T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOR ATIĞI KULLANIMININ POMZA AGREGALI HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Adile MANCI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOR ATIĞI KULLANIMININ POMZA AGREGALI HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Adile MANCI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Prof. Dr. Ali SARIIŞIK'ın danışmanlığında, Adile MANCI'nın hazırladığı **"Bor Atığı Kullanımının Pomza Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması"** konulu bu çalışma 24/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Prof. Dr. Ali SARIIŞIK

Üye :Prof. Dr. Metin DAVRAZ

Üye :Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 19101

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 4
2.1. Pomza Agregaları 4
2.2. Pomza ile İlgili Yapılan Çalışmalar 5
2.3. Bor 11
2.4. Bor İle İlgili Yapılan Çalışmalar 13
2.5. Hafif Beton 16
2.5.1. Hafif betonun tanımı 16
2.5.2. Hafif betonların sınıflandırılması 17
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Materyal 18
3.1.1. Çimento 18
3.1.2. Agrega 18
3.1.3. Karma suyu 21
3.1.4. Tinkal atığı 22
3.1.5. Kimyasal katkı 23
3.1.6. Sodyum Alüminat 24
3.2. Yöntem 25
3.2.1. Hafif beton karışım hesapları 25
3.2.2. Hafif beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür 27
3.2.3. Taze hal özellikleri 30
3.2.3.1. Taze beton yoğunluk deneyi 30
3.2.4. Sertleşmiş hal özellikleri 31
3.2.4.1. Basınç dayanımı deneyi 31
3.2.4.2. Birim hacim kütle deneyi 32
3.2.4.3. Su emme deneyi 33
3.2.4.4. Ultrases geçiş hızı deneyi 34
3.2.4.5. Eğilme dayanımı deneyi 36
3.2.4.6. Isı iletkenlik deneyi 37
3.2.4.7. Donma çözülme dayanımı deneyi 38
3.2.4.8. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA) 39
3.2.4.9. SEM-EDX analizi 40
3.2.4.10. Civaporozimetri analizi 41
3.2.4.11. XRD analizi 41
3.2.5.12. FTIR spektroskopisi 42
3.2.5.13. XRF analizi 43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 44
4.1. Taze Hal Özellikleri 44
4.1.1. Taze beton yoğunluğu deneyi 44
4.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri 45
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi 45
4.2.2. Birim hacim kütle deneyi 46
4.2.3. Su emme deneyi 48
4.2.4. Ultrases geçiş hızı deneyi 50
4.2.5. Eğilme dayanımı deneyi 52
4.2.6. Isı iletkenlik deneyi 53
4.2.7. Donma-çözülme dayanımı deneyi 54
4.2.8. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA) 56
4.2.9. SEM-EDX analizi 60
4.2.10. Civaporozimetre analizi 64
4.2.11. XRD analizi 64
4.2.12. FTIR analizi 68

4.2.13. XRF analizi 71
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 72
5.1. Sonuçlar 72
5.2. Öneriler 74

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOR ATIĞI KULLANIMININ POMZA AGREGALI HAFİF BETONLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Adile MANCI

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Yıl: 2019, Sayfa:81

Binalarda ısıtma ve soğutma için harcanan enerji, birçok ülkede enerji tüketiminin ana kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, enerjiyi korumak ve enerji kayıplarını en aza indirmek için uygun alternatifleri bulmak amacıyla sürekli bir araştırma yapılmaktadır. Yapı endüstrisinde, malzeme üretimi sürecinde doğal zenginliklerin kullanılması ve atıkların hammadde olarak değerlendirilmesi enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, pomza hafif agregası ile değişik oranlarda çimento dozajı arttırılarak üretilen hafif beton harçlarına öğütülmüş tinkal atığının etkisi araştırılmıştır. Beton harçların üretiminde 0-4 mm boyutundaki Nevşehir yöresi asidik pomza agregası kullanılmıştır. Karışımların su/çimento oranı 0.50 olarak sabit tutulmuştur. Üç farklı çimento dozajında her dozajda kontrol ve tinkal atığı katkılı olmak üzere toplam 6 karışım oluşturulmuştur. Çeşitli denemeler sonucu optimal tinkal atık oranı %1 olarak belirlenmiştir. Her karışımdan 12 adet küp ve 3 kiriş olmak üzere toplamda 72 adet 10×10×10 cm küp ve 18 adet 35×8×5 cm boyutlu numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7 ve 14 günlük su kürüne tabi tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde su emme, birim hacim kütle, basınç, eğilme, donma-çözülme, ultrases geçiş hızı, termal iletkenlik deneyleri, TGA-DTA, SEM-EDX, civaporozimetre, XRD, XRF ve FTIR analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, tüm çimento dozajlarında kontrol ve tinkal atığı katkılı numuneler üzerinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

ANAHTAR KELİME: Pomza agrega, hafif beton, teknik özellikler, bor atığı

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BORON WASTE USE ON THE ENGINEERING PROPERTIES OF PUMICE AGGREGATED LIGHT CONCRETE

Adile MANCI

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali SARIIŞIK
Year: 2019, Page: 81

Energy used for heating and cooling in buildings is considered to be one of the main sources of energy consumption in many countries. Therefore, continuous research is being carried out to find suitable alternatives to preserve energy and minimize energy losses. In the construction industry, the use of natural riches in the material production process and the utilization of waste as raw materials are becoming increasingly important in terms of energy efficiency and sustainability. In this study, the effect of ground tinkal waste on light concrete mortars produced by increasing the cement dosage in different proportions with pumice light aggregate was investigated. In the production of concrete mortars, acidic pumice aggregate of Nevsehir region of 0-4 mm size was used. The water / cement ratio of the mixtures was kept constant at 0.50. A total of 6 mixtures were formed at each dosage in three different cement dosages with control and tinkal waste added. As a result of various trials, the optimal rate of tinkal waste was determined as 1%. A total of 72 pieces of 10 × 10 × 10 cm cubes and 18 pieces of 35 × 8 × 5 cm sized specimens were produced. The samples were removed from the mold and subjected to water curing for 7 and 14 days. Water absorption, unit volume mass, compressive strength, bending, freeze-thaw, ultrasound transition rate, thermal conductivity tests, TGA-DTA, SEM-EDX, mercury porosimeter, XRD, XRF and FTIR analyzes were performed on the samples and the results were evaluated. The results of the study are given comparatively on control and tincal waste added samples in all cement dosages.

KEYWORDS: Pumice aggregate, lightweight concrete, technical specifications, boron waste

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi, Prof. Dr. Ali SARIIŞIK'ın danışmanlığında tamamlanmıştır. Tezin konusunun seçiminde, uygulanmasında ve çalışmamda yardımlarını ve değerli görüşlerini esirgemeyen sayın danışmanım Prof. Dr. Ali SARIIŞIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca, 19101 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu katkılarından dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince laboratuar olanaklarını kullanmamı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen HRÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Anabilim Dalı Başkanlığı'na ve bölümdeki değerli hocalarıma, laboratuar personeline, HRÜ Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. İsmail HİLALİ'ye, Doç. Dr. Mustafa ÖZEN'e, Arş. Gör. Gökhan DEMİRCAN'a, Arş. Gör. Harun ÇİFCİ'ye, HRÜ Mühendislik Fakültesi Çevre Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Gencay SARIIŞIK'a, deneysel çalışmalarımın gerçekleşmesinde desteklerini esirgemeyen HRÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü yüksek lisans öğrencileri Sümeyra GERGİNCİ'ye, Nur Erdem AKGÜL'e ve Yüksek İnşaat Mühendisi Songül CAN'a, deneysel aşamada değerli fikirleriyle ışık tutan Sayın Yüksek Maden Mühendisi İrfan YILMAZ'a, malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen SOYLU MADENCİLİK şirketine ve ETİ MADEN Eskişehir-Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Tezimin analiz çalışmaları boyunca yardımlarından dolayı Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne, Afyon Kocatepe Üniversitesi Akredite Doğal Taş Analiz Laboratuarı'na teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte motivasyon sağlayan, ümitsizliğe kapıldığımda değerli vakitlerini ayırıp cesaretlendiren kıymetli arkadaşlarım Berna İSTEGÜN ve Emrah COŞKUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlerimi borçlu olduğum maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili babam Yusuf Ziya MANCI'ya, annem Aliye MANCI'ya, kardeşlerim Ebru- Hatice-Ayşenur-Muhammed Emir MANCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin değerlendirilmesi aşamasında, değerli katkı ve önerilerinden dolayı tez jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Metin DAVRAZ ve Sayın Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ'a teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3. 1. Asidik pomzalara ait ocak görüntüsü 19
Şekil 3. 2. Dört farklı boyuttaki asidik pomza agregaları 19
Şekil 3. 3. Pomza agregalarına ait granülometri eğrisi 21
Şekil 3. 4. Tinkal şlam atığı 22
Şekil 3. 5. Öğütülmüş tinkal atığı 23
Şekil 3. 6. Sodyum alüminat 25
Şekil 3. 7. Karışımların üretilmesinde kullanılan mikser 28
Şekil 3. 8. Hafif beton karışımı 29
Şekil 3. 9. Karışımların kalıplara yerleştirilmesi 29
Şekil 3. 10. Sertleşmeye bırakılan hafif beton numuneleri 30
Şekil 3. 11. Kür ortamında bekletilen numuneler 30
Şekil 3. 12. Taze beton yoğunluğunun belirlenmesi 31
Şekil 3. 13. Basınç dayanımı deney düzeneği 32
Şekil 3. 14 24 saat sonunda etüv kurusu numuneler 33
Şekil 3. 15. 24 saat suda bekletilen numuneler 34
Şekil 3.16. Ultrases geçiş hızı test cihazı 35
Şekil 3. 17. Ultrases geçiş hızı tayini 36
Şekil 3. 18. Eğilme dayanımı tayini 37
Şekil 3. 19. Isı iletkenlik değerinin belirlenmesi 38
Şekil 3. 20. Numuneler üzerinde donma çözülme dayanımı deneyi 38
Şekil 3.21. TGA-DTA cihazı 39
Şekil 3.22. Numune hazırlama 40
Şekil 3. 23. SEM-EDX cihazı 40
Şekil 3. 24 Civaporozimetre cihazı 41
Şekil 3. 25. XRD cihazı 42
Şekil 3. 26. FTIR analiz cihazı 43
Şekil 3. 27. XRF cihazı 43
Şekil 4.1. Tüm karışımlara ait BHK grafiği 44
Şekil 4. 2. Basınç dayanımı grafiği 46
Şekil 4. 3. Kuru birim hacim kütle grafiği 48
Şekil 4. 4. Su emme grafiği 49
Şekil 4. 5. UPV grafiği 51
Şekil 4. 6. Eğilme dayanımı grafiği 52
Şekil 4. 7. Isı iletkenlik grafiği 53
Şekil 4. 8. Donma-çözülme sonrası basınç dayanım kaybı grafiği 55
Şekil 4. 9. Donma-çözülme sonrası kütle kaybı grafiği 56
Şekil 4. 10. 160K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 57
Şekil 4. 11. 160B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 57
Şekil 4. 12. 176K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 58
Şekil 4. 13. 176B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 58
Şekil 4. 14. 184K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 59
Şekil 4. 15. 184B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi 59
Şekil 4. 16. 160K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 61
Şekil 4. 17. 160K kodlu numuneye ait EDX spekturumu 61
Şekil 4. 18. 160B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 61
Şekil 4. 19. 160B kodlu numuneye ait EDX spektrumu 62
Şekil 4. 20. 176K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 62
Şekil 4. 21. 176B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 62
Şekil 4. 22. 176B kodlu numuneye ait EDX spektrumu 63
Şekil 4. 23. 184K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 63
Şekil 4. 24. 184B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü 63
Şekil 4. 25. 184B kodlu numuneye ait EDX spektrumu 64

Şekil 4. 26. 160K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 65
Şekil 4. 27. 184K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 65
Şekil 4. 28. 160B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 66
Şekil 4. 29. 176B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 66
Şekil 4. 30. 184B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 66
Şekil 4. 31. Isıl işlem görmüş 160K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 67
Şekil 4. 32. Isıl işlem görmüş 160B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı 67
Şekil 4. 33. 160K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 68
Şekil 4. 34. 176K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 68
Şekil 4. 35. 184K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 69
Şekil 4. 36. 160B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 69
Şekil 4. 37. 176B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 70
Şekil 4. 38. 184B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği 70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3. 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri 18
Çizelge 3. 2. Nevşehir asidik pomzasının fiziksel özellikleri 20
Çizelge 3. 3. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal özellikleri 20
Çizelge 3. 4. İçme suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri 21
Çizelge 3. 5. Tinkal atığının kimyasal analizi 23
Çizelge 3. 6. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler 24
Çizelge 3. 7. Sodyum alüminat teknik özellikler 24
Çizelge 3.8. Hafif beton karışım hesapları 26
Çizelge 4.1. Taze beton yoğunluk deney sonuçları 44
Çizelge 4. 2. KYD basınç dayanım deney sonuçları 46
Çizelge 4. 3. Birim hacim kütle deney sonuçları 47
Çizelge 4. 4. Su emme deney sonuçları 49
Çizelge 4. 5. UPV deney sonuçları 50
Çizelge 4. 6. Eğilme dayanımı deney sonuçları 52
Çizelge 4. 7. Isı iletkenlik hesap değerleri 53
Çizelge 4. 8. Donma-çözülme deneyi öncesi ile sonrası numunelerin basınç dayanımları, dayanım kaybı (%) ve kütle kayıpları (%) 55
Çizelge 4. 9. 14 günlük numunelere ait civaporozimetre analizi sonuçları 64
Çizelge 4. 10. Tüm numunelere ait XRF analiz sonuçları (%) 71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
160K	160 çimento dozlu kontrol numune
160B	160 çimento dozlu bor atığı katkılı numune
176K	176 çimento dozlu kontrol numune
176B	176 çimento dozlu bor atığı katkılı numune
184K	184 çimento dozlu kontrol numune
184B	184 çimento dozlu bor atığı katkılı numune
ρ	Birim hacim kütle, g/cm^3
M_{kuru}	Numunenin 24 saat sonundaki etüv kurusu ağırlığı, g
V	Ultrases hızı, km/s
f_{cf}	Eğilme dayanımı, N/mm^2
P	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N
δ_k	Ağırlıkça su emme yüzdesi, %
G_d	Suya doygun numune ağırlığı, g
G_k	Etüv kurusu numune ağırlığı, g
F	Kuvvet, N
b	Kiriş genişliği, mm
h	Kiriş yüksekliği, mm
L	Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık, mm
BHK	Birim hacim kütle
KYD	Kuru yüzey doygun

1. GİRİŞ

Günümüzde geri dönüştüremediğimiz atık maddeler giderek artmakta ve bu durum hem atık sahalarını doldurmakta hem de çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Tüketimin hızla arttığı dünyamızda atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması büyük önem arz etmektedir. Fakat ülkemizde bu duruma gereken hassasiyetle yaklaşılmamaktadır.

Türkiye, sahip olduğu bor mineralleri rezervlerinin büyüklüğü, minerallerin Dünya pazarlarında aranılan nitelikleri ve çeşitliliği açısından Dünyada birinci sırada bulunmaktadır (Poslu ve Arslan, 1995).

Ülkemizde ve Dünyada bora olan talebin artması sonucu işlenen bor miktarı artmıştır (Çetin, 2006). Bu üretim artışının sonucunda, borun toz ve kırıntı atıkları, tesislerin atık sahalarına aktarılmaktadır. İnşaat sektöründe atık borların beton ve çimentoya katkı malzemesi, baraj, köprü ve yol yapımında da dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirtilmektedir (Bentli ve Çakı, 2001).

Son yıllarda enerji verimliliği kavramının Dünya'da ve ülkemizde ön plana çıkmasıyla birlikte bu konu ile ilgili gerekli yasa ve yönetmelikler yürürlüğe girmiş, özellikle de binalarda tüketilen enerjinin mümkün olan en verimli şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla yaptırımlar uygulanmaya başlanmıştır. Mevcut kaynaklar ile en az maliyet ve teknik özellikler bakımından en mükemmel yapı malzemeleri tercih edilmeye başlanmıştır. Bu bağlamda yapı malzemeleri için istenilen üstün teknik özelliklerin başında yalıtımlı olması, yani binanın ısı, su, ses ve yangın yalıtımını aynı anda sağlaması gelmektedir. Ayrıca Türkiye için en büyük ticari sorunlardan biri nakliye maliyetleridir. Yalıtımlı yapı malzemeleri bünyelerinde boşluklar ihtiva eder ve bu boşluklar da malzemenin birim ağırlığını düşürür. Bu sayede düşük birim ağırlığa sahip ürün türevleri nakliye maliyetleri açısından yüksek avantajlar sağlayacaktır (Efe, 2011).

Ülkemizde, tasarruf sağlamak için en ucuz ve bol kaynaklardan yararlanmak mümkündür. Gelişmiş ülkelerde pomza, inşaat endüstrisinde ısı ve ses izolasyonu sağlamak yönünde ciddi miktarlarda tüketilen önemli ve ucuz bir hammaddedir.

Pomza ilk olarak Yunanlılar ve daha sonra da Romalılar tarafından kullanılmıştır. Eski Romalılar ve Yunanlılara ait yapıların birçoğunda hala gözlemlenebilmektedir. A.B.D.'nde 1851 yılından beri kullanılmıştır. Bu tarihten 1963 yılına kadar yerli pomza endüstrisi 15 eyalette 103 işletmeye kadar yayılmıştır. San Fransisko yakınlarındaki Mercet Gölü'nde aşındırıcı pomza olarak kullanılmak üzere 1983'te 70 bin ton kadar üretilmiştir. Los Angles'ta 1908'den 1918'e kadar çimento ile karıştırılarak su kemerinin yapımında kullanılmıştır. Hafif-yalıtımlı beton agregası olarak 1935'te A.B.D.'nde kullanılmaya başlanmıştır (Gündüz, 1998).

Pomza betonunu normal betondan ayıran önemli özelliklerden biri de hafif olmasıdır. Bu nedenle işçilik ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca ısıl iletkenlik katsayısı yönünden normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı bilinmektedir. Bu özelliğinden ötürü binalarda enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır (Dinçer ve ark., 2015).

İnşaat sektöründe bina ağırlıkları önemli bir sorundur. Bu problemi çözebilmek için geçmişten günümüze çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Daha çok hafifliğin ön planda tutulmasının yanında, malzemenin doğal olması, ısı ve ses izolasyonu sağlaması, yüksek sıcaklıklara karşı koyabilmesi gibi özellikleri barındırması tercih edilmiştir. Bu aranan özellikleri sağlayan tuğla yerine, günümüzde inşaat sektörünün gelişmesi ve modern tekniklerin ortaya çıkması ile hafif malzemelerin kullanımı önem kazanmıştır.

