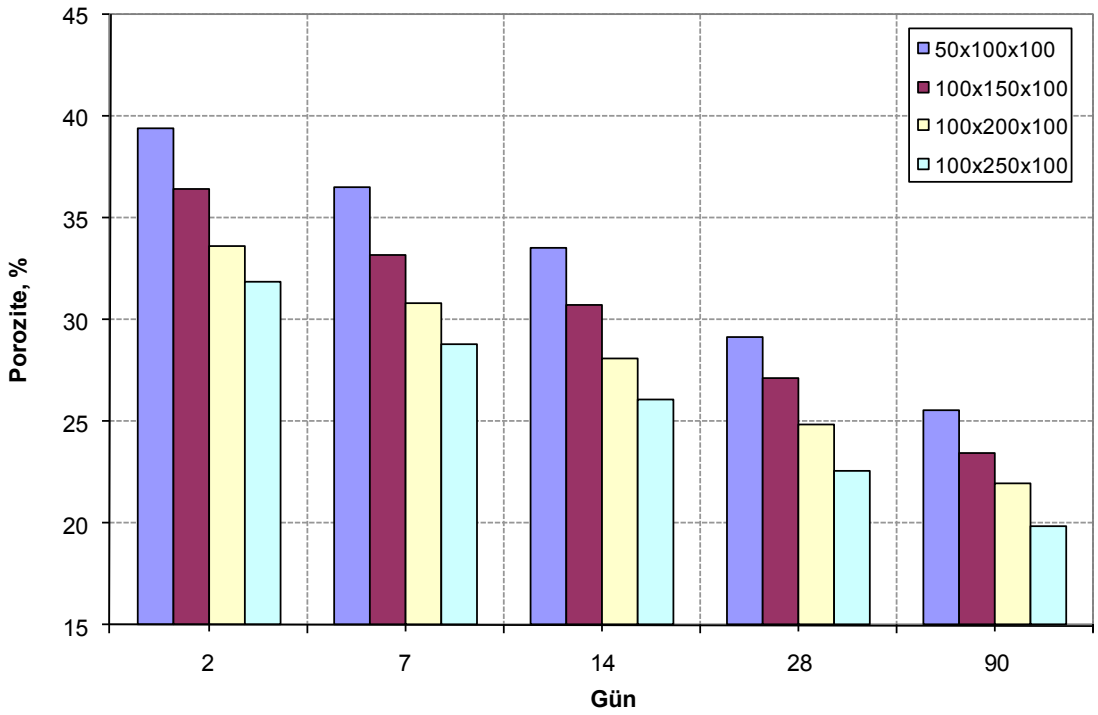
Şekil 5.113. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-su emme değişim grafiği

Tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde; 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar 90 günde en yüksek su emme değerini (25,59 %) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en düşük su emme değerini (19,91 %) sağlamaktadır. 100x150x100 ve 100x200x100 mm boyutunda üretilmiş tuğlaların değerleri orantılı olarak değişmektedir.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen porozite değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %35,9 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 14-28 gün bekleme sonunda elde edilen deney sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.85. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı porozite değerlerinin karşılaştırılması (%)

Numune (mm)	2 gün	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	39,42	36,51	33,54	29,16	25,59
100x150x100	36,46	33,24	30,72	27,16	23,48
100x200x100	33,68	30,83	28,11	24,89	21,95
100x250x100	31,85	28,81	26,06	22,61	19,91



Şekil 5.114. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-porozite değişim grafiği

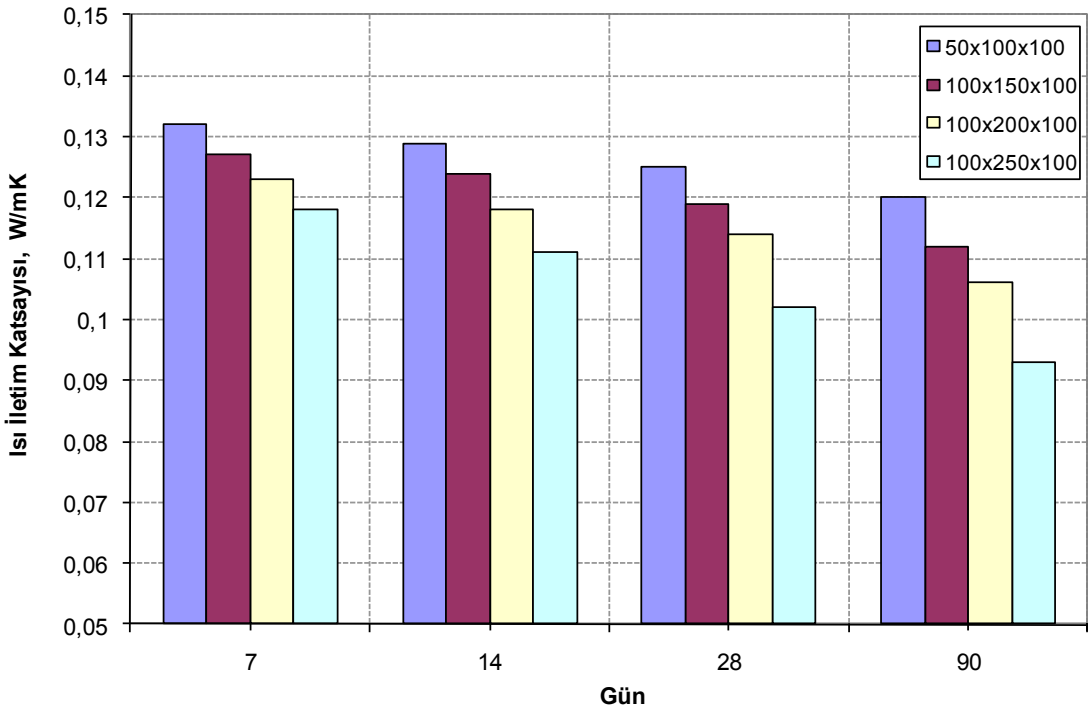
Farklı ebatta üretilen tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses geçiş kaybı değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe ısı yalıtım değerlerinin düştüğü ve ses yalıtım değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Üretilen tuğlaların ısı ve ses yalıtımı deney sonuçlarının karşılaştırılması Çizelge 5.86-87 ve Şekil 5.115-116' de verilmiştir.

Bekleme süresi (90 gün) sonunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar düşük ısı iletim değerini (0,12 W/mK) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar yüksek ısı yalıtım değerini (0,093 W/mK) sağlamaktadır.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ısı yalıtım değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %13,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.86. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı ısı iletim katsayı değerlerinin karşılaştırılması (W/mK)

Numune (mm)	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	0,132	0,129	0,125	0,12
100x150x100	0,127	0,124	0,119	0,112
100x200x100	0,123	0,118	0,114	0,106
100x250x100	0,118	0,111	0,102	0,093



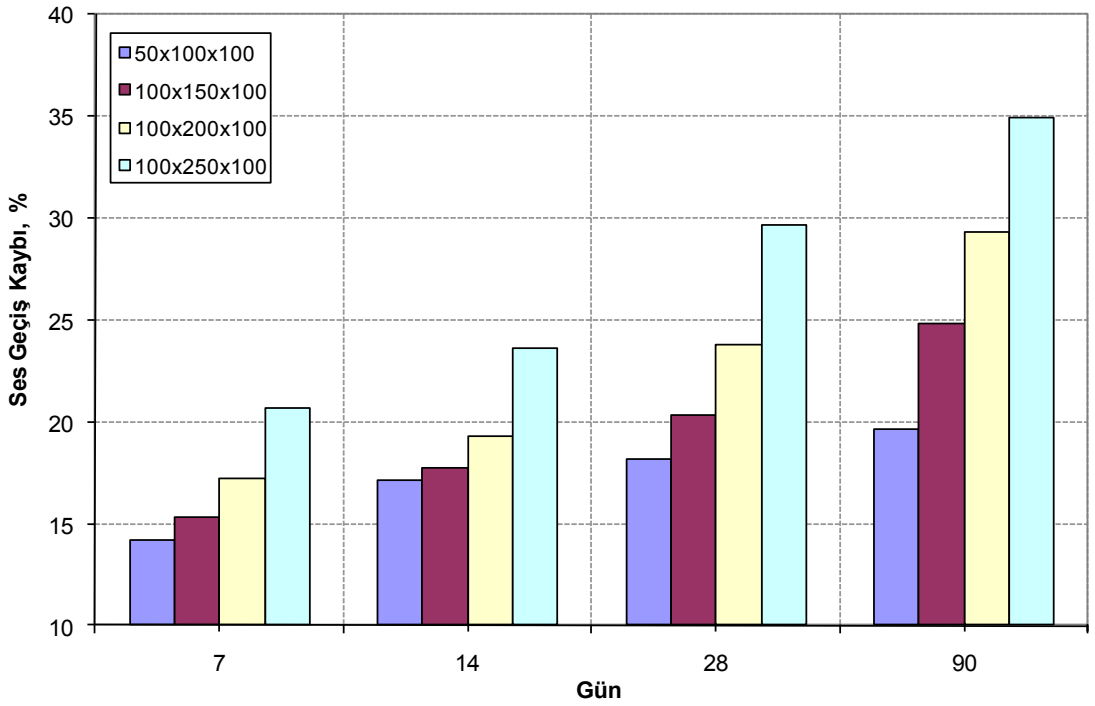
Şekil 5.115. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-ısı iletim katsayı değişim grafiği

Tuğlaların ses geçiş kaybı deney sonuçları incelendiğinde; 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar 90 günde en düşük ses tutma değerini (19,6 %) verirken, 100x250x100 mm boyutlu tuğlalar en yüksek ses tutma değerini (34,9 %) sağlamaktadır. 100x150x100 ve 100x200x100 mm boyutunda üretilmiş tuğlaların ses tutma değerleri yakın bulunmuştur.

Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ses tutma değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %60,7 oranında arttığı tespit edilmiştir. 7-14 gün bekleme sonunda elde edilen deney sonuçlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.87. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zamana bağlı ses geçiş kaybı değerlerinin karşılaştırılması (%)

Numune (mm)	7 gün	14 gün	28 gün	90 gün
50x100x100	14,2	17,1	18,2	19,6
100x150x100	15,3	17,7	20,3	24,8
100x200x100	17,2	19,3	23,8	29,3
100x250x100	20,7	23,6	29,7	34,9



Şekil 5. 116. Farklı boyutta üretilen tuğlaların zaman-ses geçiş kaybı değişim grafiği

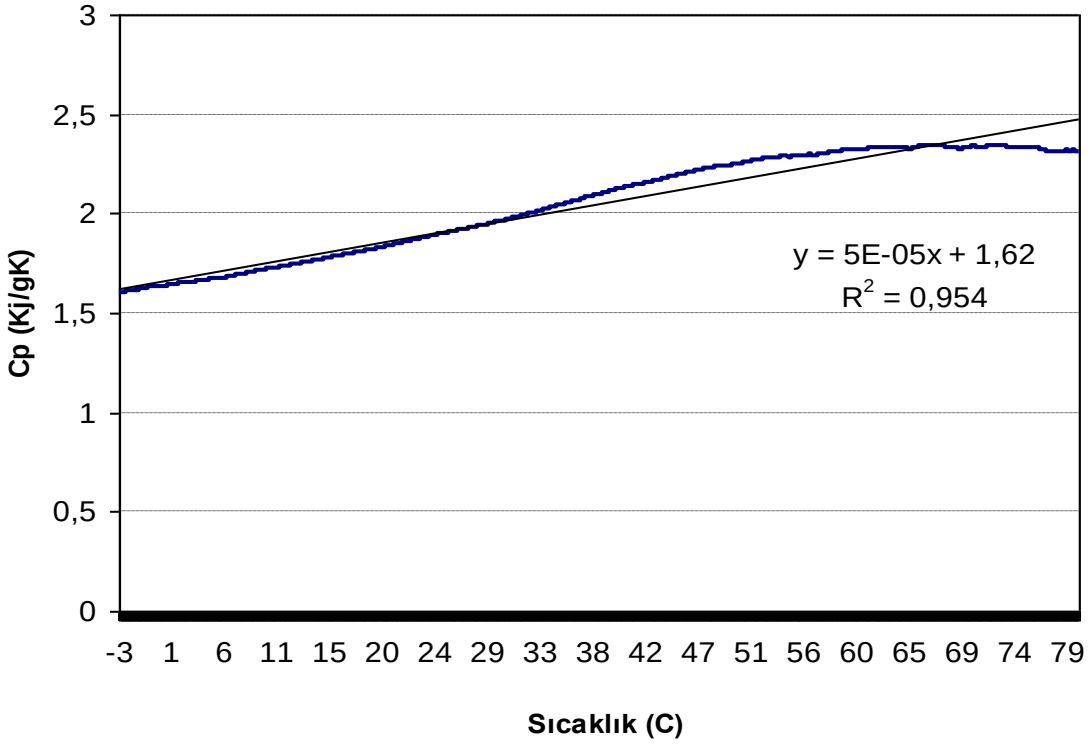
5.5.8. Nihai Tuğla İleri Teknoloji Deneyleri

Çalışmalar sonucunda 50x100x100 mm boyutunda üretilen tuğlalar üzerinde nötron geçirgenlik özelliği ve ısı kapasitesi ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deneyler, İzmir İleri Teknoloji Enstitüsü ve Atom Enerjisi Kurumu (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi) gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

5.5.8.1. Isı Kapasitesi Ölçüm Deneyleri

Isı iletim katsayısı düşürülmüş tuğla numunelerinin ısı kapasitesi DSC cihazı ile 2°C/dak sıcaklık vererek -3-77°C sıcaklık aralığında ölçülerek belirlenmiştir.

Şekil 5. 117'de görülen nihai tuğlaların ısı kapasitesi deney sonuçlarına göre, numuneler başlangıçta 1,7 kj/gK ısı tutma değerine (cp) sahip ve tuğlaların sıcaklık artışıyla ısı tutma değerinin doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Bor katkılı perlit tuğlaların ısı tutma değerleri benzer ürünlere göre yüksek bulunmuştur.



Şekil 5.117. Nihai tuğlaların ısı kapasite deney sonuçları

5.5.8.2. Nötron Geçirgenlik Deneyleri

Tuğlaların nötron geçirgenlik testleri 74 GBg' lik Am-Be nötron kaynağı kullanılarak termal nötron, epitermal nötron ve termal+epitermal nötronlar için geçirgenlik ölçümleri yapılmış, elde edilen neticelerle lineer soğurma katsayıları hesaplanarak Çizelge 5.88'de verilmiştir. Tuğlalar düşük yoğunlukta olmasına rağmen iyi bir termal nötron yutucu olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.88. Nihai tuğlaların nötron geçirgenlik değerleri

Numune No	Lineer Soğurma Katsayıları (cm^{-1})		
	μ_{termal}	$\mu_{epitermal}$	$\mu_{termal+epitermal}$
1	0,202	0,036	0,148
2	0,205	0,041	0,151
3	0,198	0,039	0,146
4	0,197	0,035	0,149
5	0,206	0,040	0,148
Ortalama	**0,202**	**0,038**	**0,149**

5.5.9. Nihai Tuğla Kalite Faktörü Analizi

Perlitten üretilen tuğlaların kalite bakımından optimizasyonunun yapılması oldukça önemlidir. Ancak, TSE standartlarında bu tarz detay bilgileri içermediği için genelde ürünlerin kalite faktörlerinin değerlendirilmesinde problemlerle karşılaşılmaktadır. Bu tarz problemlere ışık tutmak amacıyla ürünlerin şekil, boyut ve dayanım gibi parametrelerine bağlı olarak kalite faktörü tanımlanarak değerlendirilebilmektedir.

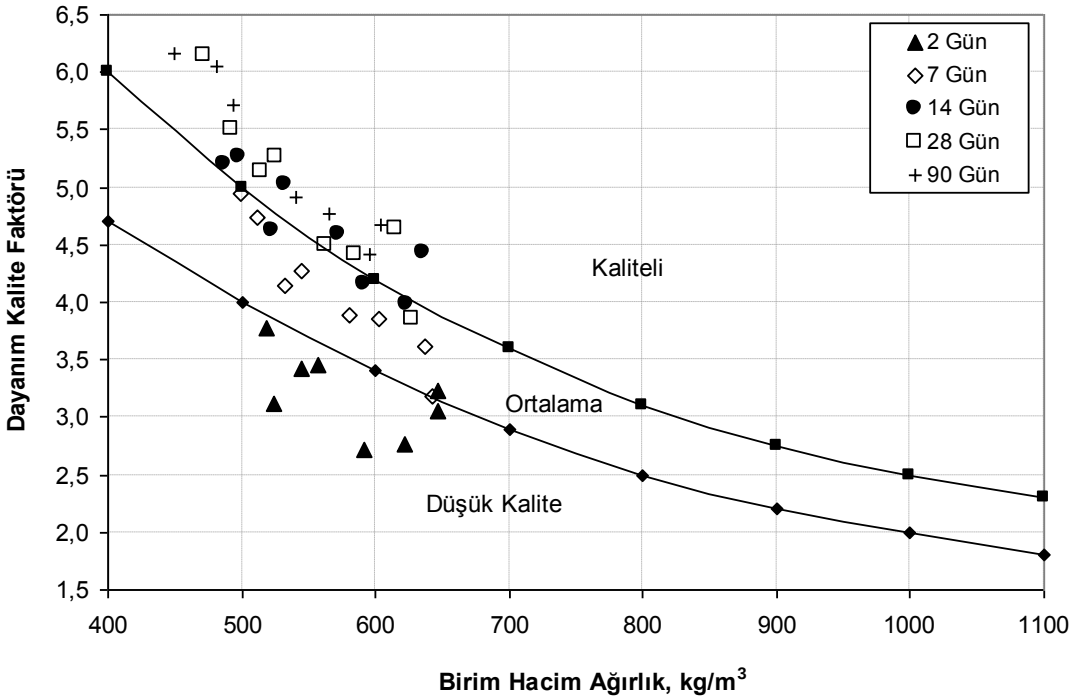
Bu çalışma, üretilen perlit tuğlaların geometrisi ve üretim prosesinin rantabıl olmasına bağımlı, dayanım açısından kalite katsayısının belirlenmesi olmaktadır. Bu incelemede kullanılan bilimsel ve pratik yaklaşım ise, tuğlaların basınç dayanım değerlerinin, tuğlanın en büyük birim hacim ağırlık değerine oranı olarak bulunan değer, tuğlaların dayanım kalite faktörü ($f\sigma$) olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşımlara göre, nihai ürünlerin dayanım kalite faktörleri belirlenmiş ve elde edilen değerler

- 50x100x100 mm tuğlalar için Çizelge 5.89, Şekil 5.118'de,
- 100x150x100 mm tuğlalar için Çizelge 5.90, Şekil 5.119'da,
- 100x200x100 mm tuğlalar için Çizelge 5.91, Şekil 5.120'de,
- 100x250x100 mm tuğlalar için Çizelge 5.92, Şekil 5.121'de verilmiştir.

Çizelge 5.89. 50x100x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	2	7	14	28	90
1	2,77	3,85	4,16	4,41	4,77
2	3,46	4,27	5,02	5,26	5,72
3	3,42	4,14	4,62	5,14	6,05
4	3,77	4,95	5,20	6,14	6,16
5	3,12	4,73	5,26	5,51	6,53
6	3,06	3,19	4,43	3,86	4,67
7	2,71	3,88	4,60	4,49	4,92
8	3,23	3,61	3,99	4,64	4,41
9	2,98	3,42	4,13	4,87	5,36
10	3,02	3,87	4,25	4,56	5,23

Çizelge 5.89'da verilen 50x100x100 mm boyutlu tuğlalara ait dayanım kalite faktörü değerleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmeler gösterilmiştir.

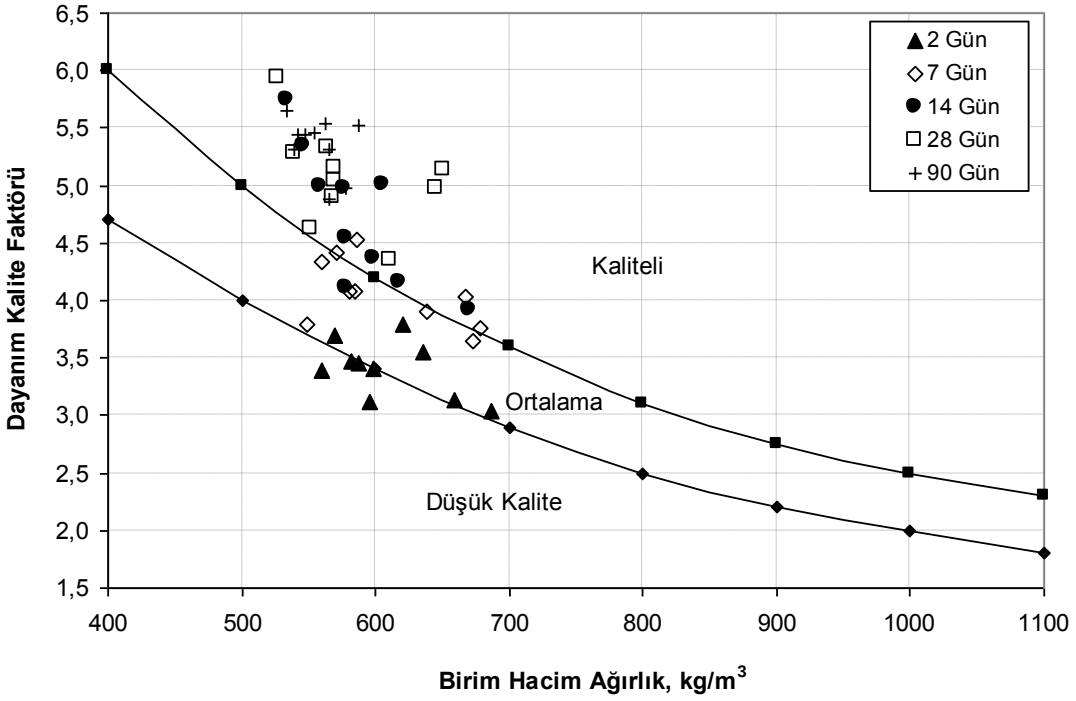


Şekil 5.118. 50x100x100 mm tuğlaların kalite analizi

Çizelge 5.90. 100x150x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	2	7	14	28	90
1	3,45	4,08	4,98	4,89	5,46
2	3,39	3,79	5,74	5,94	5,54
3	3,13	4,52	4,55	5,04	5,44
4	3,14	3,90	4,16	4,35	5,65
5	3,47	4,41	5,00	4,62	5,44
6	3,69	4,34	5,35	5,29	5,52
7	3,41	4,08	4,12	5,16	5,31
8	3,03	3,76	3,93	5,34	5,31
9	3,55	4,04	5,01	5,14	4,97
10	3,79	3,65	4,37	4,98	4,88

Çizelge 5.90'da verilen 100x150x100 mm boyutlu tuğlalara ait dayanım kalite faktörü değerleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmeler gösterilmiştir