Pomza agregalı hafif betonların üretim yöntemi, agrega çeşidi, karışım oranları gibi faktörlere bağlı olarak birim ağırlıkları dolayısıyla yalıtım ve dayanım özellikleri değişebilmektedir. Hafif betonlarda dolu ve taşıyıcı olmayan yalıtım elemanları

üretilebilmektedir. Başarılı sonuçlar elde edilince günümüzde taşıyıcı eleman olarak kullanılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır (Gündüz, 1998).

Bu çalışmada, bor atığı kullanımının pomza agregalı hafif betonların mühendislik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bağlayıcı olarak değişik oranlarda Portland çimentosu ile Nevşehir asidik pomza ve tinkal atığı içerikli reçeteler oluşturulmuştur. Üretilen malzemenin ekonomik olması amaçlanmakla birlikte özellikle hafif, yeterli ısı yalıtımı ve basınç dayanımına sahip olması hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Pomza Agregaları

İtalyanca bir sözcük olan pomza (ponza) teriminin farklı dillerde değişik isimlendirmeleri bulunmaktadır. İngilizce'de Pumice, Fransızca'da Ponce, Almanca'da Bims olarak adlandırılmaktadır. Türkçe'de ise köpüktaşı, süngertaşı, nasırtaşı, hışırtaşı, küvek, kisir gibi birçok isimle bilinmektedir.

Fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı olan pomza, volkanik olaylar sonucu oluşmuş süngerimsi, boşluklu, camsı, volkanik bir kayaç türüdür. Pomza, sayısız gözenek içeren bir malzemedir. Bunun sebebi oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani soğuması ve ani olarak bünyeyi terk etmesidir. Bağlantısız ve boşluklu gözenek yapısına sahip olduğundan geçirgenliği düşük, ses ve ısı yalıtımı yüksektir. Pomzayı diğer volkanik camsı kayaçlardan ayıran özellikleri gözenekliliği, rengi ve kristal suyu bulundurmamasıdır.

Mohs skalasına göre sertliği 5-6'dır. Pomzanın genel bileşimi ; %60-75 SiO_2, %13-17 Al_2O_3, %1-3 Fe_2O_3, %1-2 CaO, %7-8 Na_2O- K_2O ve az miktarda TiO_2 ve SO_3'den oluşmaktadır. İçerdiği SiO_2 oranı ile abraziflik özelliği bulunmaktadır. Bu özelliğinden dolayı çeliği kolaylıkla aşındırabilmektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ateşe ve ısıya yüksek direnç göstermesini sağlamaktadır. Tekstil sanayinde, K_2O ve Na_2O reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir (DPT, 2001).

Volkanik olaylar sonucunda iki tür pomza oluşmuştur. Bunlar bazik ve asidik pomzadır. Bazik pomza, kahverengimsi ve koyu renklidir. Özgül ağırlığı 1-2 g/cm^3 aralığındadır. En yaygın olarak bulunan ve kullanılan ise asidik pomzadır. Grimsi ve beyaz renktedir. İnşaat sektöründe tercih edilen bir kullanım alanına sahiptir (DPT, 2001).

2.2. Pomza ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Köse ve Pamukçu (1997), bims diye nitelenen ince boyutlu agreganın inşaat bloğu yapımında kullanılması üzerine çalışmışlardır. Isı ve ses yalıtımı ile basınç mukavemeti gibi özellikleri araştırmışlardır.

Yıldırım (1995), hafif ve normal agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan mekanik davranışına etkisini araştırmıştır. Üretilen betonlarda granülometri, su-çimento oranı ve en büyük agrega boyutunu sabit tutarak agrega hacim konsantrasyonunu değiştirmiştir. Agrega konsantrasyonundaki artışın çakıllı normal ve pomza taşı agregalı hafif betonlarda, süreksizlik sınırındaki Poisson oranını düşürdüğü, kırma taşlı normal betonlarda ise bu oranın bir minimumdan geçtikten sonra arttığını görmüştür. Agrega konsantrasyonundaki artışın kırmataş ve çakıl agregalı betonların yarma-çekme dayanımını arttırdığı, buna karşın hafif agregalı olanınkini düşürdüğü, çekme şekil değiştirme kapasitesini ise azalttığını belirtmiştir.

Uğur (2003), doğal hafif agrega türlerinin hafif beton karışımı içerisinde kırmataş agrega olarak değerlendirilmesinde etken değişkenleri araştırmıştır. Düşük yoğunluğa sahip hafif betonlar, normal betonlara kıyasla daha yüksek yalıtımlı olmasına karşın daha fazla çimento kullanımı gerektirdiğini belirtmiştir. Yüksek maliyeti olan hafif agregaya birde ek maliyet olarak çimento maliyeti eklendiğini ifade etmiştir. Ancak tüm bu belirtilenlerin yanı sıra malzemelerin maliyetlerinden önce hafif betonun kullanıldığı yapının temel tasarım maliyetinin dikkate alınmasının daha önemli olduğunu vurgulamıştır.

Tolğay ve ark. (2004), Nevşehir pomzasının kimyasal, fiziksel, mekanik ve jeolojik özelliklerini araştırarak hafif betonda kullanılabilirliğini irdelemiştir. Nevşehir pomzası kullanılarak üretilen beton numunelerine uygulanan deneyler sonucunda, pomzanın düşük birim hacim ağırlığı ve dayanımından ötürü kullanılabilir

olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca pomzanın ısı ve ses yalıtım özelliği yüksek olduğundan enerji tasarrufu yönünden fayda sağlayacağını belirtmiştir.

Ceylan (2005), Nevşehir İli Göre Beldesi'nden, Kayseri İli Talas İlçesi'nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi'nden çıkarılan perlitik pomzaların taşıyıcı olmayan hafif beton üretiminde, hafif agrega olarak kullanımı ve pomza kullanılarak üretilen hafif betonların belirli bir sıcaklık etkisinden sonra dayanım değişimlerini incelemiştir. Sıcaklık uygulamasından sonra en yüksek dayanıma sahip karışımın İzmir-Menderes perlitik pomzası ile oluşturulan hafif beton numunelerinden elde edildiğini belirtmiştir.

Gündüz ve Şapçı (2005), çalışmada pomza taşı tanıtılmış, Türkiye için önemi ve farklı endüstri alanlarında ki kullanımından bahsetmişlerdir.

Yaşar ve Erdoğan (2005), asidik ve bazik pomzaların inşaat sektöründe hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Asidik pomza, bazik pomza ve kireçtaşı agregasının mekanik ve fiziksel özelliklerini karşılaştırmışlardır. Deneyler sonucunda asidik pomzanın birim hacim ağırlığının düşük, mukavemetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bazik pomzanın asidik pomzadan daha yüksek mukavemete sahip olduğu ancak asidik pomzanın birim hacim ağırlığının daha düşük olmasından dolayı hafif beton üretiminde avantaj sağladığı belirtilmiştir. Kireçtaşı agregalarının mekanik değerleri bazik pomza ile yaklaşık değerde çıkmasına karşın sahip olduğu yüksek birim hacim ağırlığından dolayı dezavantajlı olduğunu belirtmişlerdir.

Gündüz ve ark. (2006), kür süresine bağlı olarak bims beton örneklerinin birim ağırlık değerlerinin düştüğünü, taze bims beton harcının, doğal ortam kürleme sürecinde giderek bünyesinden karışım suyunu atması sebebiyle kuru bir hale geldiğini ifade etmişlerdir. Kontrol bims beton örneklerinde süreye bağlı bu nem atımının, 7. günde %4.71, 14. günde %7.51 ve 28. günde %12.74 olarak gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bims beton örneklerinin basınç dayanım

değerlerinin, birim ağırlığın tersine kür süresine bağımlı olarak arttığını ifade etmişlerdir.

Başpınar ve Gündüz (2006), Orta Anadolu bölgesinde Miyosen yaşlı volkanizma sonucu oluşmuş pomza yataklarından alınan örnekler üzerinde yapılan analizler sonucunda kayacın mineralojisi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanım alanlarına etkisini çalışmışlardır. Çalışmada Karaman pomzası olarak bilinen pomza kayacının açık ve kapalı gözeneklere sahip olduğu, Aksaray pomzasının mineralojik ve jeokimyasal olarak andezitik-dasitik özellik gösteren magmaya bağlı oluşmuş ve kalkalkalen özellik taşıdığı, Nevşehir Yöresi pomza kayacının cam matriksten oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda İç Anadolu bölgesinde bulunan pomzaların asidik özellikte olduğu ve inşaat sektöründe aranan kimyasal özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Uygunoğlu ve Ünal (2007), pomza hafif agregası ile üretilen harçların kürlemesinde otoklav basınçlı buhar kürü uygulayarak hafif beton harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Aynı özellikteki numunelerin bir bölümünü 7 ve 28 gün olmak üzere havada ve suda kür etmişlerdir. Otoklav basınçlı buhar kürüne maruz kalan pomzalı harç numunelerinin, suda ve havada kür edilen numunelere göre daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Coşkun ve Tanyıldızı (2007), pomza ve silis dumanı katkılı hafif beton üretmişlerdir. Bu betonların basınç dayanımları ve ultrasonik ses geçirgenliği arasındaki ilişkiyi, değişik kür koşulları altında incelemişlerdir. Çalışma sonucunda her yaşta en yüksek değeri suda kür edilen numuneler sağlamıştır. En düşük değerler ise hava kürü uygulanan numunelerde görülmüştür. Silis dumanı katkılı betonlar ise her kür koşullarında ve her yaşta en yüksek değeri göstermiştir.

Subaşı (2009), değişik çimento dozajları ile genleştirilmiş kil kullanarak oluşturulan hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliğini araştırmıştır. Çalışma

sonucunda 1.7 kg/m^3 yoğunluğunda ve basınç dayanımı 41.27 MPa değerinde bir hafif betonun üretilmesinin mümkün olacağını bildirmiştir.

Ersoy ve ark. (2010), asidik pomzalar üzerine bir dizi karakterizasyon testleri (MIP, SEM, XRD, DTA-TG, FTIR) ile asidik pomzaların sudaki elektrokinetik özelliklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak pomzadaki oval ve düzensiz boşlukların, partikül boyutuna bağlı olarak 0.05 um ile 2 mm arasında değiştiğini ve bu boşlukların genellikle birbiriyle kesişmediğini göstermiştir. Pomza tane boyutu küçüldükçe, hem toplam gözenek hacmi hem de toplam gözenek yüzey alanın önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir.

Gönen ve Yazıcıoğlu (2010), çalışmada genleştirilmiş perlit ve bazaltik pomza değişik oranlarda yer değiştirilerek KYHB'ler üretmişlerdir. Farklı kür ortamında, vibrasyonla sıkıştırılan hafif betonların ve dere agregalı normal ağırlıklı kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Hafif agrega ile üretilen KYHB'lerin 28 günde 50 MPa basınç dayanımına ulaştığını ve kür koşullarının belirgin bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Sarıışık ve Sarıışık (2010), pomza ve EPS (genleştirilmiş poliestiren köpük) kullanılarak üretilen izolasyon bloklarının yeni bir yöntemle üretilmesi ve bu yöntemle üretilen ürünlerin TS EN standartlarına uygunluğu üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda üretilen izolasyon bloklarının duvar örme maliyetinin, birim hacim ağırlığının ve ısı iletkenliğinin diğer yapı bloklarına göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Davraz ve Başpınar (2011), doğal ve yapay hafif agregalardan ürettikleri hafif betonların görünür ve teorik boşluk oranlarının, hafif betonun mekanik özelliklerine ve birim hacim kütlesine etkisini araştırmışlardır. Hafif betonların basınç dayanımları ve birim hacim kütlelerinin teorik boşluk oranı ile yakın ilişkisi olduğunu

belirtmişlerdir. Ayrıca teorik boşluk oranı kullanılarak bu özelliklerin tahmini için eşitlikler de önermişlerdir.

Binici ve ark. (2011), bazaltik pomza, kolemanit, barit ve yüksek cüruflu harçların sülfata dayanıklılığı ve mekanik dayanımını incelemişlerdir. Çimento ve Rilem-Cembureau standart kumu yerine değişik oranlarda pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu kullanmışlardır. 7 günlük harç numunelerinin en yüksek basınç dayanımı değerini referans numunesi, en küçük değerini ise kolemanit katkısı en yüksek numune vermiştir. 28 günlük ve 180 günlük numunelerin en yüksek basınç değerini yüksek fırın cürufunun %10 kullanıldığı karışım, en düşük basınç değerini ise baritin en yüksek değerde olduğu numuneler vermiştir. 180 ve 360 gün sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde en yüksek basınç dayanımı değeri yüksek fırın cürufu kullanılan numunelerde, en düşük basınç değeri ise baritin kullanıldığı numunelerde gözlemlenmiştir.

Öztürk (2012), beton karışımında pomza ve perlit kullanarak hafif beton numuneleri oluşturmuştur. Numunelerin fiziksel, mekanik ve ısı iletim özelliklerini inceleyerek normal beton özellikleriyle karşılaştırmıştır. Hafif agrega kullanarak oluşturulan hafif betonların enerji tasarrufu yönünden büyük bir gelişim arz ettiğini belirterek klasik beton anlayışına yeni bir bakış açısı getirmiştir.

Elmakuşu (2013), volkanik hafif agregalar ile çimento ve organik bağlayıcı kullanmaksızın, düşük birim ağırlıkta yalıtım plaka üretimi üzerine inceleme yapmıştır. Çalışma kapsamında MgO bağlayıcılı olarak oluşturulan farklı karışımların yalıtım plakası olarak kullanılabilirliğini TS, TS EN, ASTM standartları kapsamında irdelemiştir.

Temiz ve Akçakale (2014), pomza agregalı hafif beton örneklerinin yalıtım ve dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısı, ahşap talaşı ve uçucu kül malzemelerini katkı olarak değerlendirmişlerdir. 7 günlük numunelerin basınç dayanım değerlerinin 20 MPa dan düşük olduğunu

bildirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, portakal kabuğu kırıntısı, ahşap talaşı ve uçucu külün pomzalarla birlikte kullanıldığında ses ve ısı yalıtım özellikleri yönünden iyi bir malzeme oluşturulabileceğini belirtmişlerdir.

Bilgil ve Özdel (2017), pomza ve ignimbirit katkılı hafif beton malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada birinci karışım olarak ince malzeme yerine %100 pomza katılmış, ikinci karışımda ise ince malzeme yerine ignimbirit kullanılmıştır. Deneyler sonucunda ignimbirit katkılı numunenin tek eksenli basma dayanımı yüksek olmasına karşılık birim hacim ağırlığı pomza katkılı numuneden %26 oranında yüksek değerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Hieronimi ve ark. (2018), pomza ve doğal cüruf bağlayıcılarının taze ve sertleşmiş betonda etkisini incelemişlerdir. Cüruf ve pomza bileşenlerini %10, %20, %30 ve %40 değerlerinde ikame ederek sonuçları sadece Portland çimentosundan yapılan kontrol numunesi ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda %10 ikame miktarının hem cüruf hem de pomza için optimum seviye olduğunu bildirmişlerdir.

Kılınçarslan ve ark. (2018), Karaman, Isparta, Kayseri ve Nevşehir pomza türlerini kullanarak köpük betonlar üretmişlerdir. Ponza kökenleri farklı kuru birim yoğunlukları aynı, köpük betonların, ısı iletkenlik katsayısı, ses yutma katsayısı, ses iletim kaybı ve basınç dayanımı değerleri değişimlerini incelemişlerdir. Pomza kökeninin bu değerler üzerinde farklılık gösterdiğini belirtmişlerdir.

Madani ve ark. (2018), yüksek hacimli pomza ve silis dumanı içerikli, çevre dostu betonların özelliklerini araştırmışlardır. 20 farklı beton karışımının mekanik ve dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Pomzaya tamamlayıcı olarak silis dumanının kullanılmasının özellikle yüksek pomza hacmine sahip olan karışımlar için, hem erken hem de daha ileri yaşlarda uygun özelliklere sahip dayanıklı beton üretmek için sürdürülebilir bir çözüm olduğunu belirtmişlerdir.

2.3. Bor

İki farklı kararlı izotoptan (B^{10} ve B^{11}) oluşan bor, doğada bulunan bir elementtir. B^{10} izotopunun doğada bulunma oranı %19.1-%20.3 iken B^{11}'in doğada bulunma oranı %79.7-%80.9'dur.

Bor, çeşitli özellikleri ile sanayi sektörünün vazgeçilmez hammaddelerinden biridir. Bu özellikler arasında çeşitli bileşik yapma kapasitesi ve nötronları absorbe etmesi sayılabilir.

Bor mineralleri, bünyelerinde farklı oranlarda bor oksit (B_2O_3) içerir. Doğada birden fazla bulunan bor mineralleri içerisinde ticari değeri olan kolemanit, tinkal, üleksit ve kernit mineralleridir. Türkiye'de en çok bulunan bor mineralleri ise; kalsiyum içerikli kolemanit, sodyum içerikli tinkal ve sodyum+kalsiyum içeren üleksittir (Bor Sektör Raporu, 2018).

500'e yakın kullanım alanı bulunan bor ürünlerinin başlıca kullanım alanları aşağıda verilmektedir.

Cam sanayii; izolasyon tipi cam elyafı, boro-silikat camları, tekstil cam elyafı, cam seramikleri, optik lifler.

Seramik sanayii; porselen boyaları, emaye ve sır.

Uzay ve havacılık sanayii; zeplinler, helikopterler, uzay araçları ve uçaklar, radarlar.

İnşaat-çimento sektöründe; ses yalıtımı ve izolasyon, deprem-ısıya dayanıklı ve daha hafif binaların yapılmasında, mukavemet arttırıcı katkı olarak çelik ve çimentoda kullanılmaktadır. Ayrıca klinker yapımında önemli düzeyde enerji tasarrufu sağlar (DPT, 2008).

Bor içerikli yalıtım malzemeleri, düşük maliyetlerle uzun ömürlü bir kullanım sunar ve tamamen doğaldır. Isı ve ses yalıtımının yanı sıra borun katkısıyla yangın yalıtımı da sağlayan bu malzemeler, olası yangın durumlarında mekânın oksijenle buluşmasını engelleyerek, alev oluşumunu geciktirir. Duman salınımını minimum seviyeye indirerek insan sağlığını tehdit eden gazların açığa çıkma süresini uzatır (www.etimaden.gov.tr).