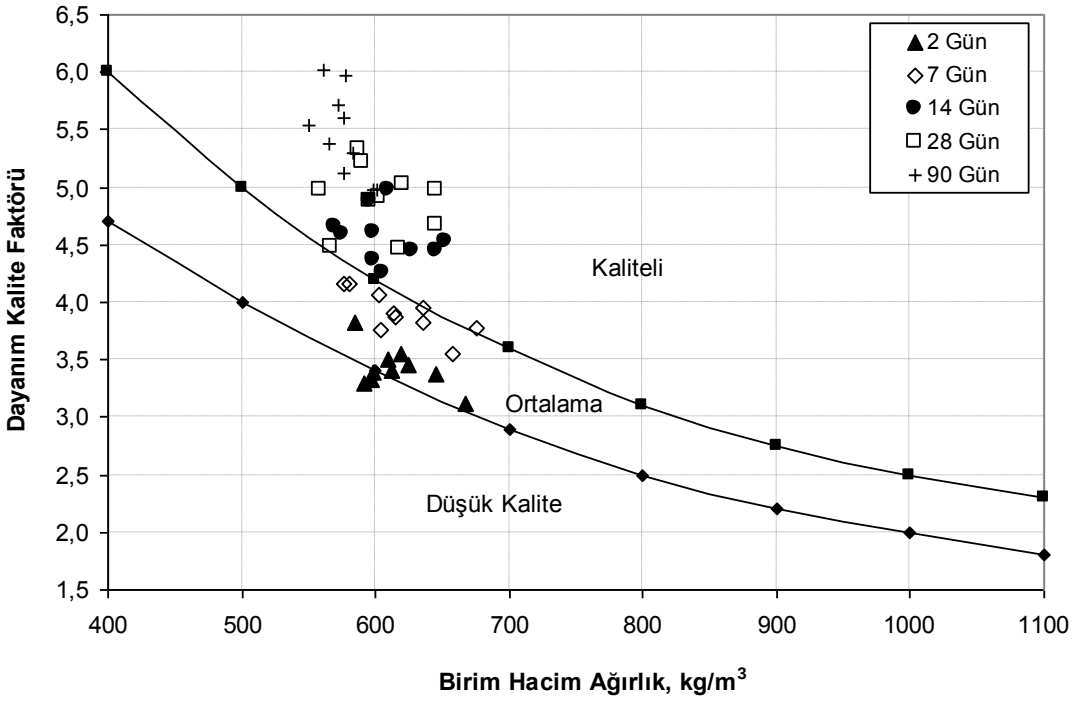


Şekil 5.119. 100x150x100 mm tuğlaların kalite analizi

Çizelge 5.91. 100x200x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	2	7	14	28	90
1	3,42	3,76	4,61	5,22	5,61
2	3,50	4,07	4,88	5,32	5,72
3	3,46	3,87	4,98	4,91	5,30
4	3,12	3,56	4,52	4,67	4,98
5	3,29	4,17	4,59	4,48	6,02
6	3,83	4,17	4,66	4,97	5,55
7	3,38	3,95	4,45	4,37	4,98
8	3,55	3,90	4,26	4,87	5,12
9	3,33	3,82	4,45	5,03	5,97
10	3,39	3,78	4,37	4,98	5,38

Çizelge 5.91'de verilen 100x200x100 mm boyutlu tuğlalara ait dayanım kalite faktörü değerleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgu ve değerlendirmeler gösterilmiştir.

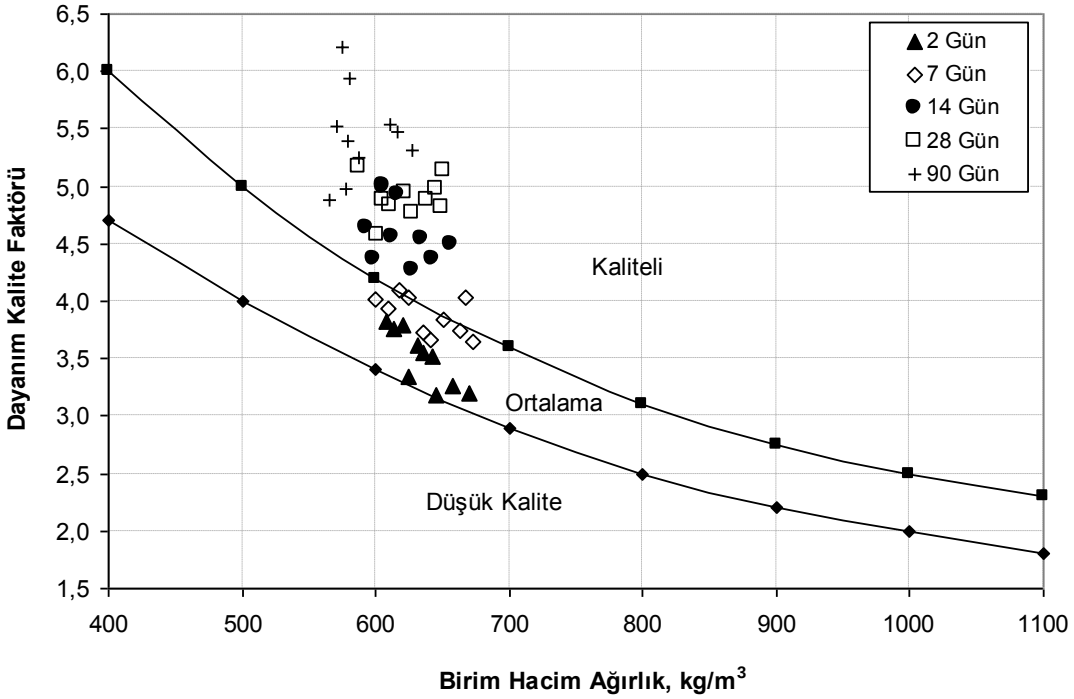


Şekil 5.120. 100x200x100 mm tuğlaların kalite analizi

Çizelge 5.92. 100x250x100 mm boyutlu tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 günlük değerler sonunda kalite faktörü analiz değerleri

Numune No	2	7	14	28	90
1	3,19	3,74	4,50	4,82	5,32
2	3,27	3,84	4,37	4,87	5,47
3	3,51	3,73	4,27	4,95	5,25
4	3,82	4,02	4,64	5,17	5,52
5	3,34	4,09	4,56	4,88	6,21
6	3,61	4,04	4,93	4,83	5,94
7	3,75	3,94	4,99	4,58	5,39
8	3,18	3,67	4,54	4,78	5,53
9	3,55	4,04	5,01	5,14	4,97
10	3,79	3,65	4,37	4,98	4,88

Çizelge 5.92'de verilen 100x250x100 mm boyutlu tuğlalara ait dayanım kalite faktörü değerleri, TSE norm grafiğine işlenerek elde edilen bulgular Şekil 5.118' de gösterilmiştir.



Şekil 5.121. 100x250x100 mm tuğlaların kalite analizi

Kalite faktörü analizleri neticesinde Menderes genleştirilmiş perlitlerinden üretilen tuğlaların 50x100x100 mm boyutta üretilen 2 ve 7 günlük numuneler hariç hepsi analizlerin ortalama ve kaliteli kısmında yer almıştır. Endüstriyel alanda ortalama kısımda yer alan briket, tuğla gibi yapı malzemelerinin sıklıkla satıldığı ülkemizde kaliteli kısımda yer alan yüksek değerlerde ısı ve ses yalıtımı sunan, radyoaktivite tutma özelliği ve ısı tutma kapasitesi yüksek perlitten mamul yeni yapı malzemelerinin sektörel bazda üretilerek inşaat sektörüne kazandırılması önem arz etmektedir.

Bu amaçla, çalışmaların neticesinde üretilen hafif yapı malzemesinin mühendislik (kimyasal, fiziksel, mekaniksel) ve teknolojik özellikleri belirlenmiş, inşaat sektöründe kullanılan benzer ürünlerle kıyaslanarak karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir.

5.5.10. Yapı Malzemelerinin Karşılaştırmalı Analizi

Tez çalışması sonunda Menderes-Cumaovası genleştirilmiş perlitlerinden elde edilen tuğlaların gerek ekonomikliği gerekse ürünün mühendislik özelliklerini ve kalitesini belirlemek amacıyla sektörde kullanılan düğer ürünlerle karşılaştırması ve maliyet analizleri yapılmıştır. Analizde, inşaat sektöründe ara eleman olarak sıklıkla kullanılan klasik tuğla (19x19x13,5 cm), sandviç tuğla (19x19x 8,5 cm), gazbeton (25x60x20), bimsblok (40x19x19 cm) ve üretilen perlit tuğlaların (5x10x10 cm) 28 gün sonunda mühendislik özelliklerinin karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

Elde edilen veriler Çizelge 5.93'de detaylı olarak yazılarak teknik analiz değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.93. Tuğla, sandviç tuğla, gazbeton, bimsblok ve perlit tuğlaların teknik analizlerinin karşılaştırılması

Duvar Elemanlarının Genel Özellikleri	Normal Tuğla (19cm)	Gaz Beton (19 cm)	Bims Blok (19 cm)	Sandviç Tuğla (19 cm)	Perlit Tuğla (19 cm)
Isı Yalıtım Değeri (W/mK)	0,43-0,65	0,15-0,20	0,17-0,25	0,43-0,65	0,09-0,12
Ses Yalıtım Değeri (dB)	20-24	25-35	30-40	20-25	40-50
Su Emme (%)	20-30	45-55	40-45	25-35	50-60
Porozite (%)	15-25	25-35	30-35	15-20	20-30
Ultrasonik Geçiş Hızı (km/sn)	3,5-3,9	2,2-2,5	2,5-2,9	2,8-3,5	1,6-2,0
Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	900-1400	400-700	600-900	1000-1500	300-600
Mekanik Mukavemet (kg/cm^2)	40-50	35-50	30-40	40-50	25-35
Nokta Yük Dayanımı (kg/cm^2)	20-30	10-15	5-15	15-25	5-15
Sıva Tutma Özelliği	iyi	zor	iyi	zor	iyi

Yapılan tez çalışmasında görüldüğü üzere perlit tuğlaların gerek mühendislik özelliklerinin benzer oluşu gerekse ısı ve ses yalıtım değerlerinin diğer yapı malzemelerine karşı daha üstün özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, perlit tuğlaların nötron geçirgenlik özelliği ve ısı tutma kapasitelerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapı ve inşaat sektörü için yeni bir malzeme olan perlit tuğlaların geliştirilmesi, üretilmesi ve yapı sektöründe hızla kullanılması gerekmektedir.

Diğer bir çalışmada 1 m^2 lik bir yüzey alanında kullanılan farklı tip, şekil ve türdeki tuğla örneklerinin ağırlık olarak oluşturdukları yüklerin analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.94).

Çizelge 5.94. Tuğla, sandviç tuğla, gazbeton, bimsblok ve perlit tuğlaların ağırlık analizlerinin karşılaştırılması

Duvar Blokları Değerleri	Normal Tuğla	Gaz Beton	Bims Blok	Sandviç Tuğla	Perlit Tuğla
Boyut (cm)	19x19x13,5	25x60x20	40x19x19	19x19x8,5	10x25x10
1 m^2 ye giden adet	39	6,7	13	57	40
Birim Ağırlık (kg)	3	12	6	2	1,5
1 m^2 Ağırlık	117	80,5	78	122	60
Tuğlaya Göre Fark	-%4,1	-%34,0	-%36,1	-	-%50,8

Çizelge 5.94'de görüldüğü üzere perlit tuğla örnekleri normal tuğlaya göre %50,8 daha hafif bir ağırlık sunmaktadır. Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine zemine gelecek yüklerin azalması ve deprem gibi nedenlerle verilen önem hızla artmaktadır. Çünkü deprem, dünyanın iç dinamiğini dengeleyen enerji boşalmasıdır. Ancak, gerekli önlemler alınırsa depremin zararlarının azaltılması mümkün olabilmektedir.

Japonya ve Amerika gibi gelişmiş ülkelerde 7,4 büyüklüğündeki depremlerde can ve mal kayıplarının olmaması yada çok az olması tesadüf değildir. Bunun nedeni, inşaat teknolojilerindeki gelişmeler ve binalarda pomza, perlit, vermikülit, bimsblok, hafif beton ve gazbeton gibi hafif yapı malzemelerinin yaygın olarak kullanılmasıdır.

Hafif malzemeler bina yükünü önemli oranda azaltmakta, diğer yandan depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte dolayısıyla bina sallanmakta ancak yıkılmamaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalar neticesinde büyük deprem riski taşıyan ülkemizde yüksek dayanım, ısı ve ses dayanım özelliklerindeki uygun veriler düşünüldüğünde Menderes perlitlerinden yapılan tuğlaların üretimi ve kullanımı önem arz etmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ana hammadde olarak Menderes bölgesi genleştirilmiş perlitleri ve bağlayıcı olarak Emet kolemanit, İmrahor simektit mineralleri ve CMC kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak kömür tozu seçilmiştir.

Çalışmaların başlangıcında bölgelere gidilerek hammadde temini gerçekleştirilmiştir. Malzemeler araziyi temsil edecek şekilde ve homojen olarak alınmıştır. Daha sonra bu malzemelerin karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, malzemelerin ince kesitleri alınarak petrografik analizleri incelenmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizler XRF cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamda XRD (kalitatif mineralojik), SEM (elektron mikroskop) ve TG- DTA (termal sıcaklık) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Petrografik analizlerin sonucunda, genleştirilmiş perlitlerde gözenekli ve camsı bir yapı görülmüştür. Perlit bünyesinde bulunan bu gözenekler ve camsı yapı, perlite hem hafif bir ağırlık sunmakta hem de ısı ve ses iletimi yönünden oldukça büyük bir avantaj sağlamaktadır. Yapılan incelemelerde, çalışmalarda kullanılan perlitlerin içeriğinde, opal-ct, feldspat, mika, illit ve kuvars minerallerinin varlığı belirlenmiştir.

Deneylerde bağlayıcı olarak kullanılan kil, ateş tuğlası yapımında kullanılmaktadır. Mikroskop incelemelerinde killerin Si ve Al'ca zengin bir çeşit kil minerali olan simektit olduğu bulunmuştur. Simektit mineralinin içeriğinde amorf silika, kalsit, klorit, kuvars ve illit mineralleri varlığı tespit edilmiştir.

Malzeme üretiminde simektit ile beraber doğal bağlayıcı olarak kullanılan bor mineralinin kolemanit olduğu tespit edilmiştir. Kolemanit numunelerinin bileşiminde Fe ile birlikte kuvars, klorit (çok çok az), feldspat, mika ve illit minerallerinin bulunduğu tespit edilmiştir.

Yapılan kimyasal analizlerin neticesinde, Menderes perlitlerinin bileşiminde %70,68 SiO_2, %13,4 Al_2O_3, %3,54Na_2O, %4,34 K_2O, %3,78 MgO ve %1,04 Fe_2O_3 ve diğer bileşimler bulunurken, Emet kolemanit numunelerinde %30,46 SiO_2, %12,14 Al_2O_3, %35,84 B_2O_3, İmrahor simektit numunelerinde %60,74 SiO_2, %16,68 Al_2O_3, %6,76 Fe_2O_3, %5,96 MgO, kömür tozunda başlıca %31,48 SiO_2, %28,3

V_2O_5, %8,16 Al_2O_3 ve Karboksi metil selüloz bileşiminde %70,7 C kimyasal bileşim değerleri bulunmuştur.

Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılan genleştirilmiş perlit numunelerinin bileşiminde tuğla yapımında istenmeyen ve mukavemeti düşüren safsızlıkların (CaO, MnO ve MgO) miktarının düşük olduğu belirlenmiştir. Doğal bağlayıcılarda da bu safsızlıkların miktarı oldukça azdır. Kimyasal analizlerin sonucunda, kullanılan tüm hammaddelerde tuğla yapımında taneler arası bağ oluşturarak mukavemet artışı sağlayan Al_2O_3 (>10) varlığı görülmektedir. Ayrıca yapılan analizlerde tüm minerallerde SiO_2 miktarının %60-72 arasında olduğu belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan kolemanit mineralleri %35 B_2O_3 içermektedir

Yapılan faz (mineralojik) analizi sonucunda, perlit örneklerinin çok büyük oranda amorf silis ve opal-CT (%98)'den oluştuğu görülmüştür. Eser miktarda feldispat ve kuvars varlığı görülmektedir. Deneylerde kullanılan doğal bağlayıcılardan, İmrahor killerindeki hakim mineral simektittir (%85). Ayrıca, bu kil minerallerine, bolluk sırasına göre klorit, illit, feldispat (k-feldispat ve plajiyoklas), hornblent (amfibol minerali), kalsit, kuvars, dolomit ve eser miktarda serpantin eşlik etmektedir. Diğer doğal bağlayıcı olarak kullanılan bor örneğinde ana mineralin kolemanit (%80-85) olduğu belirlenmiştir. Kolemanit mineraline simektit ve illit (%10) ve eser miktarda klorit ve mika minerallerinin eşlik ettiği bulunmuştur.

Yapılan SEM incelemelerinde, genleştirilmiş perlitler gözenekli ve camsı bir yapı göstermektedir. Bu yapı kristal görünümlüdür. Bağlayıcı olarak kullanılan kil numunelerinin simektit kil minerali olduğu anlaşılmaktadır. Simektit minerali, düzensiz levhamsı şekilli yapraklardan oluşmakta ve yer yer dalgalı yapraklar halinde peteksi dokuyu göstermektedir. Yüzey kenar dokanaklı bir dizilim sunan yapraklar genellikle volkan camlarının erime boşlukları ve kırıklarında yoğunlaşmıştır. Çalışmalarda kullanılan diğer doğal bağlayıcı bor minerallerinden kolemanittir. Kolemanit mineralinin gözeneksiz kristal yapıya sahip olduğu beraberinde bulunan killerin simektit ve illit olduğu belirlenmiştir. Deneylerde katkı malzemesi olarak kullanılan kömür tozu numunelerinin incelemelerinde örneklerinin tomurcuk ve üzüm salkımı şekline benzeyen yapılardan oluştuğu görülmüştür.

Deneylerde kullanılan numunelerin SEM (görüntülü) görüntüleri ile beraber EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) ile nokta (elementel) analizler yapılmış ve elementlerin dağılımı oransal olarak belirlenmiştir. Yapı malzemesi üretiminde ana hammadde olarak kullanılan perlit numunesinin bünyesinde, silisyum (%45,13), oksijen (%38,91), alüminyum (%8), potasyum (%5,58) ve sodyum (%2,37) elementlerinin olduğu tespit edilmiştir. Doğal bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil numunelerinin analiz sonuçlarına göre, oksijen (%47,35) ve silisyum (%26,9) varlığı yüksek bulunmuştur. Emet bor numunelerinin analiz sonuçlarında ise, bor (%35,43) ve silisyum (%27,61) içeriğinin yüksek olduğu belirlenmiş ve kömür tozu numunelerinin karbondan oluştuğu (%93) ve bu elemente az miktarda kükürt ile oksijenin eşlik ettiği belirlenmiştir.

Hammadde karakterizasyonunda sıcaklık değişimine göre porozite ve yüzey alanı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Perlit örnekleri 400°C pişme sıcaklığında en iyi gözenekli (%30±1,1) yapıyı sağlamaktadır. Sıcaklık artışıyla perlit gözenekleri kapanmaktadır. Tuğla üretiminde bağlayıcı olarak kullanılan İmrahor kil mineralinin gözenekliliğinin sıcaklık artışıyla orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Kil örnekleri 600°C sıcaklıkta en yüksek gözeneklilik (%52±1,3) değerini verirken, 500°C sıcaklıkta pişirilen kolemanit numunelerinden en yüksek gözeneklilik (52±4,4) değerleri elde edilmiştir.

Numunelerin yüzey alanı ölçümleri incelendiğinde, perlit yüzeylerinde en iyi dönüşüm (523,771±29,5 m^2/g) 400°C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Yüzey alanı en fazla 400°C civarında açılmakta ve sıcaklık artışıyla düşmektedir. Bu düşüş, perlit yüzeylerinin sıcaklık artışıyla yanmaya başladığını göstermiştir. Perlit örneklerinin 600°C sıcaklıktan sonra tamamen yandığı ve külleşerek perlit yüzey alanının küçüldüğü görülmüştür. Bor (kolemanit) örneklerinin yüzey alanları sıcaklık artışıyla artmakta, fakat 500°C'den sonra artış çok düşük miktarlarda olmaktadır. En yüksek yüzey alanı artış değeri 500°C sıcaklıkta ve 131,875±13,5 olarak tespit edilmiştir.

Kil (simektit) numunelerinin yüzey alanı ölçümleri incelendiğinde, örneklerin yüzey alanı ölçüm değerlerinin sıcaklık artışıyla doğru orantılı olarak arttığı ve

orijinal kil numunesinin yüzey alanı 20,118±4,2 m^2/g 'iken 600°C sıcaklıkta 84,683±3,7 m^2/g yükseldiği belirlenmiştir.

Karakterizasyon çalışmalarında malzemelerin sıcaklık artışı ile birlikte kaybettiği ağırlık miktarını belirlemek ve reaksiyon başlangıcını tespit için TG-DTA (termal) analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda, perlit numunesi 100-200°C arasında bünye nemini kaybetmiş, 450°C sıcaklığa kadar %1,4'lük ağırlık kaybına uğramıştır. 500 °C sıcaklıktan sonra kayda değer bir ağırlık kaybı (%0,3) görülmemiştir. Bu durum perlitin 1000°C sıcaklığa kadar %1,8'lik ağırlık kaybına uğradığı ve bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabileceğini göstermiştir.

Kolemanit numunesi 350°C sıcaklığa kadar ağırlığının %1,8 kristal suyunu kaybetmiştir. 350-600°C arasında ise ağırlığının %35,7'sini kaybettiği belirlenmiştir. DTA analizinde 389°C sıcaklıkta şiddetli bir endotermik pik gözlenmiştir. Bu durum kolemanit numunesinin sinterleşme reaksiyonunun başladığını göstermektedir.

Kil numusenin TG eğrisinde 750°C sıcaklıktan sonra ağırlık kaybının olmadığı ve toplam ağırlık kaybının %55 civarında olduğu belirlenmiştir. Sinterleşme 430°C civarında başlamakta 700°C sıcaklıkta tamamlanmaktadır. Bozunma reaksiyonu ise 790°C' de başlamakta ve 812,7°C sıcaklıkta endotermik pik yaparak 825°C civarında tamamlanmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda sıcaklık artışıyla malzemelerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Perlit numunesinin birim hacim ağırlığı 0,23-0,10 gr/cm^3, kil numunesinin 1,24-0,91 gr/cm^3 ve kolemanit mineralinin 1,17-0,69 gr/cm^3 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Hammaddelerin farklı sıcaklıkta (200-600°C) özgül ağırlık değerleri incelendiğinde, malzmelerin sıcaklık artışıyla özgül ağırlığının azaldığı ve düşüşün çok az miktarda olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, perlit agregasının özgül ağırlık değişimi 1,973-1,886 gr/cm^3, kil numunesinin 2,632-2,582 gr/cm^3 ve kolemanit mineralinin 2,379-2,250 gr/cm^3 arasında değişmektedir.

Yapılan su emme deneyleri sonucunda, numunelerin sıcaklık artışıyla su emme oranlarının ters orantılı olarak azaldığı bulunmuştur. Perlit agregalarının su

emme oranı %71,14-48,81, bağlayıcı olan bor minerallerinin %27,85-15,45 arasında değiştiği ve kil örneklerinin %52,89-33,63 olduğu belirlenmiştir. Kompasite deneylerinin sonucunda Menderes perlit agreagası 0,117-0,06 arasında iken, bor mineralinin 0,492-0,649 ve kil mineralinin 0,471-0,352 arasında olduğu bulunmuştur.

Perlit agregalarının fiziksel özellikleri belirlendikten sonra tuğla üretimine uygunluk deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler neticesinde agregaların elek analizleri, ince madde oranı tayini, organik madde içeriği ve kızdırma kaybı analizi gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. TS 1114 sstandartlarına göre yapılan tane boyut elek analizlerinin neticesinde, granülometrik eğrileri verilen, Menderes genleştirilmiş perlitlerinin tuğla ve hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılmasında hiçbir sakınca olmadığı belirlenmiştir. Perlit agregalarının organik madde içeriğinin belirlenmesi için deneyler yapılmış ve Menderes perlitlerinde organik madde içeriğine rastlanmamıştır.