Türkiye'de bilinen borat yatakları Kırka/Eskişehir, Kestelek/Bursa, Bigadiç/Balıkesir ve Emet/Kütahya'da bulunmaktadır. *"2001 yılında brüt bazda 2.071.853.997 ton ve B_2O_3 bazında 562.577.259 ton olan bor rezervi, Eti Maden İşletmeleri tarafından yürütülen " Bor Master Arama Projesi" kapsamında yapılan rezerv çalışmaları sonucunda -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"* (Buluttekin, 2008).

-B_2O_3 bazında- Türkiye'nin dünya toplam bor rezervi içindeki payı, 2001 yılında %64 iken 2005 yılında %72,2'ye yükselmiştir (Buluttekin, 2008).

Çizelge 2. 1. Türkiye bor mineralleri rezervi

Üretim yeri	Bor minerali	Rezerv (Milyon ton)	B_2O_3 rezervi	Tenör (%B_2O_3)
Kırka bor işletmesi	Tinkal	604	156	26-27,5
Bigadiç bor işletmesi	Üleksit	49	14	28-30
	Kolemanit	576	167	28-30
Emet bor işletmesi	Kolemanit	835	225	26-28
Kestelek bor işletmesi	Kolemanit	7,5	2	29-31

Türkiye'deki bor mineralleri rezervi Çizelge 2.1'de verilmiştir (Eti maden, 2007; Buluttekin, 2008).

2.4. Bor İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yalçın (1996), betonun fiziksel özelliklerinin kolemanit katkısı ile değişimini araştırmıştır. Deneyler kapsamında, dayanım ve priz süreleri bakımından %5 kolemanit katkılı çimentoların standart dışı kaldığını, %2 kolemanit katkılı çimentoların basınç dayanımının %28 oranında azalmış olduğunu ve priz süresinin uzadığını tespit etmiştir. İnhibitör olarak optimum kolemanit katkısının çimento ağırlığının %1 civarında olduğunu bildirmiştir.

Kula (2000), tinkal konsantratör atığı, kolemanit konsantratör atığı, uçucu kül ve taban külünü çimento klinkerine önce belirli miktarlarda katmış, daha sonra değişik miktarlarda kolemanit konsantratör atığı-taban külü, kolemanit konsantratör atığı-uçucu kül, tinkal konsantratör atığı-uçucu kül, tinkal konsantratör atığı-taban külü değişkenlerini katkı maddesi olarak denemiştir. Çalışma sonucunda, kolemanit konsantratör atığının yüzdesi arttıkça (%1, %3, %5, %7, %9) dayanımların düştüğü ve tinkal konsantratör atığını çimentoda %1, %3, %5'e kadar kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Targan ve ark. (2002), atık maddelerin çevreye verdikleri olumsuz etkilerin giderilmesi ve çimento üretiminde enerjiye yönelik tasarruf sağlanması maksadıyla, betonit-kolemanit konsantratör atığı ve Kula cürufu-kolemanit konsantratör atığı çeşitlerini katkı maddesi olarak denemişlerdir. Bu katkıların çimento karışımlarına uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Demir ve Orhan (2002), ponza kumu ve tinkal konsantratör atığı ile hafif yapı bloğu üretimi üzerine çalışmışlardır. Ponzanın bor atığı ile ağırlıkça %50 oranında

oluşturulan karışımı 900°C sıcaklıkta pişirmişlerdir. Çalışma sonucunda, birim hacim ağırlığı düşük ve porozitesi yüksek bir malzeme üretilebileceğini bildirmişlerdir.

Topçu ve ark. (2006), çimento yerine ağırlıkça %0, %3, %7, %10 oranlarında tinkal bor atığı kullanarak harçların yüksek sıcaklığa karşı dayanımlarını araştırmışlardır. Çalışmada, atıkları çimento boyutlarında öğüterek CEM I 42.5 R çimentosuna katmışlardır. Harç karışımları 3 saat süreyle 20°C, 150°C, 300°C, 400°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklarda tutulmuş ve havada soğutulmuştur. Sıcaklığın artmasıyla doğru orantılı olarak numunelerin basınç dayanımlarının azaldığını belirtmişlerdir. 900°C'de CSH yapısı tamamen dağıldığından dolayı çok küçük basınç dayanımları gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda %3 ve daha az oranda tinkal atığı katkısının yüksek sıcaklığın yaratmış olduğu zararlı etkilere karşı kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Erdoğmuş ve ark. (2004), Karabük cürufu ve kolemanit konsantratör atığı ile oluşturulan karışımların Portland çimentosuna eklenmesinin çimentonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kolemanit konsantratör atığı ve Karabük cürufunun çimento üretiminde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Akyıldız (2012), bor atığı ve zeolit gibi minerallerin beton üretiminde değerlendirilebilmesi ve betonun dayanıklılığı üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonunda, %3 katkının normal betonda 7 günlük basınç dayanım değeri 13.69 MPa iken hafif agregalı betonda 9.40 MPa değerindedir. 56 günlük basınç dayanımı normal betonda 25.73 MPa, hafif agregalı betonda ise 15.02 MPa değerindedir. Sonuç olarak, betona katkı olarak bor atığının kullanılabileceğini belirtmiştir.

Batar ve ark. (2009), %0-5 kalsine tinkal (boraks), %0-5 perlit, %0-2,5 atık kâğıt ve %3,5-17,7 atık kalsine tinkali sıva malzemesi üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. TS 825 ve TS 12808-3 standartlarına göre üretilen malzemelerin ısı geçirgenlik direnç ve mukavemet deneylerini yapmışlardır.

Çalışma sonunda, kontrol grubu (piyasadaki sıva malzemesi) ve katkılı ürün arasında karşılaştırma yapılmış ve katkılı ürünün mukavemet değeri %31, ısı geçirgenlik direnci ise %26 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Pehlivanoğlu ve ark. (2013), farklı türde çimentoların hidratasyon sürecine bor bileşiklerinin etkilerini ve bu etkileri önleyebilecek olanaklar üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, çimento ağırlığının % 0.25-1.00 oranında borik asit kullanmışlardır. Çimento tipi olarak; aktif belit (BAB), Portland ve kalsiyum alüminatlı çimentolar tercih edilmiştir. Taze harçların priz başlama ve priz sonu süreleri ölçüldüğünde, boroksit konsantrasyonu arttıkça harçların priz sürelerinin ciddi oranda arttığını belirtmişlerdir. Bu olumsuz etkiyi önleyebilmek için çimento ağırlığının farklı oranlarında üç ayrı tip stabilizör kullanılarak priz süreleri yeniden ölçülmüştür. Sonuç olarak, borik asit katkılı/stabilizör katkısız harç örnekleri karşılaştırılmış ve uygun stabilizör tipini ve kullanım oranını belirlemişlerdir.

Gezmen ve ark. (2017), kolemanit mineralini (%0, %10, %20, %30) oranlarında Portland çimentosu ile kullanarak, 7, 28, 56, 90. günlerdeki eğilme ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, çimento ağırlığının %2 ve %4 oranlarında kolemanitin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Erdoğan (2016), halı atıklarını, kolemanite baraj atığı katkılı solüsyon ve ham kolemanite cevheri ile karıştırarak binalarda kullanılabilir yalıtım malzemesi üretmiştir. Ürünün fiziksel özelliklerini kullanılmakta olan yalıtım ürünleri ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda yüksek ses ve ısı yalıtımına sahip bir ürün elde etmiş olup bu ürünün inşaat sektöründe kullanılabileceğini bildirmiştir.

Bideci (2013), belirli oranda kolemanitin (%0, %7.5, %12.5, %17.5) çimento ile ikame edilmesiyle oluşturulan karışımı pomza yüzeyine kaplamıştır. Bu agregalarla oluşturulan beton ve kaplanmış agrega üzerinde deneyler yapmıştır. %12.5 oranında kolemanitli çimento ile kaplı agregalarla üretilen beton

numunelerinin hızlı klorür geçirimliliği ve basınçlı su geçirimliliği azalırken; sülfat dayanımı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımının arttığını belirtmiştir.

Kaman ve ark. (2017), bor atıklarının çimento harcında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla önce atıkların ayrıntılı termal ve mineralojik karakterizasyonunu gerçekleştirmişler ve ısıl işlem sıcaklığını 600 °C olarak belirlemişlerdir. Bor atığını %5, %15 ve %25 oranlarında çimento ile yer değiştirmişlerdir. %5 oranında katılan bor atıklı numunenin referans numuneye göre daha yüksek dayanım değeri sağladığını belirtmişlerdir.

Çağlar (2018), bor atığını harman tuğlası sektöründe kullanarak, bor atığının içinde bulunan B_2O_3 içeriğinin çevreye verdiği zararı azaltmak ve harman tuğlası özelliklerini bor atığı ile iyileştirmesi üzerine araştırma yapmıştır. Harman tuğlasına değişik oranlarda (%2, %4, %6, %8, %10) bor atığı ikame ederek numuneler üretmiştir. Çalışma sonucunda %8 bor atığı kullanımın harman tuğlası üzerinde olumlu etki yarattığını belirtmiştir.

2.5. Hafif Beton

2.5.1. Hafif betonun tanımı

Hafif beton, etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi 2000 kg/m^3'ten küçük, 800 kg/m^3'ten büyük beton olarak adlandırılmaktadır (TS EN 206-1).

Hava kurusu birim hacim kütlesi 1120-1960 kg/m^3 arasında olan ve 28 günlük basınç mukavemeti 17 MPa'ı geçen betonlar taşıyıcı hafif beton olarak tanımlanmaktadır (ACI 213R-03).

Karakteristik basınç dayanımı 16 MPa'dan büyük ve hava kurusu birim hacim kütlesi en fazla 1900 kg/m^3 olan betonlar taşıyıcı hafif beton olarak tarif edilir (TS 2511).

2.5.2. Hafif betonların sınıflandırılması

Hafif betonların sınıflandırılması, dayanım ve birim hacim kütleye göre yapılmaktadır. Bu sınıflandırmaların yapılmasında değişik kabuller bulunmaktadır.

RILEM ve CEB tarafından yapılan Çizelge 2.2'de verilen sınıflandırmada, hafif betonların fırın kurusu birim hacim kütleleri, ısıl iletkenlikleri ve basınç dayanımları dikkate alındığında, kullanım alanlarına göre yapısal, yapısal ve yalıtım, yalıtım betonları şeklinde sınıflandırıldığı görülmektedir (Rilem, 1978).

Çizelge 2. 2. RILEM ve CEB tarafından yapılan sınıflandırma

Özellik	Sınıfı ve Cinsi		
	I- Taşıyıcı	II- Taşıyıcı/Yalıtım	III- Yalıtım
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	> 15.0	> 3.5	> 0.5
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	-	< 0.75	< 0.30
Yoğunluk (kg/m^3)	1600-2000	< 1600	<< 1450

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada çimento olarak CEM II A-LL 42.5 R Portland kalkerli kompoze çimento kullanılmıştır. Çimento Şanlıurfa Limak Çimento'dan temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri firmadan alınmış olup Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3. 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Testler		
İncelik (45 μm elek üstü, %)		5.7
Özgül kütle (g/cm^3)		3.00
Özgül yüzey (cm^2/g)		3997
Priz başlangıcı (saat-dak)		2sa-50dk.
Priz sonu (saat-dak)		3sa-30dk.
Mekanik Özellikler (N/mm^2)		
Basınç dayanımı	(2. Gün)	22.00
	(28. Gün)	51.70

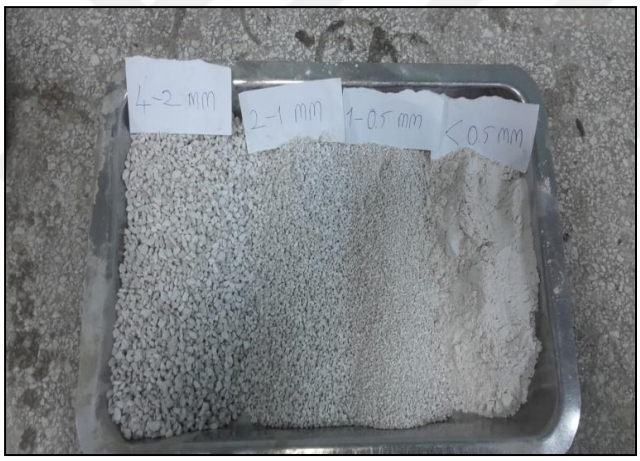
3.1.2. Agrega

Deneysel aşamada kullanılan asidik pomza agregaları Soylu Madencilikten temin edilmiştir. Ocak görüntüsü Şekil 3.1'de sunulmaktadır.



Şekil 3. 1. Asidik pomzalara ait ocak görüntüsü

Çalışmada 4-2 mm, 2-1 mm, 1-0.5 mm ve 0.5-0 mm olmak üzere 4 farklı aralıkta agrega kullanılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3. 2. Dört farklı boyuttaki asidik pomza agregaları

Asidik pomzaların her bir granülometriye ait tane yoğunluğu, su emme oranı ve rutubet tayini TS EN 1097-6 standardına göre, gevşek ve sıkışık birim hacim kütle tayini ise TS 3529 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.2'de sunulmuştur. Kimyasal analizi ise firmadan alınmış olup Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

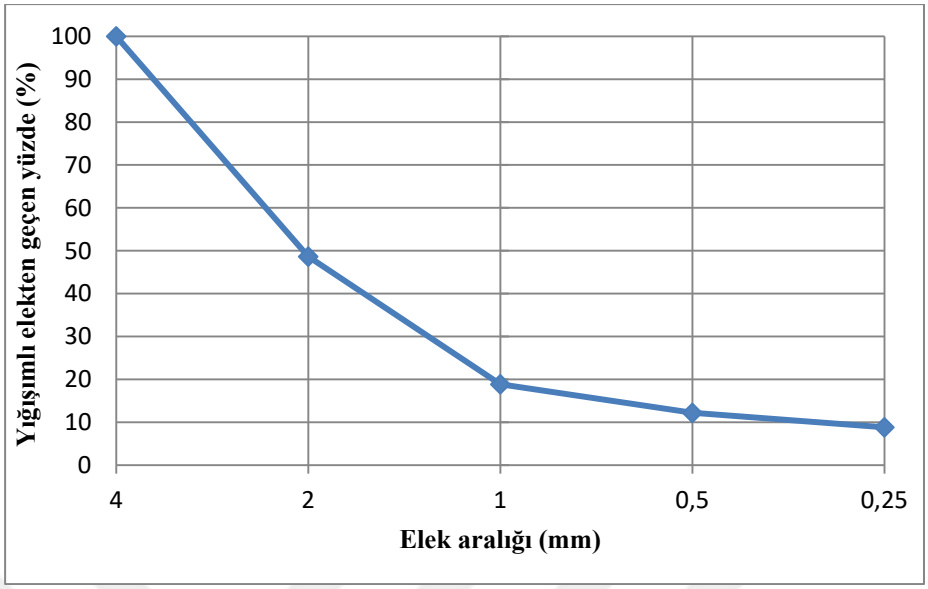
Çizelge 3. 2. Nevşehir asidik pomzasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Agrega Boyutu (mm)			
	4-2	2-1	1-0.5	<0.5
K.Y.D. Özgül Kütle (g/cm^3)	1.00	1.08	1.13	1.88
Kuru Özgül Kütle (g/cm^3)	0.77	0.85	0.91	-
Su Emme (%)	30.11	26.35	23.59	-
Sıkışık BHK (g/cm^3)	0.469	0.475	0.485	-
Gevşek BHK (g/cm^3)	0.451	0.448	0.422	-
Agrega Nem Oranı (%)	0.40	0.30	0.30	-

Çizelge 3. 3. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal özellikleri

Bileşim	%
SiO_2	73.22
Al_2O_3	12.33
Fe_2O_3	1.13
CaO	0.74
MgO	0.09
Na_2O	3.64
K_2O	4.19
MnO	0.04
TiO_2	0.08
SO_3	0.02
L.O.I	4.50

Agregaların tane dağılım analizi TS 3530 standardına uygun olarak yapılmıştır. Pomzalara ait granülometri eğrisi Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. Pomza agregalarına ait granülometri eğrisi

3.1.3. Karma suyu

Deney aşaması boyunca temiz, içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır. Analiz sonuçları Şuski Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı Su Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nden alınmış olup Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4. İçme suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Bulanıklık (NTU)	0.3
Renk (Pt-Co)	0
Ph	7.15
İletkenlik (mS/cm)	379
Sıcaklık (°C)	28.8
Sülfat (ppm)	32
Klorür (ppm)	14.3

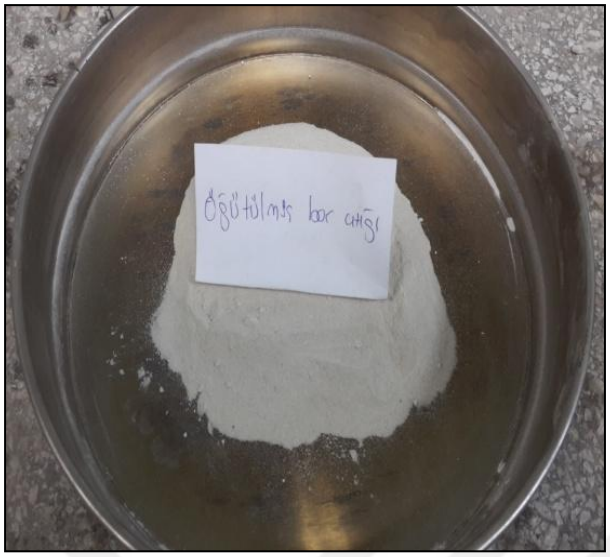
3.1.4. Tinkal atığı

Tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) saydam ve renksiz olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar sebebiyle gri, sarımsı ve pembe renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2.5, özgül kütlesi 1,7 g/cm^3'tür (Eti Maden İşletmeleri katalogları).