Perlit agregalarının ince malzeme miktarı belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, Menderes genleştirilmiş perlit agregalarının ortalama ince malzeme miktarı %3,68 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerlerin sonucunda perlit numunelerinin beton katkı, hafif yapı malzemesi ve tuğla agregası olarak kullanılabilmesi için ince malzeme oranı değerleri açısından bir sakınca görülmediği ve yapı malzemesi üretimi için oldukça uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

Yapılan kızdırma kaybı analizlerinden elde edilen sonuçlara göre, tuğla üretiminde ana malzeme olarak kullanılan Menderes genleşmiş perlit agregasının kızdırma kaybı %3,095 bulunmuştur. Deneylerde doğal bağlayıcı olarak kullanılan Emet Kolemanit mineralinin %4,95, İmrahor kil mineralinin kızdırma kaybı %4,92 ve kömür tozunun %11,27 olduğu belirlenmiştir. Kızdırma kaybı deneyinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, perlit agregasının kızdırma kütle kaybının %5'den daha az olduğu için tuğla ve hafif yapı malzemesi üretiminde agrega hammaddesi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde, karışımın su katkı oranı ve pişme sıcaklığının belirlemek için, karışım su-katı oranı 1,0, 1,1 ve 1,2 olacak şekilde kalıplara dökülmüş ve 200°C, 300°C, 400°C pişme sıcaklığında, 2,5 saat pişme süresinde elde

edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca, pişme sıcaklığında 500-600°C ye kadar çıkılmış ancak ana hammadde olarak kullanılan perlitin yandığı ve mukavemet değerlerinin oldukça düştüğü görülmüştür. Pres basıncı olarak 50 bar seçilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda kontrol tuğlasının su katkı oranına göre sıcaklık ve birim hacim ağırlık değişimi; s/k oranı 1,1 olan ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerden (522,5±48,3 kg/m^3) en düşük birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Tuğla mukavemetinin sıcaklık artışıyla azaldığı ve s/k oranı 1,0 olan numunelerin 200°C pişme sıcaklığında en yüksek mukavemete ulaştığı (8,1 kg/cm^2) ve pişme sıcaklığının artmasıyla mukavemet değerinin giderek azaldığı belirlenmiştir.

Deneylerde CMC (karboksimetilselüloz) katkı oranının belirlenmesi için deneyler yapılmıştır. Deneylerin sonucunda; tuğlaların en iyi birim hacim ağırlığı değeri 515±13,9 olup, %1 CMC katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerden elde edilmiştir. Katkı miktarının ve pişme sıcaklığının artmasıyla tuğla mukavemetinin düştüğü ve tuğlaların en yüksek mukavemet değerinin, 200°C pişme sıcaklığında 10,93±0,37 kg/cm^2 olduğu tespit edilmiştir. %5 CMC katkılı olarak üretilen numunelerin tüm pişme sıcaklıklarında en yüksek mukavemet değerlerini verdiği belirlenmiştir.

Presleme basıncının belirlenmesi amacıyla yapılan deneylerde, tuğla hammaddesi 50x100x100 mm boyutundaki kalıplara konularak 40, 50, 60 ve 70 bar basınç altında şekillendirilmiş ve 400°C sıcaklıkta pişirilerek deneylere hazır hale getirilmiştir. Deneylerde su katkı miktarı en yüksek mukavemet değerini veren 1,0 oranında kullanılmıştır.

Elde edilen değerler incelendiğinde pres basınç değerinin artmasıyla tuğlaların birim hacimlerinde bir artma meydana geldiği 60 bar basınçtan sonraki artış miktarının ise çok fazla olmadığı belirlenmiştir. Değerler incelendiğinde 50 bar basınçta üretilen tuğlaların en yüksek basınç dayanımını sağladığı ve pres basıncının artmasıyla numunelerin tek eksenli basma dayanımlarının giderek azalmaya başladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sonik hız ölçüm değerlerinin pres basınç oranına göre giderek düşmesi, numunelerde deformasyonun arttığı ve basınç dayanımının düştüğünü tespit edilmiştir.

Kontrol tuğlaların SEM analizleri incelendiğinde, 200°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin camsı yapıda olduğu ve 300°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin kırılma yüzeyleri ile birlikte balon şeklinde yapıların geliştiği görülmektedir. 400°C civarında pişirilen numunelerde bu balonsu yapılar artmakta ve mısır patlağı gibi kırılarak gözenekli yapı oluşmaktadır.

Kontrol numunesi üretim aşamasından sonra kolemanit katkılı, kil katkılı ve nihai tuğla üretim çalışmalarına geçilmiştir. Bor katkılı perlit tuğla üretiminde, kontrol tuğlası üretiminden elde edilen veriler kullanılmıştır. Kolemanitin 300-400°C arasındaki sıcaklıkta reaksiyonuna girdiği, perlit taneleri arasında bağ oluşturarak mukavemet artışı sağladığı belirlenmiştir. Laboratuar çalışmalarında, kolemanit (%5, 10, 15, 20) ve %5 CMC (karboksimetilselüloz) katılarak 4 ayrı reçetede üretilen tuğlaların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş olup en iyi mukavemet değerini veren aralık tespit edilmiştir.

Tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, kolemanit katkısı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık değerleri artmakta, sıcaklık artışı ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde, %5 kolemanit katkılı numunelerin en düşük birim hacim ağırlık değerlerini verdiği ve 400°C sıcaklıkta pişirilen kolemanit katkılı tuğlaların tüm pişme sıcaklıkları içinde en iyi ortalama birim hacim ağırlık değerini (631,0±25,3 kg/m^3) sağladığı görülmüştür.

Elde edilen veriler, tuğlaların pişme sıcaklığına göre değerlendirildiğinde, bor katkı oranlarına göre pişme sıcaklığının artmasıyla numunelerin basma dayanımının arttığı görülmüştür. Kolemanit katkılı tuğlaların (%10 ve 400°C' de pişirilen) ortalama basma dayanımı değerleri (24,8±1,3 kg/cm^2) kontrol numunelerinden elde edilen değerlere kıyasla 2,27 kat daha fazla bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %20 kolemanit katkılı numuneler en yüksek ortalama sonik hız geçiş değerleri (2,72±0,04 km/sn) vermektedir. Bor katkı miktarı ve pişme sıcaklığının artmasıyla sonik hız geçiş değerleri doğru orantılı olarak artmaktadır.

Üretilen tuğlaların su emme deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numuneler en düşük ortalama su

emme değerlerini (%45,2±2,3) vermektedir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %10-15 kolemanit katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerini (%10,2±2,1) verdiği belirlenmiştir. Kolemanit katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır.

Kolemanit SEM (görüntülü) analizleri, en yüksek mukavemet değerini veren (%10 kolemanit katkılı) ve farklı sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda kolemanit mineralinin bağ yapmaya, 300°C sıcaklıkta sinterleşme reaksiyonuna başladığı ve 350-400°C sıcaklıkta kolemanit mineralinin perlit taneleri arasında eriyerek mukavemet artışına neden olduğu görülmüştür.

İmrahor kil (simektit) minerali %5, 10, 15, 20 katılarak deneylerde doğal bağlayıcı olarak kullanılmış ve su/katı oranı 0,90 civarında belirlenmiştir. Farklı karışımlarda üretilen tuğlalar 200°C, 300°C, 400°C sıcaklıkta 2,5 saat süreyle pişirilerek en düşük birim hacim ağırlığı ve en yüksek tek eksenli basma dayanım değerini veren aralık belirlenmeye çalışılmıştır.

Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların katkı miktarı ve pişme sıcaklığına göre birim hacim ağırlık deneyleri incelendiğinde, kil katkı miktarı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri artmakta ve pişme sıcaklığının artışı ile ters orantılı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

%5 kil katkılı numunelerin en düşük birim hacim ağırlık değerlerini (681,0±10,1 kg/m^3) verdiği belirlenmiştir.

Kil katkılı tuğlaların mukavemet deney donuçları incelendiğinde, tüm pişme sıcaklıklarında %20 kil katkılı numunelerin en yüksek mukavemet değerlerini verdiği (26,2±0,4 kg/cm^2) ve kil katkı miktarı arttıkça tuğlaların tek eksenli basma dayanımı değerlerinin giderek arttığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda sonik hız deney sonuçları incelendiğinde, %20 kil katkılı numuneler en yüksek sonik hız geçiş değerleri (3,10±0,04 km/sn) vermektedir. Pişme sıcaklığına göre %5 kil katkılı olarak üretilen tuğlaların geçiş değerleri ise en düşüktür.

Kil katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça su emme miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. Deneylerde kullanılan tüm pişme sıcaklıkları incelendiğinde, %20 kil katkılı tuğlalar en düşük (%40,6±2,2) ve %5 kil katkılı tuğlaların en yüksek su emme değerlerini verdiği belirlenmiştir. Kil katkılı olarak üretilen tuğlaların su emme değerleri kontrol numunesinden elde edilen değerlere göre düşük olduğu tespit edilmiştir. Kil katkılı tuğlaların porozite deney sonuçları incelendiğinde, %20 kil katkılı ve 400°C sıcaklıkta pişirilen numunelerin en düşük porozite değerlerini verdiği belirlenmiştir. Kil katkılı tuğlaların pişme sıcaklığı arttıkça porozite değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır.

Kil katkılı tuğlaların SEM (görüntülü) analizlerinde yüksek mukavemet ve ideal birim hacim ağırlık değerini veren %15 kil katkılı ve 200°C, 300°C ve 400°C sıcaklıklarda pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri incelendiğinde, kil mineralinin 200°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda perlit taneleri arasındaki boşluklara yerleşmiş, 300°C sıcaklıkta perlit taneleri arasında reaksiyon başlangıcı ve 400°C sıcaklıkta perlit taneleri arasında erime reaksiyonuyla bağlanarak mukavemet artışı sağlamaktadır.

Tüm bu çalışmalar sonucunda Menderes perlitlerinden üretilen tuğlaların yüksek mukavemet, düşük birim hacim ağırlık ve diğer mühendislik özelliklerinde en optimum değerleri sağlayan karışım oranı belirlenmiştir. Çalışmaların son aşamasında elde edilen veriler değerlendirilerek nihai tuğla üretim çalışmalarına geçilmiştir. Nihai ürünler farklı boyutlarda (50x100x100 mm, 100x150x100 mm, 100x200x100 mm ve 100x250x100 mm) üretilmiş ve 400°C sıcaklıkta 2,5 saat pişirilerek boyut analizi yapılmıştır. Daha sonra tuğlaların 2-7-14-28-90 gün sonunda kimyasal, fiziksel, mekanik, ısı ve ses özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, tuğlaların cp testi (ısı tutma) ve nötron tutma özelliği gibi teknolojik deneylerde gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmaların neticesinde 50x100x100 mm boyutta üretilen tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 gün süreler sonunda birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 582,5±49,4, 570,4±51,8, 558,1±52,5, 546,9±53,7 ve 536,2±57,8 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler incelendiğinde zamana bağlı olarak nihai tuğlaların birim hacimlerinde bir azalma meydana geldiği ve azalmanın orantılı

olarak devam ettiği görülmüştür. Ayrıca, tuğlaların 2, 7, 14, 28, 90 gün sonunda basma dayanım değerleri sırasıyla, 19,9±2,2, 22,4±2,0, 25,8±1,3, 26,9±1,6, 28,2±4,6 kg/cm^2 ve nokta yük dayanım, 5,14±0,7, 7,47±0,8, 9,11±0,8, 9,74±1,1 ve 12,24±1,0 kg/cm^2 bulunmuştur. Tuğlaların sonik hız geçiş değerleri, 1,25±0,06, 1,37±0,08, 1,49±0,04, 1,63±0,09 ve 1,84±0,08 km/sn olarak tespit edilmiştir. Ayni şekilde 7, 14, 28, 90 gün sonunda tuğlaların ısı ve ses yalıtım değerleri, 0,132±0,004, 0,129±0,003, 0,125±0,005, 0,12±0,003 W/mK ve %14,2±2,8, %17,1±2,1, %18,2±2,0, %19,6±1,9 olarak belirlenmiştir.