Tinkal atığı, Eskişehir Kırka Tinkal bor üretimi tesislerinden şlam atığı şeklinde temin edilmiştir (Şekil 3.4.). Bu atığa ait kimyasal analiz Çizelge 3.5'de verilmiştir. Şlam atığı etüvde 24 saat boyunca sabit kütleye erişene kadar bekletilmiştir. Daha sonra kırıcı yardımıyla belirli bir boyuta getirilip porselen havanla öğütülmüştür. 63 μm elek ile elenerek yaklaşık çimento boyutunda katkı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



Şekil 3. 4. Tinkal şlam atığı



Şekil 3. 5. Öğütülmüş tinkal atığı

Çizelge 3. 5. Tinkal atığının kimyasal analizi (Zeybek ve ark., 2004)

Bileşenler	% Kütle
SiO_2	15.26
B_2O_3	10.95
Al_2O_3	1.60
Fe_2O_3	0.42
CaO	14.55
MgO	10.95
SO_3	0.66
Na_2O	5.33
K_2O	1.05
Cl	0.07
KK	34.56

3.1.5. Kimyasal katkı

Karışımların işlenebilirliğini arttırabilmek için yüksek oranda su azaltıcı etkiye sahip son dayanımlarda artış sağlayan Permo Flow süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler firmadan alınmış olup Çizelge

3.6'da gösterilmiştir. Kimyasal katkı Emülzer Asfaltevi Tecrit Maddeleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketinden temin edilmiştir.

Çizelge 3. 6. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler

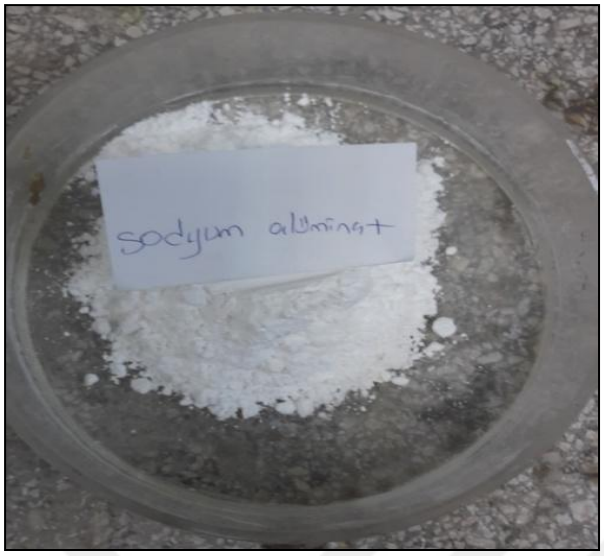
Kimyasal Yapısı	Sodyum Naftalin Sülfonat Esaslı
Renk	Açık Kahverengi Likit
Katı Madde Oranı	40±%2
Ph (%2 çözelti)	6.5-9
Sodyum Sülfat İçeriği	0.5 %
Viskozite	35 cP (24°C)
Özgül Kütle	1.20 g/cm^3±0.05

3.1.6. Sodyum Alüminat

Bor atığı kullanılan karışımlarda borun bünyesinde bulundurduğu B_2O_3'ün (borik asit) yarattığı hidratasyonu geciktirici etkiyi önleyebilmek için sodyum alüminat stabilizör olarak kullanılmıştır. Sodyum alüminat ecc Kimya Sanayi ve Ticaret Limited Şirketinden temin edilmiştir. Kimyasala ait teknik özellikler firmadan alınmış olup Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 7. Sodyum alüminat teknik özellikler

Formülü	$NaAlO_2$
Molekül Ağırlığı	81,97 (g/mol)
Al_2O_3 (%)	43-44
Görünüm	Açık pembe hidroskopik toz
Çözünürlük	Suda çözünür
Yoğunluk	1.5 (g/cm^3)



Şekil 3. 6. Sodyum alüminat

3.2. Yöntem

3.2.1. Hafif beton karışım hesapları

Hafif beton karışım hesapları normal betonlarınkinden oldukça zordur, çünkü üretimde kullanılan agregaların, özgül kütleleri, su emmeleri, nem ve karışım içerisindeki ince malzeme miktarı oldukça değişkendir. Bu sebeple bu betonların dizaynında normal betonlardaki gibi minimum su-çimento oranı ile başlamak mümkün olmamaktadır. Hafif betonların üretim aşamasındaki en büyük zorluk, karışımda kullanılan hafif agregaların çok ve hızlı bir şekilde su emmeleridir. Bazı araştırmacılar karışımda agregaların karışım suyunu emeceğini bunun sonucunda da çimento hidratasyon için gerekli suyu bulamadığından beton mukavemetinin beklenilen değerin altında olacağını belirtmektedirler (Ulusu 1998).

Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar hızlı ve fazla miktarda su emdikleri için sabit bir su miktarı belirlemek oldukça zordur. Bu yüzden hidratasyon için gerekli su miktarına ek olarak agregaların 24 saat süreyle su emme miktarları belirlenip karışım suyu düzeltme işlemi yapılmıştır.

Karışımlarda su/çimento 0.50 oranında sabit tutulmuştur. %45 oranında 4-2 mm asidik pomza ,%25 oranında 2-1 mm asidik pomza, %20 oranında 1-0.5 mm asidik pomza ve %10 oranında 0.5-0 mm asidik pomza kullanılmıştır. Harç kıvamı için çimento miktarının %1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir. %0, %10, %15 oranlarında çimento miktarı arttırılarak her dozajda bir kontrol karışımı bir de tinkal atığı katkılı karışım olmak üzere 6 farklı karışım hazırlanmıştır. Çeşitli tinkal atığı oranı (%3,%2,%1,%0.5) karışımlarda sodyum alüminat kimyasal katkısı kullanılmadan sadece priz hızlandırıcı kimyasal katkı kullanılarak denenmiş olup tüm oranlarda tinkal atığı priz geciktirme etkisi ve çimento yapısında bozulmalar meydana getirmiştir.

Pehlivanoğlu ve ark. (2014), bor bileşiklerinin farklı türde çimentoların hidratasyon sürecine etkileri ve bu etkilerin kontrol edebilme olanaklarını araştırmışlardır. Çalışmada, PÇ örneklerinde %1 borik asit katkısının %2 sodyum alüminat katkısı ile kullanımında hidratasyon reaksiyonundaki gecikmeyi önlediğini tespit etmişlerdir.

Tüm tinkal atığı katkılı örneklerde çimento miktarının %1'i oranında tinkal atığı ile %2'si oranında sodyum alüminat kullanılarak B_2O_3'ün hidratasyonu geciktirici etkisi önlenmiştir.

Hafif beton karışım hesapları TS 2511 standardına uygun olarak mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır. Tüm hesaplamalar Çizelge 3.8'de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Hafif beton karışım hesapları

1 m^3 Betondaki Gerçek Malzeme Miktarları	Numune Adı					
	160K	176K	184K	160B	176B	184B
Çimento (kg)	160	176	184	160	176	184
Su (kg)	80	88	92	80	88	92
Su/Çimento	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

Çizelge 3.8. (devam)

4-2 mm pomza (kg)	413	406	403	412	405	402
2-1 mm pomza (kg)	229	225	224	229	225	223
1-0.5 mm pomza (kg)	184	180	179	183	180	179
0.5-0 mm pomza (kg)	92	90	90	92	90	89
Tinkal Atığı (kg)	-	-	-	1.6	1.76	1.84
Sodyum Alüminat (kg)	-	-	-	3.2	3.52	3.68
Süper Akışkanlaştırıcı (kg)	1.6	1.76	1.84	1.6	1.76	1.84

3.2.2. Hafif beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür

Bu çalışmada, 160, 176, 184 kg/m^3 olmak üzere üç farklı çimento dozajında her dozajda kontrol ve tinkal atığı katkılı 6 karışım üretilmiştir. Tüm karışımlarda işlenebilirliliği sağlamak amacıyla çimento miktarının %1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Bor bileşiğinin bor trioksit (B_2O_3) konsantrasyonu ile bor bileşiklerinin beton ve çimentolu kompozitlere kazandırdığı iyileşmeler ve ilave özellikler yakından ilişkilidir. Fakat B_2O_3 konsantrasyonu arttıkça, çimento hidratasyonun yavaşladığı ve hatta durduğu, buna bağlı olarak priz süresinin de uzadığı bilinen ve yoğun şekilde araştırılan bir olgudur (Taylor, 1997). Bor atığı katkılı karışımlarda çeşitli denemeler sonucu çimento miktarının %1'i oranında bor atığı katkısı ilave edilmesi uygun görülmüştür. Bor atığında bulunan ve çimentonun hidratasyonunu geciktirici etkiye sahip olan B_2O_3 mineralinin etkisini önlemek için tüm bor atığı katkılı karışımlarda çimento miktarının %2'si oranında sodyum alüminat kullanılmıştır (Pehlivanoğlu ve ark., 2014).

1. seri karışım için öncelikle her granülometri aralığından belirlenen oranlarda asidik pomza agregası karıştırıcıya konulup kuru olarak 1 dk karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra ön doyurma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek 30 dk süre ile belirli aralıklarla karıştırılıp beklenmiştir. 30 dk süre sonunda çimento ve karışım suyunun %15'i ile seyreltilmiş süper akışkanlaştırıcı katkı eklenerek 2 dk

daha karıştırılmıştır. Daha sonra kalan su miktarı eklenerek karıştırma işlemine 3 dk daha devam edilmiştir. 2. seri karışım için öncelikle her granülometri aralığından belirlenen oranlarda asidik pomza agregası karıştırıcıya konulup kuru olarak 1 dk karıştırılmıştır. Bu işlemden sonra ön doyurma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek 30 dk süre ile belirli aralıklarla karıştırılıp beklenmiştir. 30 dk süre sonunda çimento, öğütülmüş tinkal atığı ve sodyum alüminat kuru olarak 1 dk karıştırılmıştır. Karışım suyunun %15'i ile seyreltilmiş süper akışkanlaştırıcı katkı da eklenerek 2 dk daha karıştırılmıştır. Daha sonra kalan su miktarı eklenerek karıştırma işlemine 3 dk daha devam edilmiştir. Karıştırma işleminde kullanılan mikser Şekil 3.7'de ve hazırlanan hafif beton karışımı ise Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3. 7. Karışımların üretilmesinde kullanılan mikser

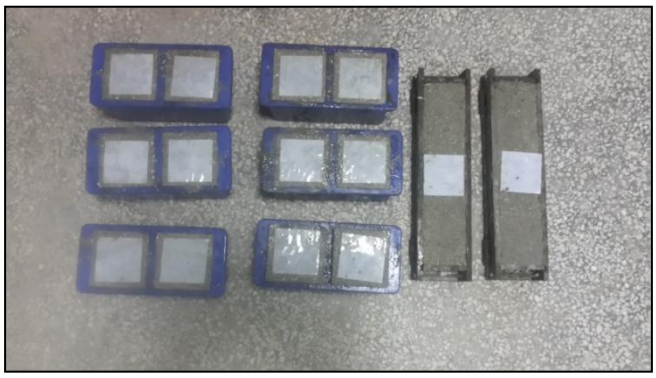


Şekil 3. 8. Hafif beton karışımı



Şekil 3. 9. Karışımların kalıplara yerleştirilmesi

Hazırlanan karışımlar 10×10×10 cm'lik plastik küp ve 30×8×5 cm'lik kiriş kalıplara yerleştirilerek yüzeyleri mala yardımı ile düzeltilmiştir (Şekil 3.9.). 30 saniye sarsma tablasında sıkıştırma işlemine tabi tutulup nem kaybını önlemek amacıyla naylon bir örtü ile örtülerek sertleşmeye bırakılmıştır (Şekil 3.10.). Her karışımdan 12 adet küp ve 3 adet kiriş olmak üzere toplamda 72 küp ve 18 kiriş numune üretilmiştir.



Şekil 3. 10. Sertleşmeye bırakılan hafif beton numuneleri

24 saatin sonunda kalıptan alınan numuneler sıcaklığı 23±2 °C olan kirece doygun suda 7 ve 14 günlük küre tabi tutulmuştur (Şekil 3.11.).



Şekil 3. 11. Kür ortamında bekletilen numuneler

3.2.3. Taze hal özellikleri

3.2.3.1. Taze beton yoğunluk deneyi

Taze betonlar üzerinde taze beton yoğunluk deneyi yapılmıştır. Karışım, darası bilinen 15×15×15 cm boyutundaki küp kalıba 3 aşamada yerleştirilmiştir. Her aşamada titreşim masası ile sıkıştırma işlemine tabi tutularak yüzeyi mala ile düzeltilmiştir. Terazide tartılarak ağırlığı kaydedilmiştir (Şekil 3.10.).

TS EN 12350-6 standardına uygun olarak, doldurulmuş kabın ağırlığından boş kalıbın ağırlığı çıkartılarak betonun net ağırlığı bulunmuştur. Daha sonra net ağırlık

15×15×15 cm boyutundaki küp numunenin hacmine bölünerek taze betonun yoğunluğu belirlenmiştir.



Şekil 3. 12. Taze beton yoğunluğunun belirlenmesi

3.2.4. Sertleşmiş hal özellikleri

3.2.4.1. Basınç dayanımı deneyi

Üretilen 6 seri karışımın her kür yaşından 3'er adet numune alınarak TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. 10×10×10 cm boyutundaki küp numunelere beton döküm yönüne dik olarak yük uygulanmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3. 13. Basınç dayanımı deney düzeneği

Deney sonucunda elde edilen yükler denklem (3.6) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$fc = \frac{F}{Ac} \quad (3.6)$$

Burada;

f_c: Basınç dayanımı (N/mm^2, MPa)

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

Ac: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm^2)

3.2.4.2. Birim hacim kütle deneyi

Deney TS EN 12390-7 standardına uygun olarak yapılmıştır. 105 °C etüvde 24 saat tutulan küp numuneler, 24 saatin sonunda etüvden alınarak oda sıcaklığında soğuması beklenmiştir (Şekil 3.12.). Daha sonra terazide tartılarak değerler kaydedilmiştir.



Şekil 3. 14. 24 saat sonunda etüv kurusu numuneler

Elde edilen ağırlıklar denklem (3.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\rho = \frac{Mkuru}{V} \quad (g/cm^3) \qquad (3.7)$$

Burada;

ρ= Birim hacim kütle (g/cm^3)

M_{kuru}= Numunenin 24 saat sonundaki etüv kurusu ağırlığı (g)

V= 10×10×10 cm boyutundaki küp numunenin hacmi (cm^3)

3.2.4.3. Su emme deneyi

Deney numuneleri 105°C etüvde 24 saat bekletilerek etüv kurusu ağırlığa getirilmiştir. 24 saat sonunda etüvden alınan numunelerin oda sıcaklığında soğuması beklenmiştir. Daha sonra ağırlıkları tartılarak 24 saat boyunca tüm yüzeyi suya temas edecek şekilde 20°C suda bekletilmiştir (Şekil 3.13.). 24 saat suda bekletildikten sonra yüzeyi kuru bir havlu yardımıyla silinerek ağırlıkları tartılmıştır. Bulunan

değerler denklem (3.8) yardımıyla hesaplanmıştır. Deney TS 3526 standardına uygun olarak yapılmıştır.

$$\delta k = \frac{Gd - Gk}{Gk} \times 100 \quad (3.8)$$

Burada;

δk= Ağırlıkça su emme yüzdesi (%)
Gd= Suya doygun numune ağırlığı (g)
Gk= Etüv kurusu numune ağırlığı (g)



Şekil 3. 15. 24 saat suda bekletilen numuneler

3.2.4.4. Ultrases geçiş hızı deneyi

Piezo-elektrik özelliği olan transdüserler ile elde edilen ultrasonik dalgalar, malzeme testinde kullanılmaktadır. Ultrases dalgalar, beton yüzeyinden gönderilirken beton içinde boşluklara rastlamaktadırlar. Bu dalgalar boşluk kenarına gelince karşı tarafa geçemezler ve boşluğun etrafını dolaşırlar. Bu durumun sıkça tekrarlanması belirli iki nokta arasında ultrases dalgaların yolunu arttırmaktadır (Öztaş, M.E., 1989).

Deney TS EN 12504-4 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyinde UPV cihazında iki tip başlık kullanılmakta ve iki tür geçiş süresi ölçümlenmektedir. Bu ölçümler, P: Boyuna dalga hızı ve S: Enine dalga hızı.

Yöntemde kullanılan başlık P hızını ölçen başlık türüdür. Cihaz (Şekil 3.15.) sıfırlanarak kalibre edilmiştir. Daha sonra numunelerin kalıpla temas eden yüzeylerine dik doğrultuda olmak üzere bir ucuna verici diğer ucuna malzemenin içinden geçen ses dalgalarını alan alıcı yerleştirilmiştir (Şekil 3.15.). Bu işlemle sesin geçiş süresi tespit edilmiş ve bu değerle ses hızı denklem (3.9) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V = \frac{l}{t} \tag{3.9}$$

Burada;

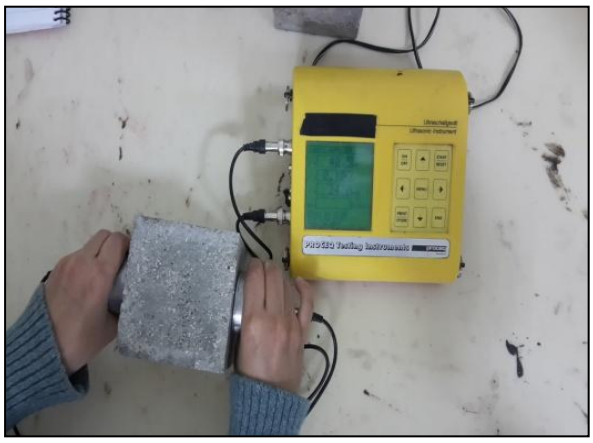
V= Ses hızı, (km/s)

t= Ses geçiş süresi, (µs)

l= Numune boyu (m)



Şekil 3.16. Ultrases geçiş hızı test cihazı



Şekil 3. 17. Ultrases geçiş hızı tayini

3.2.4.5. Eğilme dayanımı deneyi

Deney 14 günlük 30×8×5 cm kiriş numunelerine TS EN 12390–5 standardı doğrultusunda uygulanmıştır. Deney numunesi, cihaza (Şekil 3.17.) numune boyuna ekseni, alt ve üst yükleme silindirleri boyuna eksenine dik olacak şekilde ve tam merkezlenerek yerleştirilmiştir. Eğilme dayanımının hesaplanmasında denklem (3.10) kullanılmıştır.

$$f_{cf}= \frac{3\times F\times L}{2\times b\times h^2} \quad (3.10)$$

Burada;

f_{cf}= Eğilme dayanımı (N/mm^2)

F= Kuvvet (N)

L= Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)

b= Kiriş genişliği (mm)

h= Kiriş yüksekliği (mm)