Tuğlaların ısı iletim katsayı değerlerinin zamanla düşük miktarda azaldığı ve ısı yalıtım değerlerinin en iyi olduğu değer 90 günlük zaman diliminde olduğu belirlenmiştir. Ayni şekilde, ses yalıtım değerleri 2-28 gün arasında düşük miktarlarda arttığı ve optimum ses yalıtım değerlerine 90. günde ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Deneyler sonucunda 100x150x100 mm boyutta üretililen tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 gün süreler sonunda birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 605,4±47,9, 594±43,7, 581,3±42,7, 564,1±30,2 ve 553,2±35,8 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tuğlaların 2, 7, 14, 28, 90 gün sonunda basma dayanım değerleri sırasıyla, 20,12±1,6, 23,65±3,2, 26,97±4,9, 28,65±1,9, 30,01±2,2 kg/cm^2 ve nokta yük dayanım, 7,99±0,9, 9,85±0,8, 11,26±1,0, 12,22±1,2 ve 13,9±1,5 kg/cm^2 elde edilmiştir. Tuğlaların sonik hız geçiş değerleri, 1,61±0,06, 1,72±0,01, 1,75±0,04, 1,94±0,03 ve 2,03±0,05 km/sn olarak tespit edilmiştir.

Aynı şekilde 7, 14, 28, 90 gün sonunda tuğlaların ısı ve ses yalıtım değerleri, 0,127±0,003, 0,124±0,007, 0,119±0,005, 0,112±0,009 W/mK ve %15,3±0,7, %17,7±1,1, %20,3±2,2, %24,8±3,1 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Yapı endüstrisinde özellikle otellerde ve büyük iş ve alışveriş merkezlerinde sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x200x100 mm tercih edilmesi üretim kolaylığı açısından tuğlanın tasarım amacını oluşturmaktadır.

Deneyler sonucunda 100x200x100 mm boyutta üretililen tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 gün süreler sonunda birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 618,6±28,3,

610,5±28,6, 603,8±27,2, 595,2±25,1 ve 575,2±23,4 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tuğlaların 2, 7, 14, 28, 90 gün sonunda basma dayanım değerleri sırasıyla, 21,43±0,9, 23,91±0,5, 27,59±1,8, 29,17±1,6, 31,35±1,9 kg/cm^2 ve nokta yük dayanım, 8,58±0,7, 10,26±0,6, 12,28±0,9, 13,03±1,1 ve 15,45±1,4 kg/cm^2 elde edilmiştir. Tuğlaların sonik hız geçiş değerleri, 1,76±0,08, 1,79±0,04, 1,85±0,03, 1,97±0,05 ve 2,07±0,06 km/sn olarak tespit edilmiştir. Ayni şekilde, 7, 14, 28, 90 gün sonunda tuğlaların ısı ve ses yalıtım değerleri, 0,123±0,004, 0,118±0,004, 0,114±0,003, 0,106±0,002 W/mK ve %17,2±4,2, %19,3±2,7, %23,8±4,5, %29,3±7,9 olarak belirlenmiştir.

Yapı endüstrisinde özellikle büyük ölçekli merkezlerin duvarlarında sıklıkla kullanılan bir boyut olan 100x250x100 mm boyutundaki tuğlaların tasarımı gerçekleştirilmiştir. İnşaat sektöründe bina ağırlığının azalması için düşük birim hacim ağırlık ve yüksek mukavemet değerine sahip yapı malzemelerinin kullanımı giderek artmaktadır.

Bu amaçla 100x250x100 mm boyutunda üretilen tuğlaların 2, 7, 14, 28 ve 90 gün süreler sonunda birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla, 632,6±16,1, 625,8±16,5, 619,5±15,3, 613,9±14,9 ve 590,5±16,3 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Ayrıca, tuğlaların 2, 7, 14, 28, 90 gün sonunda basma dayanım değerleri sırasıyla, 22,12±1,0, 24,26±0,7, 28,63±1,2, 29,92±1,1, 33,13±1,2 kg/cm^2 ve nokta yük dayanım, 8,72±0,6, 10,63±0,9, 12,95±1,5, 13,47±1,6 ve 16,08±2,2 kg/cm^2 elde edilmiştir. Tuğlaların sonik hız geçiş değerleri, 1,87±0,08, 1,93±0,04, 1,98±0,09, 2,05±0,06 ve 2,13±0,07 km/sn olarak tespit edilmiştir. Tuğlaların su emme ve porozite deney sonuçları sırasıyla, %56,35±3,3, %51,19±3,5, %46,74±2,9, %41,85±3,2, %33,58±3,0 ve %31,85±2,3, %28,81±1,7, %26,06±1,1, %22,61±1,7 ve 19,91±1,5 olarak bulunmuştur. Ayni şekilde, 7, 14, 28, 90 gün sonunda tuğlaların ısı ve ses yalıtım değerleri, 0,118±0,003, 0,111±0,004, 0,102±0,004, 0,093±0,005 W/mK ve %20,7±2,9, %23,6±3,3, %29,7±8,4, %34,9±9,2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre, tuğlaların zamana bağlı olarak su emme ve porozite değerlerinin giderek azaldığı belirlenmiştir. Ayni şekilde, tuğlaların zamana bağlı olarak ısı iletim katsayı değerlerinin azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Çalışmalar sonunda üretilen tuğlaların birim hacim ağırlık değerleri kıyaslandığında; boyut büyüdükçe tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı ve zamanla değerlerin orantılı olarak artmaya devam ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı boyutta üretilen tüm tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin TS standartlarının altında (1600 kg/m^3) değerlerde olduğu görülmüştür. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ağırlık değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %7,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Farklı boyut ve şekilde üretilen tuğlalarda boyut büyüdükçe basınç dayanım değerlerinin arttığı ve zamanla değerlerin orantılı olarak artmaya devam ettiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı boyutta üretilen tüm tuğlaların birim hacim ağırlık değerlerinin TS standartlarına (17 kg/cm^2) uygun değerlerde olduğu görülmüştür. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ağırlık değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %46,9 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Farklı ebatta üretilen tuğlaların nokta yük dayanımı ve sonik hız geçiş değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe nokta yük dayanım ve sonik hız geçiş değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen yük dayanım değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %89,4 oranında ve sonik hız geçiş değerleri ortalama %55,3 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Farklı ebatta üretilen tuğlaların su emme ve porozite değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe su emme ve porozite değerlerinin ters orantılı olarak azaldığı belirlenmiştir. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen su emme değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %36,5 ve porozite değerlerinin %35,9 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Farklı ebatta üretilen tuğlaların ısı iletim katsayı ve ses geçiş kaybı değerleri incelendiğinde; boyut büyüdükçe ısı yalıtım değerlerinin düştüğü ve ses yalıtım değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Tuğlaların 90 gün sonunda belirlenen ısı yalıtım değerleri 2 günlük değerlere kıyasla ortalama %13,6 oranında azaldığı ve ses yalıtım değerlerinin %60,7 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Termal analizler yüksek mukavemet ve ideal birim hacim ağırlık değerini veren ve 400°C sıcaklıkta pişirilen tuğlalar üzerinde gerçekleştirilmiştir. SEM

analizleri incelendiğinde, bağlayıcı olarak kullanılan minerallerin perlit taneleri arasında bağlanarak mukavemet artışı sağladığı görülmüştür.

Nihai tuğlaların 400°C pişme sıcaklığında, bağlayıcı olarak kullanılan minerallerin EDS analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; B (%15,16), Si (%14,1), O (%47,55), Fe (%7,25), Al (%8,62), Na (%1,29), Mg (%5.01), K(0,71) elementlerinin varlığı tespit edilmiştir.

Ayrıca tuğlalar üzerinde ısı kapasitesi ve nötron geçirgenlik gibi ileri teknoloji deneyleri gerçekleştirilmiştir. Nihai tuğlaların ısı kapasitesi deney sonuçlarına göre, tuğlalar başlangıçta 1,7 kj/gK ısı tutma değerine (cp) sahip ve sıcaklık artışıyla ısı tutma değerinin doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. Ayni şekilde, tuğlaların ortalama nötron geçirgenlik değeri 0,149 cm^{-1} olarak bulunmuştur. Tuğlalar düşük yoğunlukta olmasına rağmen iyi bir termal nötron yutucu olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu çalışmalar neticesinde İzmir-Menderes genleştirilmiş perlitlerinden, kolemanit ve kil minerali katkılı mamul tuğla üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu tuğlaların inşaat sektöründe üretimi olmamakla birlikte, bu çalışmalar doğrultusunda yapı sektöründe üretimi ve kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Perlit tuğlaların fiziksel özellikleri belirlendikten sonra kalite faktörü analizleri yapılmıştır. Dört faklı boyutta üretilen tuğlaların kalite faktörü analizleri neticesinde 50x100x100 cm ve 100x150x100 cm boyutundaki 2 günlük numuneler hariç tüm tuğla numuneleri 7, 14, 28 ve 90 günlük ürünler için analizlerin ortalama ve kaliteli kısmında yer almıştır.

Üretilen tuğlaların endüstriyel alanda sıkça kullanılmakta olan normal tuğla, sandviç tuğla, gazbeton, bimsblok ve perlit tuğlaların teknik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde, perlit tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından diğer ürünlerden oldukça iyi mühendislik özelliği gösterdiği anlaşılmıştır.

Tez çalışmasının diğer bir bölümünde, $1m^2$ lik bir yüzey alanında kullanılan farklı tip, şekil ve türdeki tuğla örneklerinin ağırlık olarak oluşturdukları yüklerin analizi yapılmıştır. Bu çalışma neticesinde perlit tuğla örnekleri normal tuğlaya nazaran %50,8 daha hafif bir ağırlık sunmaktadır. Yapı ve inşaat sektörü için yeni bir

malzeme olan perlit tuğlaların geliştirilmesi, üretilmesi ve yapı sektöründe hızla kullanılması gerekmektedir.

Gerçekleştirilmiş olan bu doktora tez çalışması kapsamında üretilen perlit tuğlaların geliştirilmesi, üretilmesi ve sektörel olarak yaygınlaştırılması amacıyla bazı öneriler yazılmıştır. Bu öneriler şu şekildedir;

- Araştırması yapılan perlit rezervleri ülkemizde 4,5 milyar ton düzeylerindedir. Bu rakam tahmini dünya rezervlerinin önemli bir bölümünü oluşturur. Ülkemiz perlit rezervlerinin gelecek yıllar içersinde artan trende rağmen inşaat sektörüne yeteceği görülmüştür. Görünür rezervlere, sandaj çalışmaları yapılarak daha fazla miktarda rezervlerin eklenmesi gerekmektedir. Perlitlerin hammadde olarak yapılan analizlerinin neticesinde bu malzemelerin yapı ve inşaat sektöründe çok rahatlıkla kullanılabileceği belirlenmiştir.
- Son yıllarda inşaat sektöründe hafif yapı malzemelerine zemine gelecek yüklerin azalması ve deprem gibi nedenlerle verilen önem hızla artmaktadır. Çünkü deprem, dünyanın iç dinamiğini dengeleyen enerji boşalmasıdır. Ancak, gerekli önlemler alınırsa depremin zararlarının azaltılması mümkün olabilmektedir. Japonya ve Amerika gibi gelişmiş ülkelerde 7,4 büyüklüğündeki depremlerde can ve mal kayıplarının olmaması yada çok az olması tesadüf değildir. Bunun nedeni, inşaat teknolojilerindeki gelişmeler ve binalarda pomza, perlit, vermikülit, bimsblok, hafif beton ve gazbeton gibi hafif yapı malzemelerinin yaygın olarak kullanılmasıdır.
- Yapılan deneysel çalışmaların neticesinde oldukça iyi sonuçlar alınan tuğla mukavemet değerleri elde edilmiştir. Günümüzde hafif yapı malzemesi olarak kullanılan tuğlaların yanında perlitten üretilen tuğla ve hafif beton üretimine olanak sağlanmalıdır.
- Menderes perlitlerinin ana hammadde olarak kullanılması ile hazırlanan tuğla örnekleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, tuğlaların ideal dayanım, düşük yoğunluk, ısı ve ses yalıtım değerlerinin iyi olmasından dolayı perlitlerin tuğla yapımında kullanılabilir olduğu ve inşaat yapı sektörüne yeni bir ürün kazandırılabileceği görülmüştür. Perlit tuğlaların %50,8 değerinde binalarda taşıyıcı elemanlara ve zemine daha az yük uygulanacağı düşünüldüğünde, binaların depreme

karşı daha dayanıklı olacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, bina ağarlığı azaldığından inşaat maliyetleri de belirli oranlarda düşecektir.