Şekil 3. 18. Eğilme dayanımı tayini

3.2.4.6. Isı iletkenlik deneyi

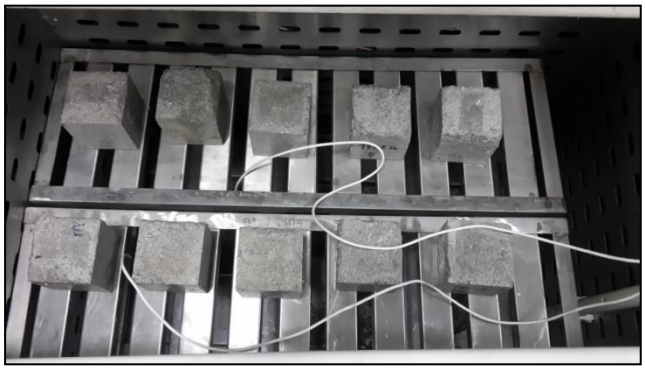
Deney ISO 22007-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneye başlanmadan önce numuneler 6 saat laboratuarda ortam sıcaklığına uygun olması açısından bekletilmiştir. 3 cm çaplı hassas sensör ile sensör üzerine koyulan 10×10×10 cm'lik numunenin ısı iletim değeri (k), W/mK cinsinden elde edilmiştir. Numunenin düz ve pürüzsüz yüzeyine cihazın sensörü temas ettirilmiş, sensör ve numune arasındaki sıcaklık dengelendiğinde termal iletkenlik ölçümü yapılmıştır. Numunelerin ısı iletkenlik deneyi işlemi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 19. Isı iletkenlik değerinin belirlenmesi

3.2.4.7. Donma çözülme dayanımı deneyi

Bu deney kapsamında numuneler önceden 24 saat suda bekletilerek doygun duruma getirilmiştir. Daha sonra numuneler 8 saat donmaya (-15°C) maruz bırakılıp dondurucudan çıkarılarak çözülmeye (+23°C) bırakılmıştır. Numuneler en az 8 saat çözüldükten sonra tekrar dondurucuya 8 saat süreyle bırakılmıştır. Bu işlem 10 kez tekrarlanmıştır. Kabuk atma olmamış ise başarılı, kabuk atma olmuşsa başarısız olarak kayıt edilmiştir. Başarılı olan numunelerin basınç dayanımları ve ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Deney TS EN 15304 standardına uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3. 20. Numuneler üzerinde donma çözülme dayanımı deneyi

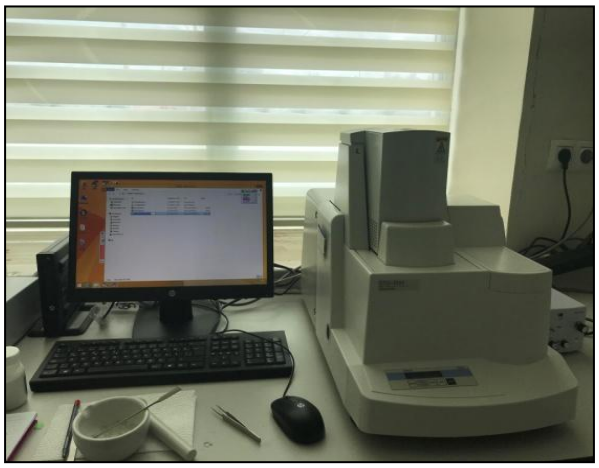
3.2.4.8. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA)

Tamamen bilgisayar kontrolünde gerçekleştirilen TGA-DTA analizi, bir malzemenin sıcaklık artışı ile bünyesinde meydana gelen değişimleri belirlemekte kullanılır.

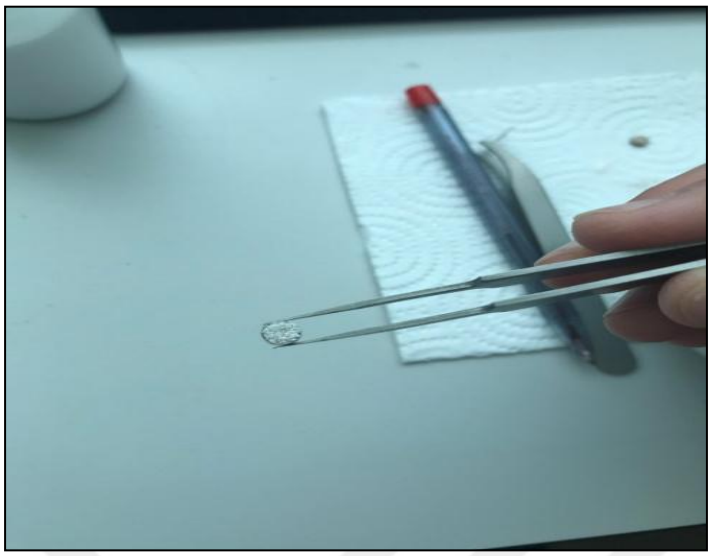
TGA işleminde, malzemenin ısı karşısında gösterdiği endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar tespit edilir.

Numunenin kütlesi kontrollü atmosfer altında zamanın yada sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenir. Zamana karşı kütle yüzdesi veya kütle grafiği termal bozunma veya termogram olarak isimlendirilir (Holler ve ark., 2007).

Deney, Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kürden çıkarılan 14 günlük kontrol ve bor atığı katkılı numunelerden yaklaşık 100'er gram alınarak analize gönderilmiştir. Her bir numune örneği porselen havanda toz haline getirilmiştir. Örnekler alümine kaplı termobalansa koyulup 20°C/dak olmak üzere 1200°C sıcaklığa kadar 1 saat süreyle gözlemlenmiştir.



Şekil 3.21. TGA-DTA cihazı



Şekil 3.22. Numune hazırlama

3.2.4.9. SEM-EDX analizi

Analiz, Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir Beton numunelerine ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri ve EDX spektrumları Şekil 3.22'de görülen cihaz yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler iletken olmadıklarından Au-Pd ile kaplanmışlardır.



Şekil 3. 23. SEM-EDX cihazı

3.2.4.10. Civaporozimetri analizi

Civaporozimetrisi, yığınsal veya toz numunelerde kütlesel yoğunluk tayini ile yüzey alanı ölçümleri, por boyutu ve por boyut dağılımı belirlemede kullanılmaktadır. Deney, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'da gerçekleştirilmiştir. 14 günlük tüm karışımlarda Şekil 3.24'de gösterilen cihaz yardımı ile yapılmıştır. Temel prensip, ıslatıcı ve reaktif olmayan bir sıvının (civa, vb.) yeterli basınç uygulanmadığı halde ince porlara giremeyeceği temeline dayanmaktadır.

Cihaz, uygulanan basınca karşılık hücrede azalan civa miktarını, hücre uçları arasındaki kapasitans değişiminden tayin eder. Por boyutu ise basıncın fonksiyonudur.



Şekil 3. 24 Civaporozimetre cihazı

3.2.4.11. XRD analizi

Toz veya katı örneklerin yapılarındaki farklı kristal formları veya fazları belirlemede kullanılan analiz yöntemidir. Bu yöntem, malzemenin içerdiği fazlar ve bu fazların konsantrasyonu, kristal boyutu ve kristal olmayan fazların miktarı hakkında bilgi vermektedir. Her bir kristal faz, X ışınları ile etkileştiğinde kendi

yapısına özgü bir X-ışını kırınım deseni oluşur ve bu kırınım desenleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar.

Deney, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'da Şekil 3.25'de gösterilen cihaz yardımıyla yapılmıştır. 14 günlük karışımların tümünde standart patern incelemesi, 160K kodlu kontrol numunesi ve 160B kodlu bor atığı katkılı numunede ise yüksek sıcaklık faz analizi uygulanmıştır.



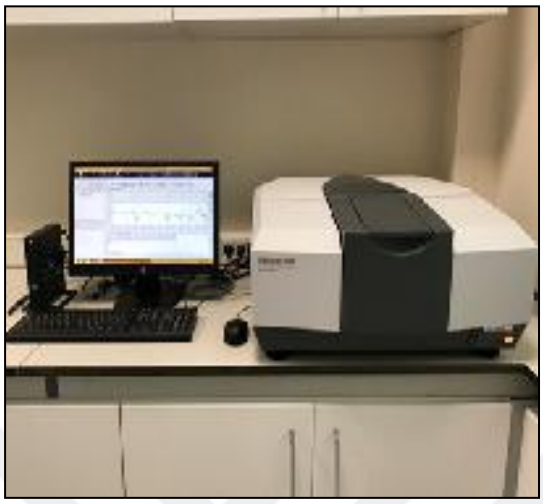
Şekil 3. 25. XRD cihazı

3.2.5.12. FTIR spektroskopisi

Maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle meydana gelen frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile numunelerin karakterize edilmesini sağlar (Lin ve Wang, 2011. ; Büyüksırıt ve Kuleaşan, 2014.)

Bu yöntem ile, moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak; katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının alifatik yada aromatik olup olmadığı belirlenebilir.

14 günlük karışımların tümünde Şekil 3.26'da gösterilen cihazla analizler belirlenmiştir.



Şekil 3. 26. FTIR analiz cihazı

3.2.5.13. XRF analizi

X ışını floresans analizi (XRF) toz, sıvı, katı her çeşit numunede elementel analiz yapmak için kullanılan bir yöntemidir. Numune hazırlama işlemi, eritiş ve öğütme sistemi ile gerçekleştirilir.

Çalışma kapsamında analizler AKÜ DAL laboratuvarlarında, Şekil 3.27'de gösterilmiş olan cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 27. XRF cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

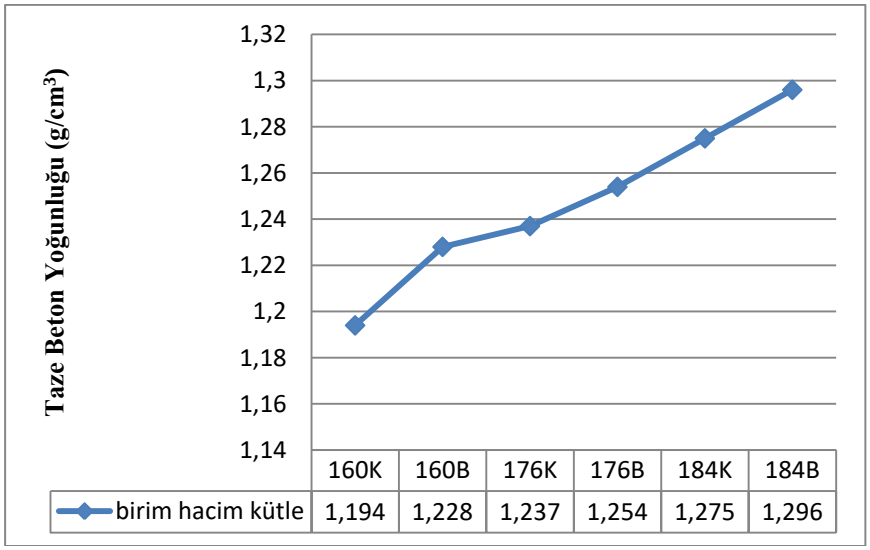
4.1. Taze Hal Özellikleri

4.1.1. Taze beton yoğunluğu deneyi

15×15×15 cm plastik küp kalıp yardımı ile taze betonun yoğunluğu belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Ayrıca tüm karışımlar için bulunan değerlere ait grafik Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Taze beton yoğunluk deney sonuçları

Karışım Adı	BHK (g/cm^3)
160K	1.194
160B	1.228
176K	1.237
176B	1.254
184K	1.275
184B	1.296



Şekil 4.1. Tüm karışımlara ait BHK grafiği

Şekil 4.1. incelendiğinde, en düşük yoğunluk 160K kodlu kontrol numunelerinde görülmektedir. En yüksek yoğunluk ise 184B kodlu bor atığı katkılı numunelerde görülmüştür.

Bu dağılımı etkileyen faktörler çimento miktarı ve kullanılan bor atığı ilavesidir. Çimento dozajı arttıkça ve bor atığı atığı ilave edildikçe taze beton yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir.

4.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri

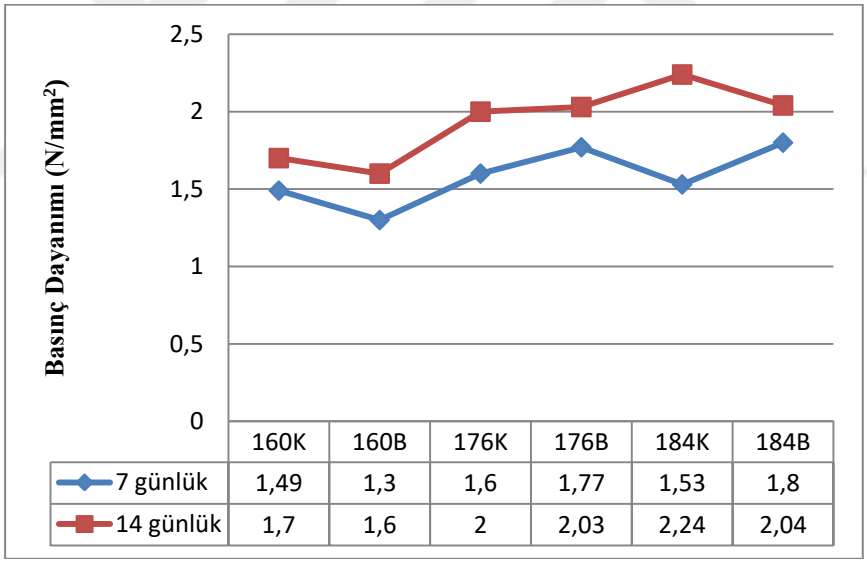
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi

10×10×10 cm 3 adet küp numune alınarak basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin 7 ve 14 günlük basınç dayanım değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Bu değerlere göre 7 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre %12.7 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %10.6 oranında artmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %17.6 oranında artış olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre %5.8 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %1.5 oranında artmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %8.9 oranında azalmıştır. Betonun dayanımını etkileyen en önemli değişkenler, agrega özellikleri, çimento dozajı ve beton içerisindeki boşluk oranıdır. Numunelerde çimento dozajı arttıkça ve kür süresine bağlı olarak basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Akyıldız (2012), %3 bor atığı katkısının betonun dayanım özelliklerini uzun vadede iyileştirdiğini belirtmiştir.

Çizelge 4. 2. KYD basınç dayanım deney sonuçları

	160K	160B	176K	176B	184K	184B
7 Günlük Küp Basınç Dayanımları (N/mm^2)	1.30 1.76 1.40	1.36 1.31 1.23	1.5 1.5 1.7	1.60 2.03 1.68	1.78 1.52 1.29	2.28 1.43 1.68
	Ortalama: 1.49	Ortalama: 1.30	Ortalama: 1.60	Ortalama: 1.77	Ortalama: 1.53	Ortalama: 1.80
14 Günlük Küp Basınç Dayanımları (N/mm^2)	1.80 1.60 1.70	1.60 1.53 1.66	1.8 2.0 2.1	2.03 2.29 1.78	2.13 2.38 2.22	2.15 1.87 2.10
	Ortalama: 1.70	Ortalama: 1.60	Ortalama: 2.00	Ortalama: 2.03	Ortalama: 2.24	Ortalama: 2.04



Şekil 4. 2. Basınç dayanımı grafiği

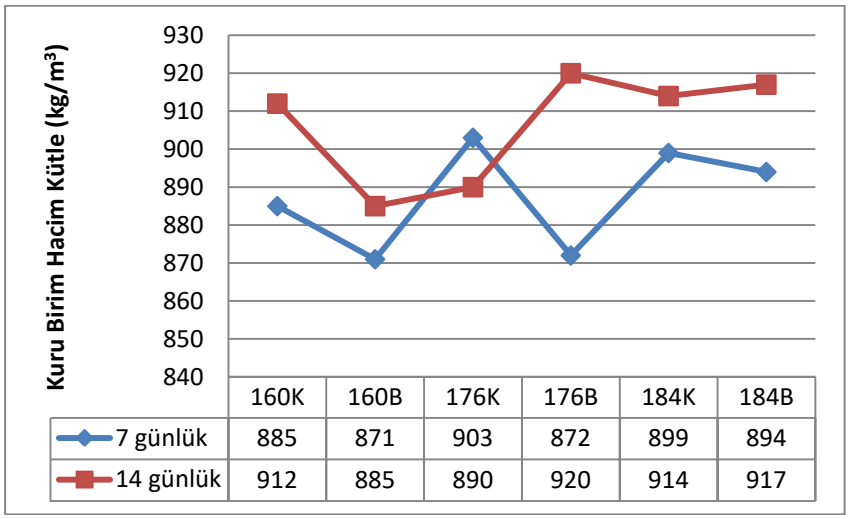
4.2.2. Birim hacim kütle deneyi

Birim hacim kütle deneyi 10×10×10 cm küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Her karışımdan 3'er adet numune deneye tabi tutulmuş olup ortalamaları alınmıştır.

Sonuçlar Çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Çizelgedeki veriler Şekil 4.3'de grafik halinde sunulmuştur.

Çizelge 4. 3. Birim hacim kütle deney sonuçları

Karışım Adı	Kuru Birim Hacim Kütle (kg/m^3)	
	7 Günlük	14 Günlük
160K	874 888 892	922 907 907
	Ort: 885	Ort: 912
160B	842 885 886	875 881 898
	Ort: 871	Ort: 885
176K	922 911 876	883 892 895
	Ort: 903	Ort: 890
176B	864 877 875	927 908 925
	Ort: 872	Ort: 920
184K	887 876 934	900 922 920
	Ort: 899	Ort: 914
184B	890 894 897	924 911 916
	Ort: 894	Ort: 917



Şekil 4. 3. Kuru birim hacim kütle grafiği

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi 7 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde kuru birim hacim kütle değeri, kontrol numunelerine göre %1.6 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %3.4 oranında azalmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %0.5 oranında azalma olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde kuru birim hacim kütle değeri, kontrol numunelerine göre %2.9 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %3.4 oranında artmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %0.3 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Ceylan ve Saraç (2006), Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre pomzasından üretilen hafif beton numunelerine ait kuru birim hacim hacim kütle değerlerinin 659 ile 978 kg/m^3 arasında olduğunu belirtmişlerdir. Üretilen numunelerin bu aralıkta kaldığı görülmektedir.

4.2.3. Su emme deneyi

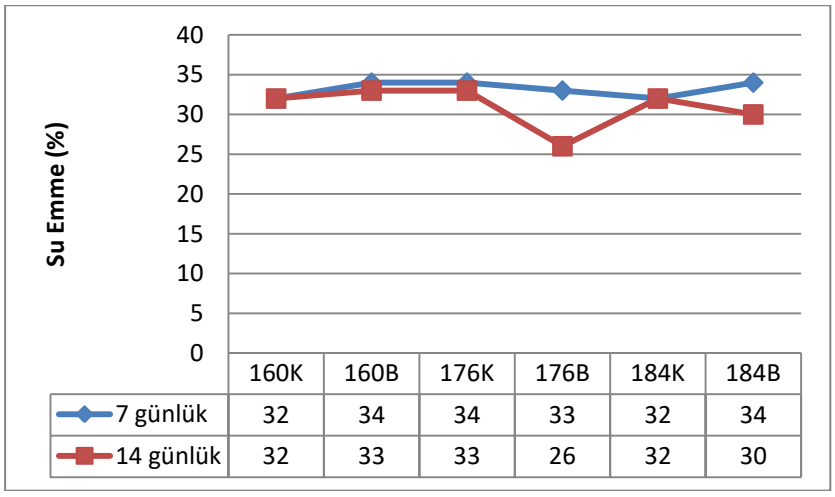
Betonun su geçirimliliği, bünyesinde bulundurduğu boşluk oranına bağlıdır. Yapı malzemeleri katı cisim olmalarına rağmen iç yapılarında görülemeyen veya gözle görülebilen boşluklara sahiptirler.

Su emme oranı üzerinde en etkili değişkenlerin su/çimento oranı, bağlayıcı miktarı ve agrega boşluk yapısı ve miktarı olduğu belirtilmiştir (Ulusu, 2007).

7 ve 14 günlük 3'er adet 10×10×10 cm küp numune üzerinde su emme deneyi uygulanmış olup ortalamaları alınmıştır. Değerler Çizelge 4.4'te ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Su emme deney sonuçları

Karışım Adı	Su Emme (%)	
	7 Gün	14 Gün
160K	32	32
160B	34	33
176K	34	33
176B	33	26
184K	32	32
184B	34	30



Şekil 4. 4. Su emme grafiği

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi 7 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde su emme değeri, kontrol numunelerine göre %6.2 oranında

artarken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %2.9 oranında azalmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %6.2 oranında artış olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde su emme değeri, kontrol numunelerine göre %3.1 oranında artarken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %21.2 oranında azalmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %6.2 oranında azalma olmuştur.

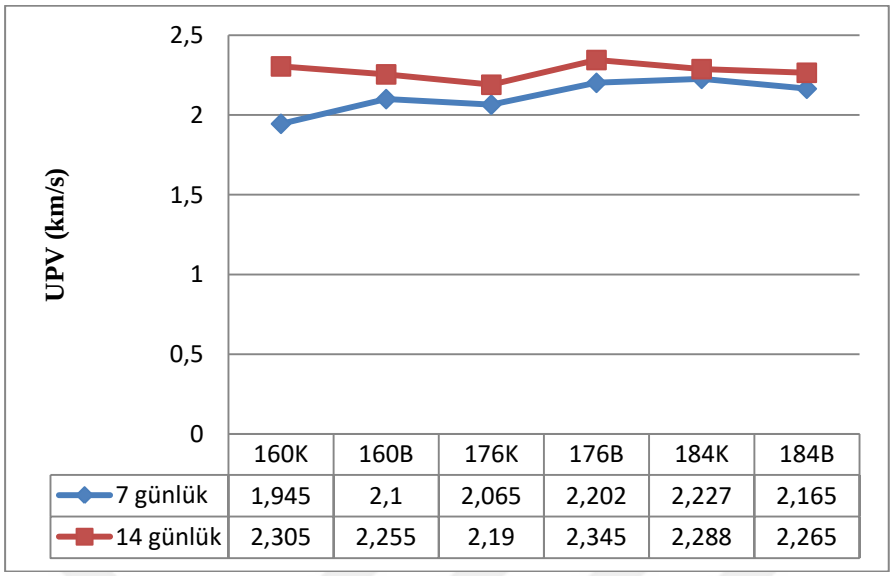
Gündüz ve ark. (1998), bimsblok ürünü ve türevlerinin su emme oranlarının %20-35 değer aralığında kaldığını belirtmişlerdir. Tüm numunelerde su emme oranlarının bu aralığın dışına çıkmadığı gözlemlenmiştir.

4.2.4. Ultrases geçiş hızı deneyi

10×10×10 cm küp numunelerden 3'er adet alınarak her numunede iki noktadan ölçüm yapılmıştır. Ortalamalar alınıp sonuçlar Çizelge 4.5'te ve Şekil 4.5'te sunulmuştur.

Çizelge 4. 5. UPV deney sonuçları

Karışım Adı	UPV Değerleri (km/s)	
	7 Günlük	14 Günlük
160K	1.945	2.305
160B	2.100	2.255
176K	2.065	2.190
176B	2.202	2.345
184K	2.227	2.288
184B	2.165	2.265



	160K	160B	176K	176B	184K	184B
7 günlük	1,945	2,1	2,065	2,202	2,227	2,165
14 günlük	2,305	2,255	2,19	2,345	2,288	2,265

Şekil 4. 5. UPV grafiği

Sonuçlara göre, 7 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ultrases geçiş hızı değeri, kontrol numunelerine göre %8 oranında artarken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %6.6 oranında artmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %2.8 oranında azalmıştır. 14 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ultrases geçiş hızı değeri, kontrol numunelerine göre %2.2 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %7.1 oranında artmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %1 oranında azalma görülmüştür. Bor ilavesinin ses geçiş hızını arttırdığı görülmüştür. Buna sebep bor atığının gözeneklerdeki boşluğu doldurarak daha yoğun bir mikro yapı oluşturması gösterilebilir.

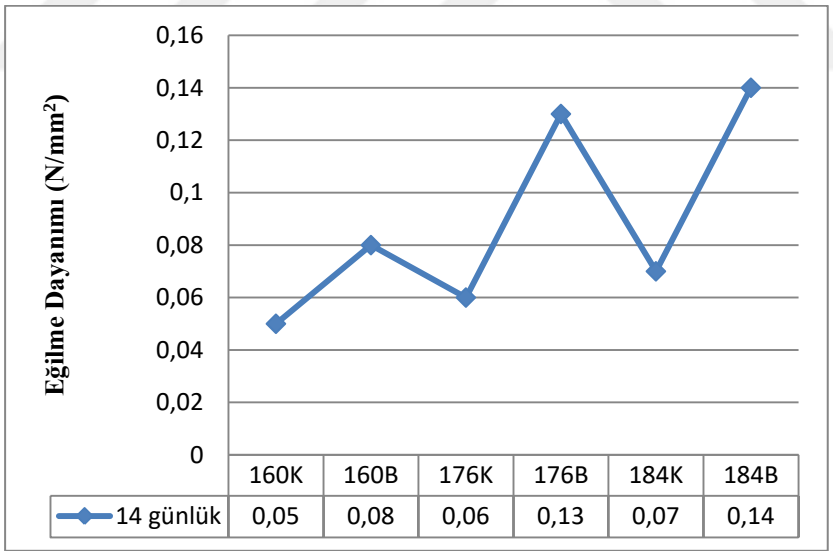
Öztürk (2012), %10 ve %90 pomza kullanılmasına rağmen birim kütlelerindeki farklılığın beton hacmi içerisine hapsolan hava boşluklarından kaynaklandığını, numunelerdeki boşluk oranlarına bağlı olarak aynı oranlarda karışım ile üretilen hafif betonlarda ses geçiş hızlarının farklılık gösterdiğini ve boşluk oranı fazla olan numunelerde ses geçiş hızının düşük olduğunu ifade etmiştir.

4.2.5. Eğilme dayanımı deneyi

Her beton sınıfı için 3 numunenin 14 günlük eğilme dayanımları ölçülmüş ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.6'da ve grafiksel gösterim Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4. 6. Eğilme dayanımı deney sonuçları

Karışım Adı	14 Günlük Eğilme Dayanımı (MPa)
160K	0.05
160B	0.08
176K	0.06
176B	0.13
184K	0.07
184B	0.14



Şekil 4. 6. Eğilme dayanımı grafiği

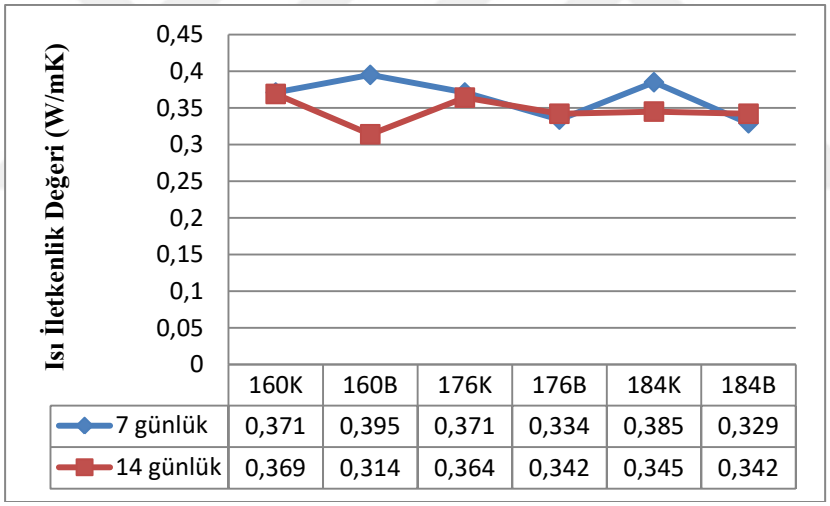
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi en düşük eğilme dayanım değeri 160K kodlu kontrol numunesinde gözlenirken en yüksek eğilme dayanım değer 184B kodlu bor atığı katkılı numunede görülmüştür.

4.2.6. Isı iletkenlik deneyi

Numunelerin ısı iletkenlik hesap değeri Çizelge 4.7'de, grafiksel gösterimi ise Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7. Isı iletkenlik hesap değerleri

Karışım Adı	Isı İletkenlik Değeri (W/mK)	
	7 Günlük	14 Günlük
160K	0.371	0.369
160B	0.395	0.314
176K	0.371	0.364
176B	0.334	0.342
184K	0.385	0.345
184B	0.329	0.342



Şekil 4. 7. Isı iletkenlik grafiği

Sonuçlar incelendiğinde 7 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ısı iletkenlik değeri, kontrol numunelerine göre %6.5 oranında artarken, 176 kg/m3 çimento dozajlı numunelerde %10 oranında azalmıştır. 184 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde ise %14.5 oranında azalma olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m^3 çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ısı iletkenlik değeri, kontrol numunelerine %14.9 oranında azalırken, 176 kg/m^3 çimento dozajlı numunelerde %6 azamıştır. 184 kg/m^3 çimneto dozajlı numunelerde ise %0.9

oranında azalma olmuştur. Genel olarak karışımlarda bor atığı ilavesinin ısı iletkenlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin karışım içine eklenen bor atığı mineralinin kapalı gözenekli yapıda olması düşünülmektedir. Ayrıca kür süresine bağlı olarak numunelerin kür yaşı arttıkça ısı iletkenlik değerlerinde azalma olduğu saptanmıştır.

TS 825'e göre birim hacim kütlesi 800-1000 kg/m^3 aralığında olan hafif betondan duvar plakaları için ısı iletkenlik değeri 0.29-0.37 W/mK aralığındadır. 14 günlük tüm karışımlarda ısı iletkenlik değeri standartta belirtilen aralıkta olup en düşük çimento dozajlı tinkal atığı katkılı karışıma ait numunelerde en düşük ısı iletkenlik değeri elde edilmiştir.

Gündüz ve ark. (1998), pomza agregalarının kimyasal yapılarının diğer agrega türlerine göre daha camsı bir yapıda olduğunu belirtmişlerdir. Cisimlerin ısı iletkenlik katsayısını, gözenek ve molekül yapısı ile gözeneklilik oranının bir fonksiyonu olarak ilişkilendirmiştir. Bir cismin içinde ısı geçişi, moleküllerin ısı akımı yolu ile sağlanmaktadır. Camsı molekül yapısında ısının kaybedeceği yol, kristalin molekül yapısına göre daha uzun olmakla beraber, ısı iletkenlik katsayısının da kristal yapıdaki cisimlerdekine göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Elmakuşu, (2013), asidik pomza ile yapmış olduğu karışım kombinasyonlarında ısı iletkenlik değerinin 0.308-0.346 W/mK arasında değişim gösterdiğini tespit etmiştir. Karışımlarda bileşenlerin değiştirilmesinin ısı iletkenlik değeri değişiminde belirgin rol oynadığını belirtmiştir.

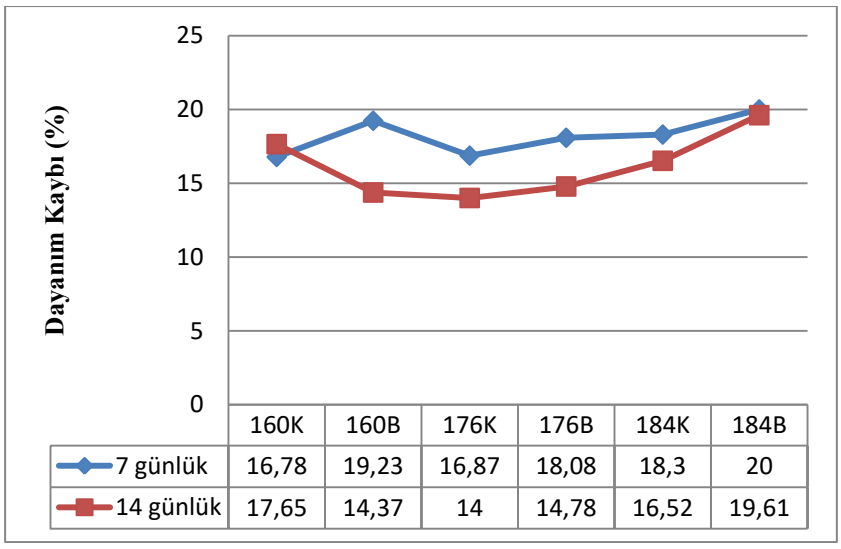
4.2.7. Donma-çözülme dayanımı deneyi

Soğuk iklim koşullarında betonun kalıcılığını etkileyen en önemli değişkenlerden biri, donma-çözülme olayıdır. Donma-çözülme deneyi sonucunda beton numunelerinde gözlenen basınç dayanımı ve kütle kaybı değerleri, donma-

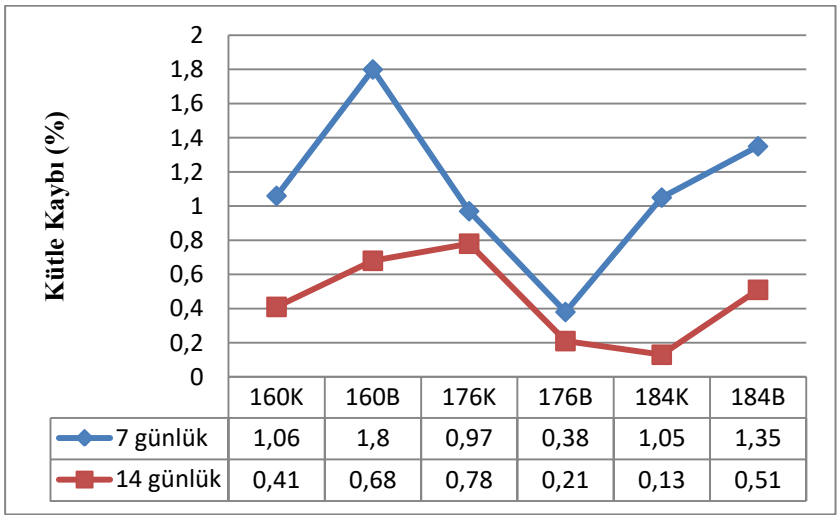
çözülme deney öncesi ve sonrası yüzde basınç dayanım kayıpları Çizelge 4.8'de, grafiksel gösterim ise Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Donma-çözülme deneyi öncesi ile sonrası numunelerin basınç dayanımları, dayanım kaybı (%) ve kütle kayıpları (%)

Numuneler	Donma-çözülme öncesi basınç dayanımı (MPa)		Donma-çözülme sonrası basınç dayanım (MPa)		Dayanım kaybı (%)		Kütle kaybı (%)	
	7 Günlük	14 Günlük	7 Günlük	14 Günlük	7 Günlük	14 Günlük	7 Günlük	14 Günlük
160K	1.49	1.70	1.24	1.40	16.78	17.65	1.06	0.41
160B	1.30	1.60	1.05	1.37	19.23	14.37	1.80	0.68
176K	1.60	2.00	1.33	1.72	16.87	14.00	0.97	0.78
176B	1.77	2.03	1.45	1.73	18.08	14.78	0.38	0.21
184K	1.53	2.24	1.25	1.87	18.30	16.52	1.05	0.13
184B	1.80	2.04	1.44	1.64	20.00	19.61	1.35	0.51



Şekil 4. 8. Donma-çözülme sonrası basınç dayanım kaybı grafiği



	160K	160B	176K	176B	184K	184B
7 günlük	1,06	1,8	0,97	0,38	1,05	1,35
14 günlük	0,41	0,68	0,78	0,21	0,13	0,51

Şekil 4. 9. Donma-çözülme sonrası kütle kaybı grafiği

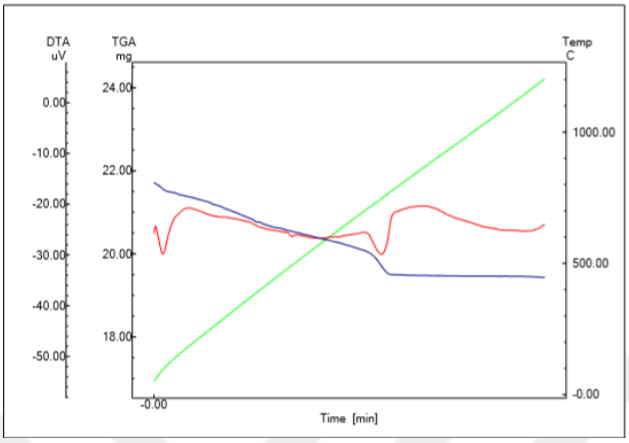
Deney sonucunda en fazla kütle kaybı 7 günlük 160B kodlu bor atığı katkılı numunede gözlenirken en az kütle kaybı ise 14 günlük 184K kodlu kontrol numunesinde olmuştur. En fazla basınç dayanım kaybı 7 günlük 184B kodlu bor atığı katkılı numunede olurken en az basınç dayanım kaybı 14 günlük 176K kodlu kontrol numunesinde gözlemlenmiştir.

Bor atığı katkılı numunelerin kontrol numunelerine kıyasla kütle kaybı ve dayanım kaybının daha fazla olduğu görülmektedir. Ancak sonuçlar kontrol numunelerine yakın değerler almıştır. Buradan, düşük katkı oranlarında kullanılan bor atığı malzemesinin donma-çözülme dayanımına olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmaktadır. Topçu ve Boğa (2005), %3 bor atığı katkı oranı ve daha düşük yüzdelerde kullanılmasının faydalı olacağını belirtmişlerdir.