- Diğer önemli bir nokta ise, perlitlerden üretilen tuğlaların kullanılması ile yapılan binalarda ısı ve ses yalıtımı olarak diğer tuğla ve hafif beton bloklara göre daha iyi bir izolasyon sağladığı, ısıtma ve soğutma giderlerinin düşeceği görülmektedir. Böylece, hafif yapı malzemelerinin kullanılması ile binalarda enerji tasarrufu sağlanacak ve enerji maliyetlerininde önemli oranda düşeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

ABALI, Y., YURDUSEVER, M, A., ZEYBEK, M, S., KUMANLIOĞLU, A., 2007. Using Phosphogypsume and Boron Concentrator Wastes in Light Brick Production, Construction and Building Materials 21, 52-56.

ABİ, B., AKDEMİR, B., EMRULLAHOĞLU, F., DEVECİ, L., DEMİRER, A., 2006. Borik Asit Katkısının Kordiyerit Üretimine Etkisi-Enjeksiyon Kalıplama, III Uluslararası Bor Sempozyumu,Ankara, s; 105-111.

AKSAY, E., AKAR, A., KAYA, E., YAŞAR, E., 2004. İzmir Menderes Yöresi Asidik Pomzanın Tuğla Olarak Değerlendirilmesi, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s:412-417.

ANGULO, M, A., 2009. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Boron, USA.

ANONİM, 2006. Perlite, United States Departmant of The Interior Bureau of Mines. Chapter from Mineral Facts and Problems.

ARAS, A., 2002. Pişme Renginin Oluşumu ve Ölçümü, II Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, s; 19-38.

ASTM-C 127-42. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates.

ASTM C 128-57. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates.

ATTENBOROUGH, K., 1983. Acoustical Characteristics of Rigid Fibrous Absorbent and Granular Materials, Journal of the Acoustical Society of America, 73(3), 785-799.

AYBERK, M., 1995. Perlitin Yapı Gereci Olarak Kullanımı ve Yapı Maliyetine Etkisi, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s:203-206.

BALAY, N., 1992. Perlit, Türkiye 1. Tarımda Perlit Sempozyumu Bildirileri, E.Ü. Ziraat Fakültesi, Etibank, İzmir.

BATAR, T., KÖKSAL, S., YERSEL, E., 2009. Atık Bor, Atık Kağıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu, Ekoloji Dergisi 18, 72, s:45-53.

BATAR, T., BAYÇA, S., SOLAK, Ö., SAYIN, E., CAN, E., KAHRAMAN, B., 2007. Bor Cevheri ve Atıklarının Seramik Duvar Karosu Yapısına Etkileri, 6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s; 328-333.

BİDECİ, Ö., BİDECİ, A., 2009. Perlit Hammaddesinin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliği, 7. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir-Kuşadası, s;69-73.

BİDECİ, A., BİDECİ, Ö., SEVER, Ü., 2009. Farklı Hammaddelerin Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu,Karabük, s;72-77.

BİNİCİ, H., TEMİZ, H., AKSOĞAN,O., ULUSOY, A., 2009. Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Bazaltik Pomza Katkılı Tuğlaların Mühendislik Özellikleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt; 24, No; 3, s;485-498.

BOLEN, P, W., 2004. Mineral Commodity Summaries Annuel, Perlite, USGS, USA.

BOLEN, P, W., 2008. Mineral Commodity Summaries Annuel, Perlite, USGS, USA.

BONCUKOĞLU, R., KOCAKERİM, M, M., YILMAZ, M, T., TOSUNOĞLU, V., 2002. Utilization Of Trommel Sieve Waste (TSW) As A Additive in Portland Cement Production, Cement and Concrete Research, Vol.32, Pp; 35-39.

BONCUKOĞLU, R., KOCAKERİM, M, M., YILMAZ, M, T., TOSUNOĞLU, V., 2002. Utilization of Borogypsum as Set Retarder İn Portland Cement Production, Cement and Concrete Research, Vol.32, Pp;471-475.

BOREN ve TÇMB, 2004. Klinker Üretiminde Kolemanit Kullanımının Araştırılması ve Çimento Endüstrisinde Uygulanabilirliği, BOREN Proje No;12, Ankara.

BOREN ve DSİ, 2007**.** Bor Katkılı Çimentonun Kütle Betonu Yapılarında ve Normal Yapı Betonlarında Kullanımının Araştırılması, BOREN Proje No;12,Ankara.

BROOKS, P., 1993. A Comparative Study Of The Safety and Efficacy Of Dysprosium-165 Hydroxıde Macro Agregate, Building Materials 41, 1513-1562.

CACHİM, B, P., 2009. Mechanical Properties of Brick Aggregate Concrete, Construction and Building Materials 23, 1292-1297.

CEYLAN, A., EBEOĞLUGİL, F., 2002. Hafif ve Isı Yalıtımı Geliştirilmiş Yapı Tuğlası Üretiminde Kil ve Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10.yıl özel sayısı, s:33-38.

CORDEİRO, G., TOLEDE, R, D., TAVARES, L, M., 2008. Pozzolanic Activity and Filler Effect of Sugar Cane Bagasse Ash in Portland Cement and Lime Mortars, Cement and Concrete Composites, 30, 410-418.

ÇELİK, A,G., 2008. Bor Katkılı Selülozik İzolasyon Malzemesi Teknik Özellikleri ve Uygulama Alanları, II Ulusal Bor Çalıştayı, Ankara, s;295-301.

ÇELİK, A, G., DÖLEK, H., 2006. Selülozik İzolasyon Malzemesi Üretimi, BOREN Projesi, No; B.0014, Konya.

ÇOBANLI, M.R., 1993. Isı Direnci Yüksek Hafif Yapı Malzemesi Üretimi Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Ünv. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh., sayfa 44,

DEMİR, İ., BAŞPINAR, S, M., 2008. Effect of Slica Fume and Expanded Perlite Addition on The Technical Properties of The Fly Ash-Lime-Gypsum Mixture, Construction and Building Materials 22, 1299-1304.

DPT, 2001. Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu ,Sanayii Hammaddeleri(Seramik Killeri-Kaolen-Feldspat-Pirofillit-Wollastonit-Talk) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.

DOĞDU, Ş, M., YİĞİTLER, O., GÖRKMEN, A., 2006. Gediz Havzası Yeraltısuları Bor Kirlilği, 10. International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management,İstanbul, s;105-111.

DURMUŞ, G., ŞİMŞEK.,O, 2008. Uçucu Küllerin Beton Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanımının Araştırılması, Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi, Cilt;1 Say;1, s; 1-6.

ERDOĞAN, Y., 2007. Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, s;300.

ERDOĞMUŞ, E., ERDOĞAN, Y., ÖZMAL, F., AVCIATA, U., KALFA, M., 2006. Kolemanit Konsantratör Atığı ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi, III Uluslararası Bor Sempozyumu,Ankara, s; 113-116.

ETİ MADEN, 2007. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2007 Yılı Faaliyet Raporu 55 sayfa, Ankara.

ETİ MADEN, 2008. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 2008 Yılı Faaliyet Raporu 79 sayfa, Ankara.

ETİ MADEN, 2009. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Bor ürünleri ve Kullanım Alanları, 63 sayfa, Ankara.

FRAGOULİS,D., STAMATAKİS, M,G., PAPAREORGİOU, D., CHANİOTAKİS, E., 2005. The Physical and Mechanical Properties of Composite Cement Manufactured with Calcareous and Clay Greek Diatomite Mixtures, Cement and Concrete Research, Vol.27, pp.205-209.

GENNARO, R., CAPPELLETTİ, P., CERRİ, G., GENNARO, M., DONDİ, M., LANGELLA, A., 2004. Zeolitic Tuffs as Raw Materials for Lightweight Aggregates, Applied Clay Science 25, 71-81.

GENNARO, R., CAPPELLETTİ, P., CERRİ, G., GENNARO, M., DONDİ, M., LANGELLA, A., 2005. Neapolitan Yellow Tuff as Raw Material for Lightweight Aggregates in Lightweight Structural Concrete Production, Applied Clay Science 28, 309-319.

GÜNDÜZ, L., SARIIŞIK, A., DAVRAZ, M., UGUR., ÇANKIRAN, O., 1998. Pomza Teknolojisi Cilt I (a), SDÜ Yayını, Isparta.

GÜNDÜZ, L., 2001. Gözenekli ve Hafif Doğal Kayaçlardan Elde Edilen Blok Malzemelerin Kaya Mekaniği Açısından İrdelenmesi, Türkiye 17.Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara.

HELVACI, C., FİRMAN, R, J., 1977. Emet Borat Yataklarının Jeolojik Konumu ve Minerolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s; 31-50.

HELVACI, C., 1984. Occurrence of Rare Borate Minerals: Veatchite-A, Tunellite, Teruggite and Cahnite in the Emet Borate Deposits, Turkey. Mineral.Deposita 19: 217-226.

HELVACI, C., ALACA, O., 1991. Bigadiç Borat Yatakları ve Çevresinin Jeolojisi ve Mineralojisi. MTA Dergisi 113: 61-92.

I.S.R.M., 1981. Rock Characterisation, Testing and Monitoring. Editor; E. T. Brown, Pergamon Pres.

JENKIS, R., GOULD, R. W. And GEDCKE, D., 1995. Quantitive X-Ray Spectrometry, 2. Edition, New York Marcel Dekker.

KAHRAMAN, S., 2002. Estimating the P-Wave Velocity Value of intact Rock From ndirect Laboratory Measurements, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 39, page: 101-104.

KAKAÇ, S., 1998. Örneklerle Isı Transferi, Tıp & Teknik Yayınları, 358s, Ankara.

KANTARCI, A., TÜRKMEN,İ., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Geçirimlilik Katsayısı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Farklı Kür Şartlarının ve Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkileri, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, s: 361-369.

KARASU, B., KAYA,G., TAYKURT,M., ÇAKIR, A., KAVAS, T., 2006. Boraks Atıklarının Hızlı Pişirim Porselen Karo Cam-Seramik Sırlarının Son Özelliklerine Etkisi, III. Uluslararası Bor Sempozyumu,Ankara, s; 91-95.

KARTAL, A., EVCİN, A., KAVAS, T., SAKA, H., 2005. Klasik Seramik Bir Massede Flaks Bir Katkı Kullanımının Teknik Özellikler Üzerindeki Etkilerin Araştırılması, I Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara, s; 83-88.

KAVAS, T., ÖNCE, G., OLGUN, A., ERDOĞAN, Y., 2005. Kolemanit Katkılı PÇ Üretiminde Priz Hızlandırıcı Olarak Organik Katkı Malzemesinin Kullanılabilirliği, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı,Ankara, s; 121-124.

KAVAS, T., 2006. Use of Boron Waste as a Fluxing Agent in Production of Red Mud Brick, Building and Environment, Vol.41, pp.1779-1783.

KELEŞ, G., KOCAKERİM, M., BONCUKOĞLU, R., 2005. Borojips ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması, I.Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı,Ankara, s; 105-112.

KILIÇ, İ., 2009. Atık Betonların Geri Dönüşümünde Mineral Beton Katkılarının Kullanımı, 7. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir-Kuşadası, s; 157-163.

KILIÇ, A, M., ÇELİK, A, G., 2007. Türkiye Bor Rezervleri ve Ekonomik Açıdan Kullanılabilme Olanaklarının Değerlendirilmesi, 6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s; 341-353.

KILIÇ, A, M., ÇELİK, A, G., KILIÇ, Ö., ANDAÇ, İ., 2009. Türkiye Bor Madenciliği, Dünya Bor Piyasasındaki Durumu ve Ekonomik Açıdan Önemi, 4. Uluslar Arası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Eskişehir, s; 23-34.