4.2.8. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termal analiz (DTA)

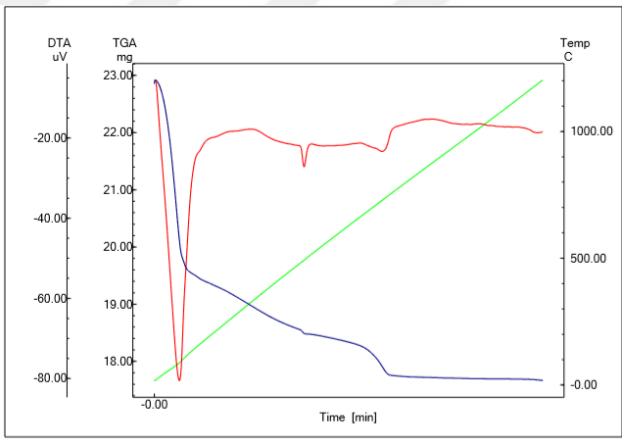
Tamamen bilgisayar kontrollü DTA-TGA analizinde her bir numune toz haline getirildikten sonra 20°C/dk ısıtma hızıyla yapılarında meydana gelen ağırlık kayıpları (TGA) ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen enerji kayıpları (DTA) hangi sıcaklıklarda meydana geldiği Şekil 4.9-14'de her numune için gösterilmiştir.

Şekillerde görülen kırmızı çizgi DTA (enerji kaybı) çizgisi, yeşil çizgi sıcaklık çizgisi ve mavi çizgi ise TGA (kütle kaybı) çizgisidir.



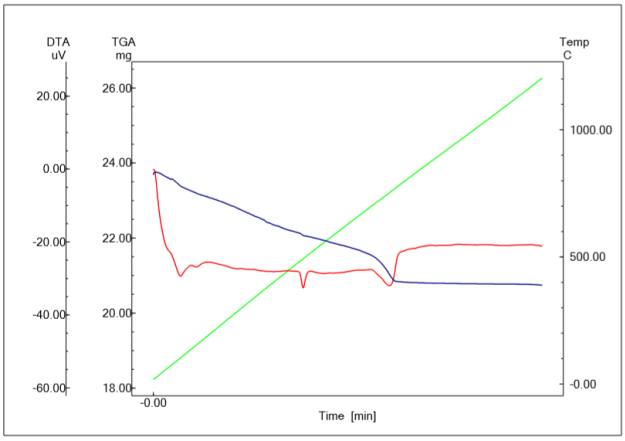
Şekil 4. 10. 160K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

160K kodlu numunenin TGA analizi incelendiğinde 520-480°C sıcaklık aralığında kütle azalması oluşmuştur.



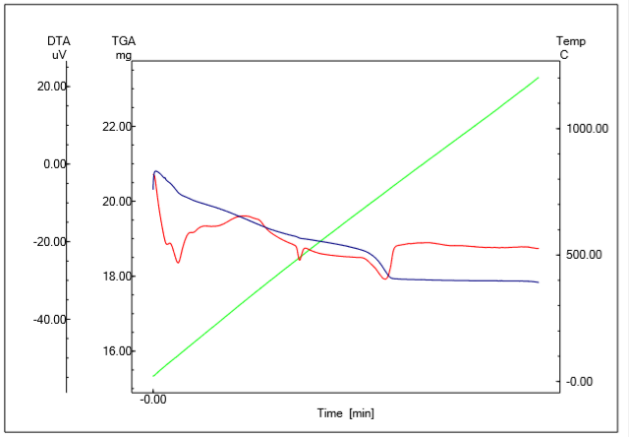
Şekil 4. 11. 160B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

160B kodlu numunede üç aşamalı bir eğri elde edilmiştir. Birinci aşamada 1200-480°C sıcaklık aralığında kütle azalması gerçekleşirken, ikinci aşamada 480-180°C sıcaklık aralığında, üçüncü aşamada ise 180-10°C sıcaklık aralığında kütle azalması olmuştur.



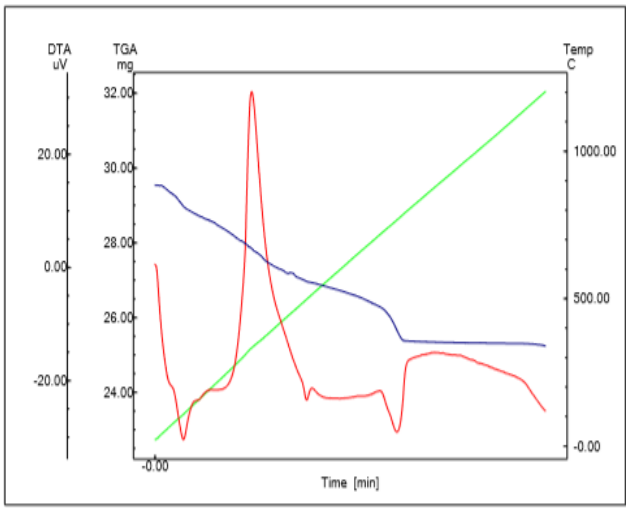
Şekil 4. 12. 176K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

176K kodlu numunenin TGA analizi incelendiğinde 500-400°C sıcaklık aralığında kütle azalması olduğu görülmektedir.



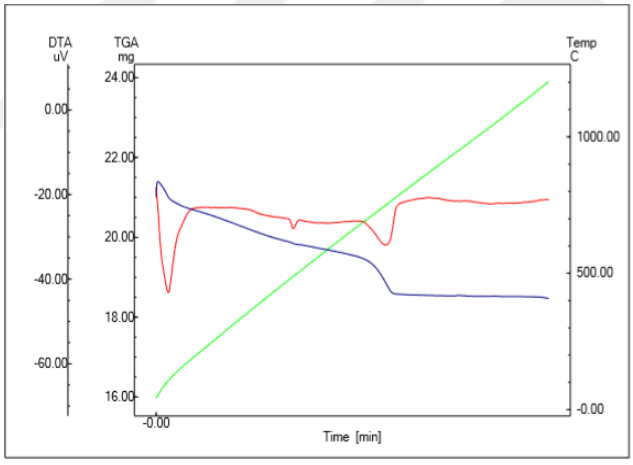
Şekil 4. 13. 176B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

176B kodlu numunede iki aşamalı bir eğri elde edilmiştir. Birinci aşamada 800-500°C sıcaklık aralığında, ikinci aşamada ise 500-400°C sıcaklık aralığında kütle azalması olmuştur.



Şekil 4. 14. 184K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

184K kodlu numunenin TGA analizi incelendiğinde 500-350°C sıcaklık aralığında kütle azalması olmuştur.



Şekil 4. 15. 184B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

184B kodlu numunenin TGA analizi incelendiğinde ise iki aşamalı bir eğri elde edilmiştir. Birinci aşamada 800-500°C sıcaklık aralığında kütle azalması olurken ikinci aşamada 500-400°C sıcaklık aralığında kütle azalması olduğu görülmektedir.

Pehlivanoğlu ve ark. (2013), bor bileşiklerinin beton ve çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanımının çimentolu kompozitlere ilave yangın dayanımı kazandırdığını belirtmişlerdir.

Gündüz (1998)'e göre pomzalı bileşimler, pomzanın içindeki nemin ve uçucu organik yabancı maddelerin çıkarılmasından dolayı kütlesinin yaklaşık % 3.5'ini 100 ila 400 ° C arasında kaybeder. Nevşehir bölgesinden yapılan pomzaların termal analizi, pomzaların 850 ° C'de yumuşaklaştığını ve 1200°C civarında tamamen eridiğini bildirmiştir. Sonuç olarak, asidik pomzanın 900°C'ye kadar ısıl kararlılığını koruyabildiğini belirtmiştir.

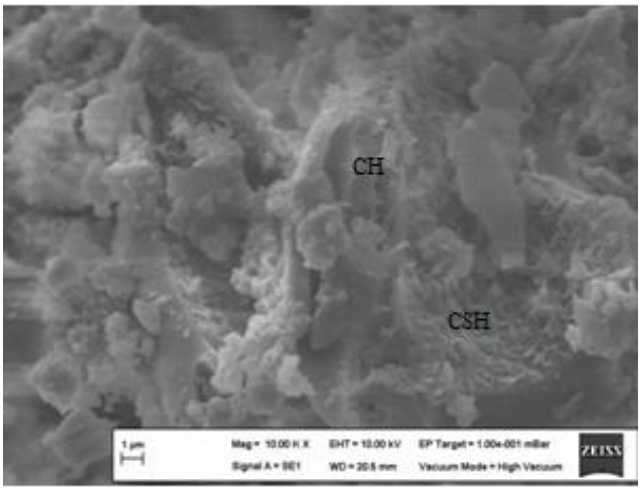
4.2.9. SEM-EDX analizi

SEM analizi için basınç dayanım deneyi sonrasında kırılan 14 günlük numunelerden alınan örnekler kullanılmıştır. Beton örneklerine ait SEM görüntüleri ve EDX spektrumları Şekil 4.15-24'de sunulmuştur.

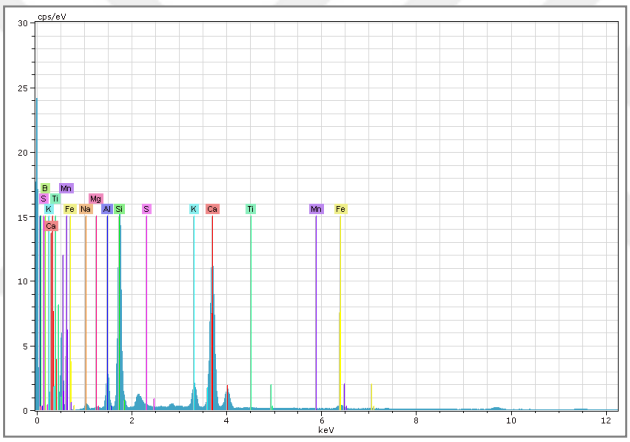
Referans betonu ile bor atığı katkılı hafif betonun mikro yapısı karşılaştırıldığında bor atığı katkılı betonun mikro yapısının daha sıkı ve boşluksuz olduğu görülmektedir.

Tüm numunelerde çimentonun hidratasyon süreci sonucunda oluşan C-S-H ve CH (portlandit) ürünleri görülmüştür.

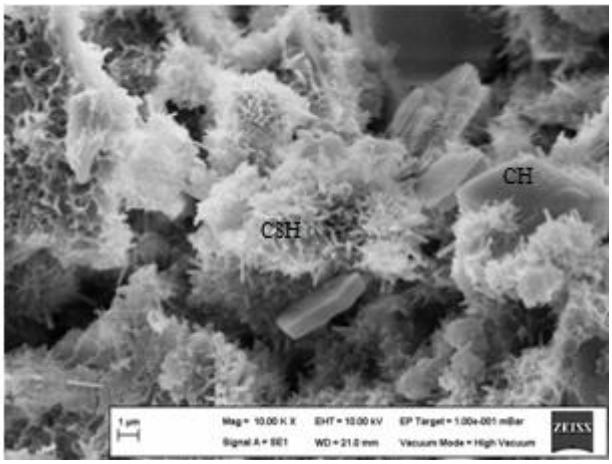
Bor atığı katkılı numunelerde lifsi yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. Söz konusu liflerin EDX spektrumlarına bakıldığında %95-99 oranlarında bor elementi tespit edilmiştir.



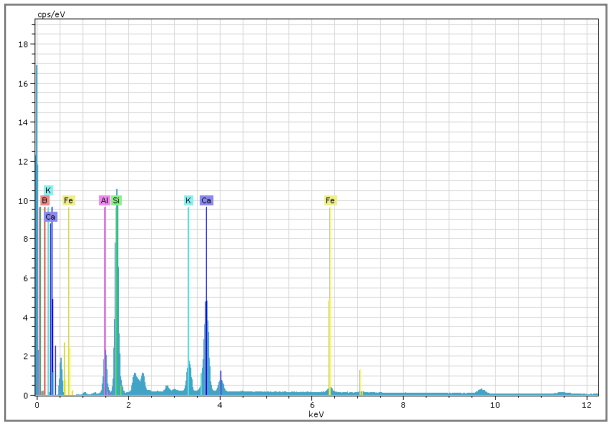
Şekil 4. 16. 160K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



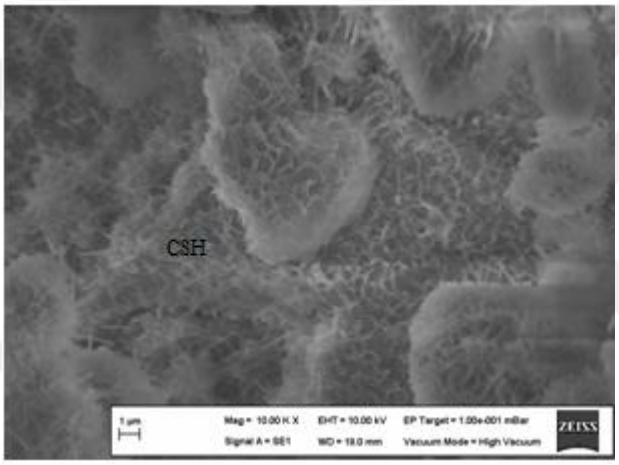
Şekil 4. 17. 160K kodlu numuneye ait EDX spekturumu



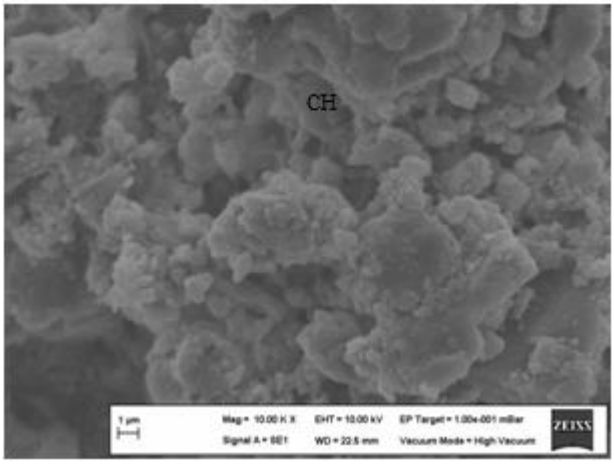
Şekil 4. 18. 160B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



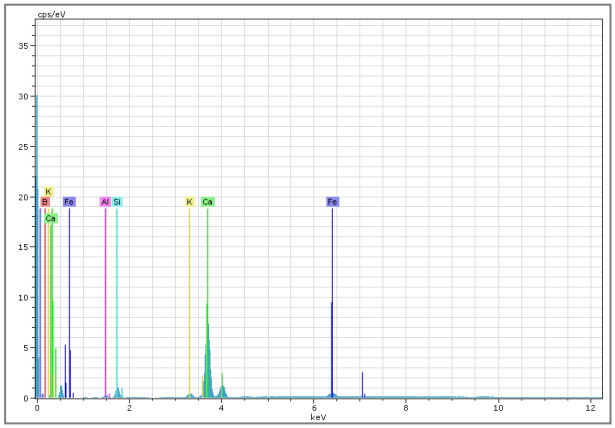
Şekil 4. 19. 160B kodlu numuneye ait EDX spektrumu



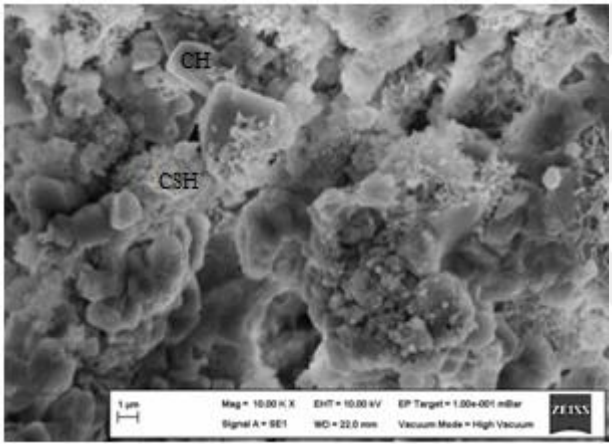
Şekil 4. 20. 176K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



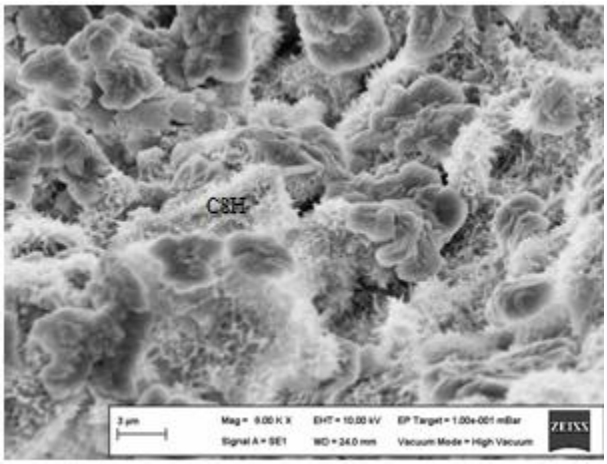
Şekil 4. 21. 176B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



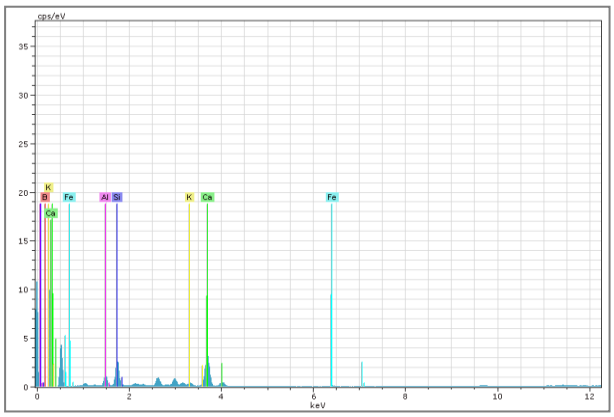
Şekil 4. 22. 176B kodlu numuneye ait EDX spektrumu



Şekil 4. 23. 184K kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



Şekil 4. 24. 184B kodlu numuneye ait SEM görüntüsü



Şekil 4. 25. 184B kodlu numuneye ait EDX spektrumu

4.2.10. Civaporozimetre analizi

14 günlük tüm karışımlara ait numunelerin civaporozimetre analizi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir.