KIRGIZ, M., 2009. Perlit Çimento Üretiminde Endüstriyel Atıkların Hammadde Olarak Kullanımının İncelenmesi, 7. Uluslar arası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir-Kuşadası, s; 111-118

KÖKTÜRK, U., 1993. Endüstriyel Hammaddeler, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, No:205-256.

KÖSEOĞLU, K., 2007. Talaş ve Strafor Katkılı Tuğla Üretimi, Soma Meslek Yüksek Okulu Teknik Bilimler Dergisi, Cilt:2, Sayı: 8, Manisa, s: 10-21.

KURT, R., MENGELOĞLU, F., TUTUŞ, A., ALMA, M, H., ÇETİN, N., KARADEMİR, A., 2006. Bor Bileşikleri Kullanılarak Yanmaya Dayanıklı Odun-Plastik Kompozitleri Üretimi, Boren proje, No; 38-Ç-37-22, Ankara, s;83.

LİNN, K., CHANG, W., LİNN, D., 2008. Pozzolanic Characteristics Of Pulverized İncinerator Bottom Ash Slag, Construction and Building Materials, 22, 324-329.

LOW, N., M., BEADOİN, J., J., 1994. Mechanical Properties and Microstructure of High Alumina Cement- Based Binders Reinforced with Natural Wollastonite Micro-Fibres, Cement and Concrete Research, 24(4), 650-660.

MA, W., BROWN, W, P., 1992. Mechanical Behavior and Micro Structural Development in Phosphate Modified High Alümina Cement, Cement and Concrete Research, 22, 1192-1200.

MORSY, M, S., AGLAN, A, H., RAZEK, M, M., 2009. Nanostructured Zonolite-Cementitious Surface Compounds for Thermal İnsulation, Construction and Building Materials 23, 515-521.

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J., 1993. Concrete Tekhnology, Longman Scientific and Technical, USA.

NEVILLE, A.M., 1995. Properties of Concrete. Longman Group Limited. UK.

OGLE, D., 2003. Making Lightweight Refractory Ceramic From Perlite and Clay, Aprovecho Research Center, p;2-7.

OKUCU, A., 1992. Hafif inşaat Malzemeleri (Anorganik). Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Bursa, 89 sayfa.

ÖİK, 2006. (Özel İhtisas Komisyonu) Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Bor Çalışma Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Ankara.

ÖİK., 2001. (Özel İhtisas Komisyonu) Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri, Ankara, s; 105.

ÖZDEMİR, A., 2002. Bazı Yapı Malzemelerinin Kapiler Su Emme Potansiyelleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi Araştırma Makalesi 26(1), Konya, s: 19-32

ÖZDEMİR, M., ÖZTÜRK, N., 2003. Utilization of ClayWastes Containing Boron as Cement Additives, Cement and ConcreteResearch, 33; 1659-1661.

ÖZDEMİR, M., UĞURLU, A., 2009. Boraks İçeren Puzolan Katkılı Harçların Dayanım Yönünden İncelenmesi, IV Uluslar arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, s; 753-760.

ÖZDER, E., ERDOĞAN, Y., OLGUN, A., ZEYBEK, M., 2006. Kolemanitin Frit Katkılı Ham Seramik Sır Üretiminde Kullanımı, III Uluslar arası Bor Sempozyumu, Ankara, s; 97-104.

ÖZER, M., 1979. Yapı Akustigi ve Ses Yalıtımı, İstanbul, 15-90s.

PADFİELD, T., 1999. Humidity Buffering By Absorbent Materials in Walls, Conservation Physics An Online Text Book, p; 1-6.

PAPAMENTELLOS, D., PAPANASTASİOU, D., FROGOUDAKİS, E., CİHANİOTAKİS, E., ANGELOPOULOS, N., STİVANAKİS, V., 2004. High-Alümina Cement Production from FeNi-ERF Slag, Limestone and Diasporic Bauxite, Cement and Concrete Research, 34, 941-947.

PUERTAS, F., VARELA, M., VAZGUEZ, T., 1999. Behaviour of Cement Mortars Containing an Industrial Waste from Aluminium Refining Stability in $Ca(OH)_2$ Solutions, Cement and Concrete Research, 29, 1673-1680.

RAYMENT, D, L., MAJUMDAR, A, J., 1994. Microanalysis of High-Alümina Cement Clinker And Hydrated High-Alümina Cement/Slag Mixtures, Cement and Concrete Research, 24(2), 335-342.

ROSKİLL, 2002. The Economics of Boron, ten ed., Roskill İnformation Servise Ltd., London, s;264.

ROSKİLL, 2006. The Economics of Boron, eleven ed., Roskill İnformation Servise Ltd., London, s;248.

ROSKİLL, 2010. The Economics of Boron, twelfth ed, Roskill İnformation Servise Ltd., London, s;248.

ROULİA, M., ALEXANDROS, A.., 2008. Sorption Characterization of a Cationic Dye Retained by Clays and Perlite, Microporous and Mesoporous Materials 116, 732-740.

SARIIŞIK, A., ERSOY, B., SARIIŞIK, G., DÖNMEZ, F., 2009. Pomzadan Üretilen Hafif Beton ve EPS Köpüğünden Yapılan Yalıtımlı İzolasyon Bloğunun (Powerblok) Özelliklerinin İrdelenmesi, 7. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,İzmir-Kuşadası, s; 148-156.

SAYIN, E., BATAR, T., SOLAK, Ö., YAMIK, A., TUFAN, M, B., 2007. Tinkal Cevheri ve Bor Atıklarının Seramik Yapıştırıcısı ve Su Yalıtım Harcında Kullanımı, 6. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s;428-437.

SAYIN, E., BATAR,T., TUFAN, B., KAHRAMAN, B., 2009. Bor ve Perlit Katkılı Çevre Dostu İzolasyon Liflevhası, 7. Uluslar arası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir-Kuşadası, s; 81-85.

SEYHAN, İ., 1993. Konut Sorunu ve Madencilik, Güneş Gazetesi Konuk Yazarı, 1993.

SHİ, C., WU, Y., RİEFLER, C., WANG, H., 2000. Characteristics And Pozzolanic Reactivity Of Glass Powders, Cement and Concrete Research, 35, 987-993.

SKOOG, D., A., HOLLER, F., J., AND NIEMAN, T. A., 1998. Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, Harcourt Brace College Publishers, USA.

SÖNMEZ, E., YORULMAZ, S., 1995. Kırka Boraks İşletmesi Artık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s:163-168.

ŞİMŞEK, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi,Seçkin Yayıncılık, Ankara..

TANAÇAN, L., 1993. Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s; 165.

TANIŞAN, H., METE, Z., 1985. Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Seramik. Kongresi, s;23-34, İstanbul

TANYILDIZI, H., COŞKUN, A., 2008. The Effect of High Temperature on Compressive Strenght and Splitting Tensile Strength of Structural Lightweight Concrete Containing Fly Ash, Construction and Building Materials 22, 2269-2275.

TARGAN, Ş., OLGUN, A., ERDOGAN, Y., SEVİNÇ, V., 2002. Influence of Natural Pozzolan, Colemanite Ore Waste, Fly Ash Andbottom Ash as Portland Cement Replacement, Cement and Concrete Research, Vol.34, pp.1949-1950.

TEMİZ, H., 2009. Hafif Ağırlıklı Bims Betonun Ateş Direnci ile Isı ve Ses Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi,12(2), s;8-17.

TOPÇU, B., BOĞA, R., 2004. Bor Atıklarının Çimento ve Beton Teknolojisinde Kullanılması, Akdeniz İnşaat Haber, Sayı 1, s; 21-22.

TOPÇU, B., BOĞA, R., 2005. Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı, I. Ulusal Bor Çalıştay Bildiriler Kitabı, Ankara, s; 113-120.

TOPÇU, B., BOĞA, R., DEMİR, A., 2006. Bor Atıklı Çimento Harçlarında Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, III Uluslar arası Bor Sempozyumu, Ankara, s; 117-121.

TOPÇU, B., IŞILDAĞ, B., 2008. Effect of Expanded Perlite Aggregate on The Properties of Lightweight Concrete, Journal of Materials Processıng Tchnology 204, 34-38.

TS 130, 1978. Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot. TSE, Ankara.

TS 3529, 1980. Beton Agregalarında Özgül Agırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Ankara.

TS 3649, 1982. Perlitli Isı Yalıtımı Betonu Yapım-Uygulama Kuralları ve Deney Metotları.

TS 3682, 1982. Alçılı Perlit Bölme Duvarı Elemanları.

TS 19, 1984. Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 705, 1986. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli, Ankara.

TS 4790, 1986. Tuğla ve Kremit Topraklarının Deney Metodu, Ankara.

TS 699, 1987. Muayene ve Deney Metotları.

TS 406, 1988. Beton bloklar, "Briketler-Duvarlar için", 17s, Ankara.

TS EN, 1994. Çimento-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Ankara.

TS 825, 1998. Binalarda ısı yalıtım kuralları, 81s, Ankara.

TS 32, 1999. Yapı Kireci Bölüm 2: Deney Metotları, TSE, Ankara.

TS EN 1744-1, 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz.

TS 1477 EN ISO 266, 2000. Akustik- Tercih Edilen Frekanslar, TSE, Ankara.

TS EN 1744-1, 2000. Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz.

TS 415, 2000. Isı İletkenliği ve Geçirgenliği Direncinin Yapıda Kullanılması İçin Hesap Değerinin Bulunması, TSE, Ankara.

TS 706 EN 12620, 2003. Beton Agregaları, Ankara, Türkiye.

TS 1114 EN 13055-1, 2004. Hafif Agregalar – Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette kullanım için, Ankara.

TS 13353, 2008. Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu, Ankara.

USLU, T., AROL, A, İ., 2004. Use of Waste as an Additive in Red Bricks, Waste Management, Vol.24, Pp. 217-220.

VİTRA, R, L., 2008. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Clays, USA.

VİTRA, R, L., 2009. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, Clays, USA.

WWW. Boren.gov.tr.

YAMAMOTO, T., KANUZU, T., NAMBU, M., TANOSAKİ, T., 2006. Pozzolanic Reactivity Of Flay Ash API Method and K-Value, Fuel, 85, a;2345-2351

YAMIK, A., UÇAR, A., DEMİR, U., ŞAHBAZ, U., 2004. Bor Atığının Tuğla Sanayinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, 2. Uluslar Arası Bor Sempozyumu, Eskişehir, s; 419-421.

YAPRAK, H., ŞİMŞEK, O., DEMİR, İ., 2009. Yüksek Oranda Tuğla Unu Katkılı Harçların Taze ve Sertleşmiş Özellikleri, 7. Endüstriyel Hammaddeler

YASAR, E., ERDOGAN, Y., ZAL, B., 2006. Hisarcık ve Espey Bölgesi Kolemanitlerinin Yüksek Mukavemetli Hafif Yapı Malzemesi Eldesinde Kullanılması ve Üretim Optimizasyonu, Boren proje, No; 31-Ç30-21, Adana.

YAZICI, Ş., KAYI, A., SARI, R., SAVAŞ, GÜNDOĞDU, G., 2009. Emet Bor Atığının Stoneware Bünye ve Sırlarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, IV. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, s; 761-765.

YILMAZ, A., ALP, İ., DEVECİ,H., ÇAVUŞOĞLU, İ., YALÇIN, F., 2005. Araklı Bölgesi Kil Yataklarının Tuğla ve Kiremit Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, II Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, s; 509-516.

YİĞİT, D., 1992. Perlit, DİE, Endüstriyel Hammaddeler Raporu, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Ordu'da doğdu. 1994 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1998 yılıda Fakülte birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl kendi bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2001 yılında MTA'ya mühendis olarak atandı. Aynı kurumda Mühendis, Başmühendis ve Koordinatör olarak görev yaptı. 2004 yılında Ulusal Bor Araştırma Enstitüsüne Uzman olarak atandı. Halen aynı kurumda görevine devam etmektedir. İngilizce bilmekte olup, evlidir.