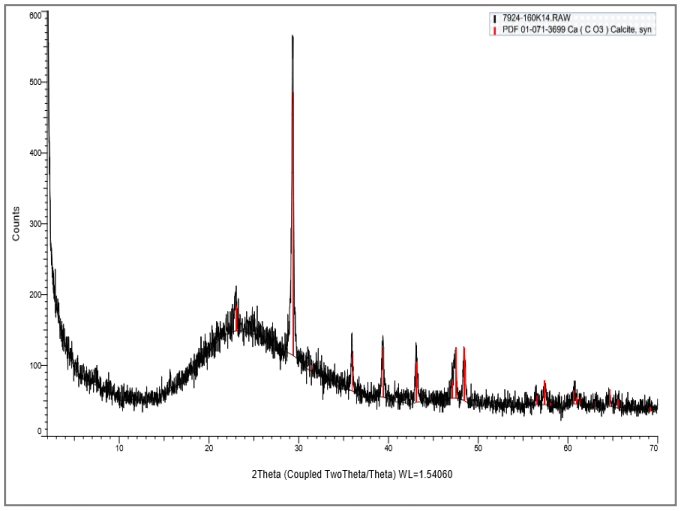
Çizelge 4. 9. 14 günlük numunelere ait civaporozimetre analizi sonuçları

Numune Adı	Toplam Gözenek Alanı (m^2/g)	Medyan Gözenek Çapı (µm)	Ortalama Gözenek Çapı (4V/A) (µm)	Yığın Yoğunluğu (g/mL)	Görünür Yoğunluk (g/mL)	Porozite (%)
160K	30.427	0.020	0.074	0.985	2.216	55.564
160B	29.721	0.017	0.085	0.981	2.274	59.071
176K	37.561	0.010	0.061	0.994	2.313	57.040
176B	27.493	0.020	0.094	0.917	2.240	59.042
184K	1.572	0.035	0.139	5.919	8.772	59.530
184B	41.824	0.008	0.061	0.935	2.316	59.635

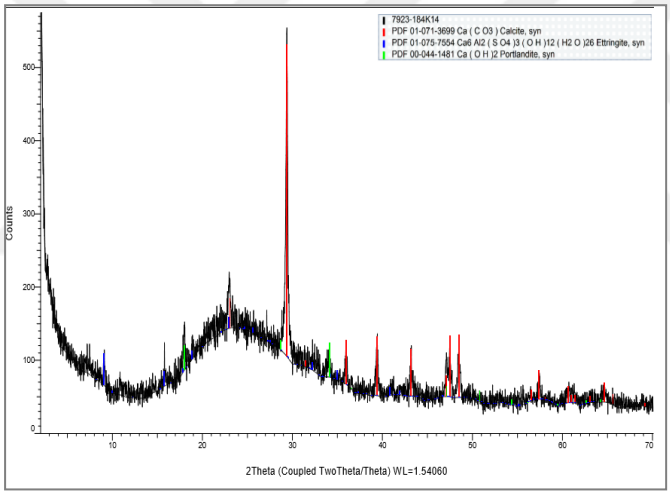
14 günlük numunelerde porozite değeri en yüksek çıkan 184B kodlu bor atığı katkılı numune, porozite değeri en düşük çıkan 160K kodlu kontrol numune olduğu görülmektedir.

4.2.11. XRD analizi

14 günlük sertleşmiş beton numunelerinin mineralojik yapılarını göstermek amacıyla X ışınları difraktogram sonuçları Şekil 4.26-30'de gösterilmiştir.

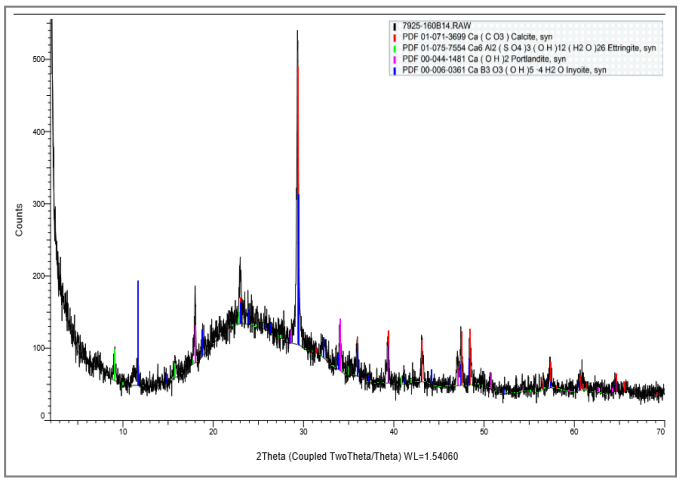


Şekil 4. 26. 160K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

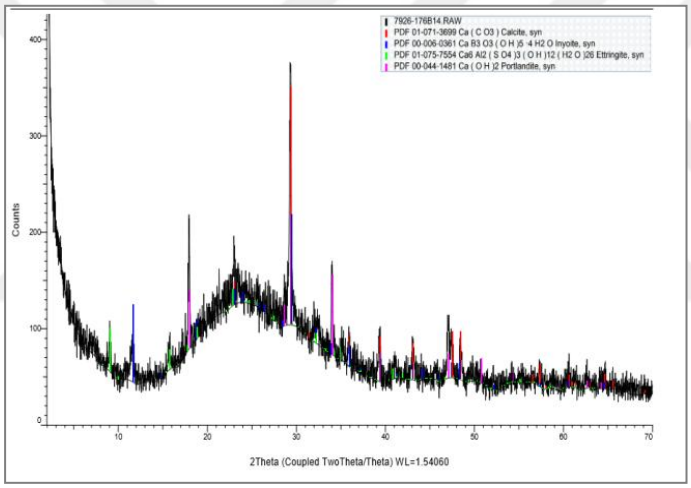


Şekil 4. 27. 184K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

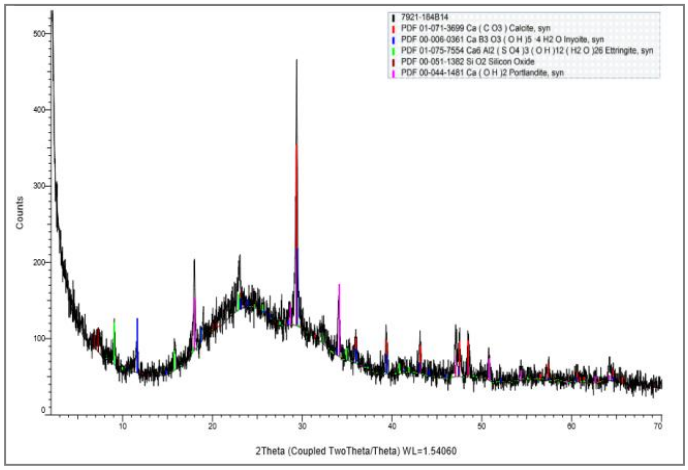
Kontrol numunelerine ait XRD analizleri sonucunda en yüksek pik 2Θ'de yaklaşık 29˚ Kalsit ($CaCO_3$) hammaddesinin pikleri elde edilmiştir. Ayrıca 184K kontrol numunesinde portlandit ($Ca(OH)_2$) oluşumu da gözlemlenmiştir.



Şekil 4. 28. 160B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı



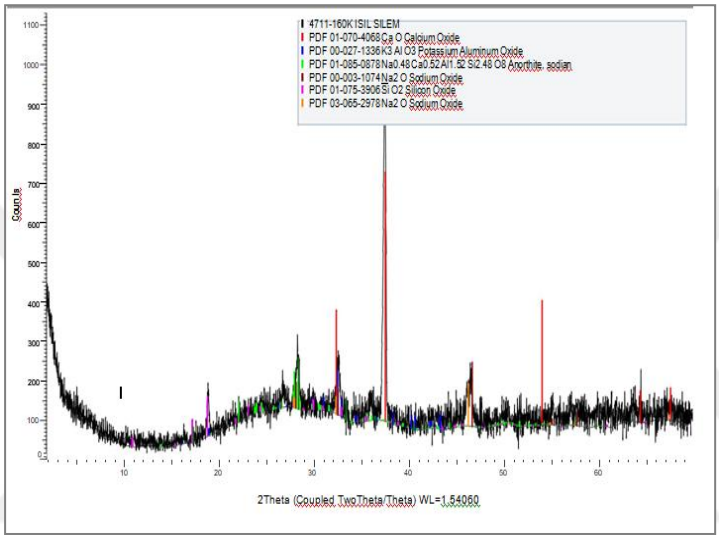
Şekil 4. 29. 176B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı



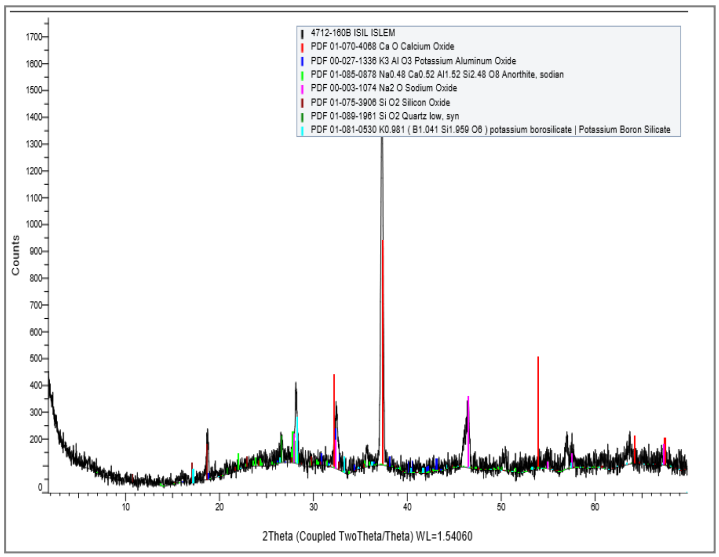
Şekil 4. 30. 184B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

Bor atığı katkılı numunelerde yine en yüksek pik 2Ɵ'de yaklaşık 29˚ Kalsit ($CaCO_3$) hammaddesine aittir. Ayrıca Kalsiyum borat hidroksit hidrat ($CaB_3O_3(OH)_5.H_2O$ ve portlandit ($Ca(OH)_2$) oluşumları da görülmektedir.

160K ve 160B numunelerine ait ısıl işlem görmüş XRD analiz sonuçları Şekil 4.31. ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 31. Isıl işlem görmüş 160K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

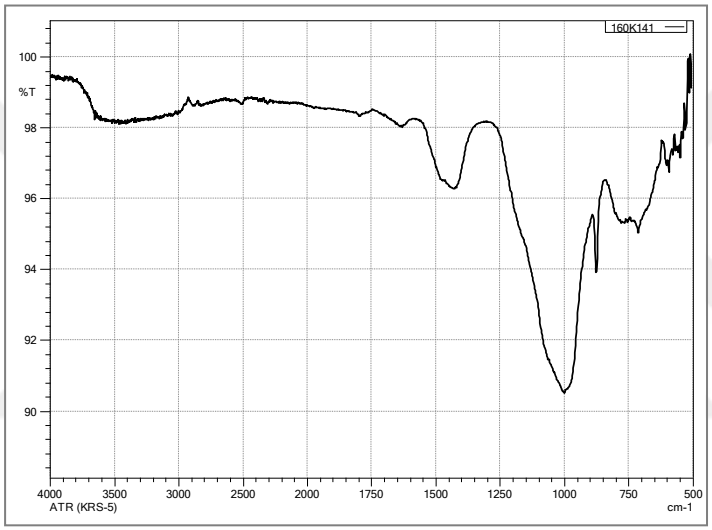


Şekil 4. 32. Isıl işlem görmüş 160B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

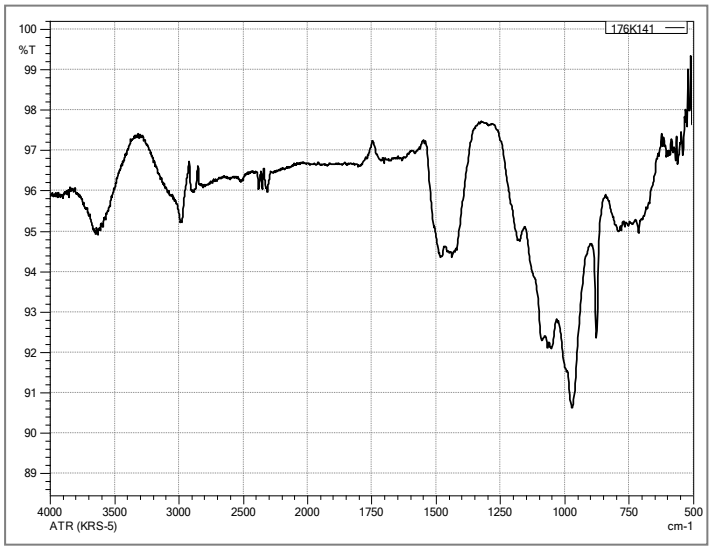
Isıl işlem görmüş 160K kodlu kontrol numunesi ve 160B kodlu bor atığı katkılı numuneye ait XRD analizinde en yüksek pik 2Θ'de yaklaşık 37˚ Kalsiyum oksit (CaO)'tir.

4.2.12. FTIR analizi

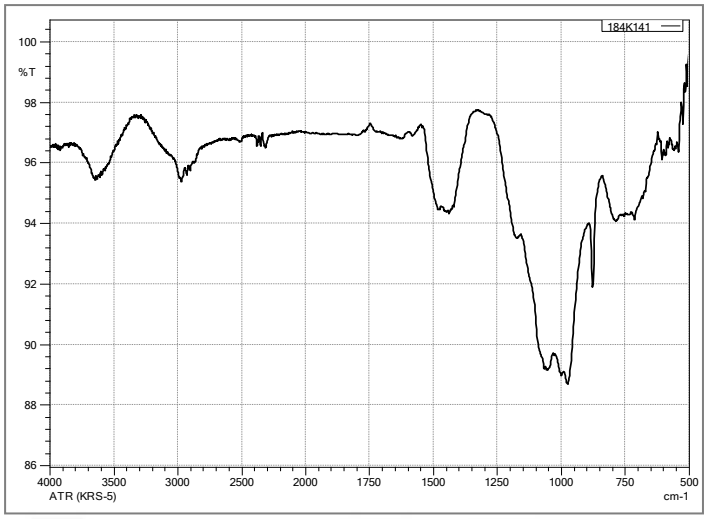
14 günlük kontrol ve bor atığı katkılı numunelere ait FTIR grafikleri Şekil 4.33-38'de gösterilmiştir.



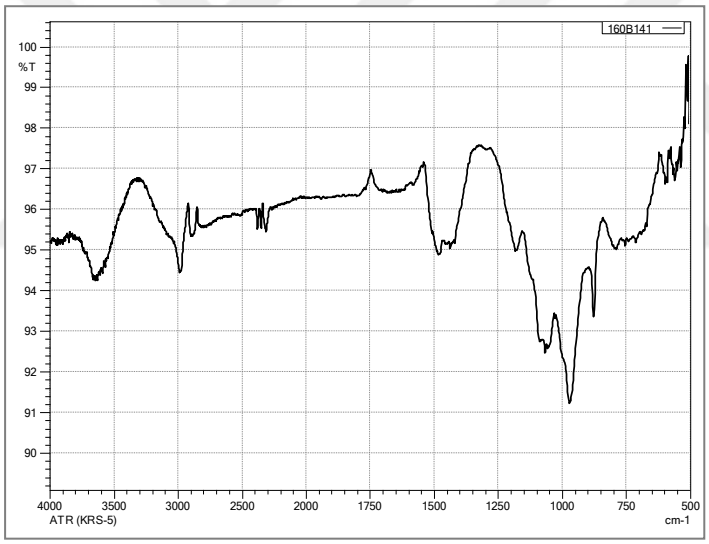
Şekil 4. 33. 160K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği



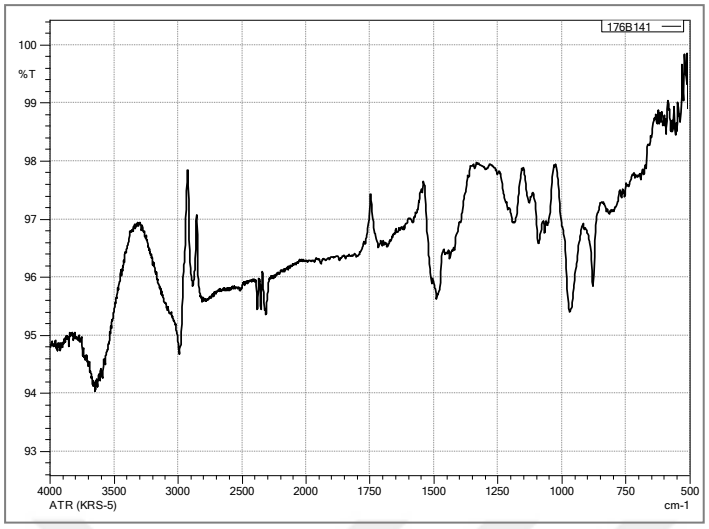
Şekil 4. 34. 176K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği



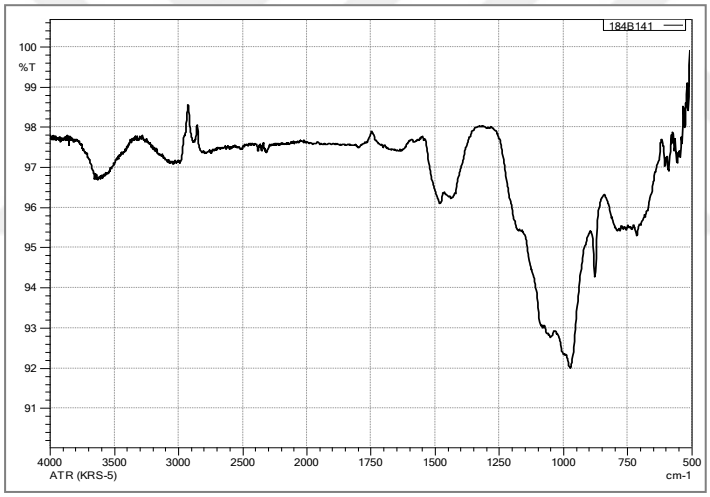
Şekil 4. 35. 184K kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği



Şekil 4. 36. 160B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği



Şekil 4. 37. 176B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği



Şekil 4. 38. 184B kodlu kontrol numunesine ait FTIR grafiği

Tüm numunelerde 400 ve 800 cm^{-1}' de ki pikler pomzalı yapıyı oluşturan amorf kuvarsın Si-O bükülme mukavemet titreşimlerinden kaynaklanmaktadır (Ersoy ve ark., 2010).

Bor atığı katkılı numunelerde, 1190 cm^{-1} soğurma bandı gözlenmektedir. Bu pikin B-O-H bağlarının soğurma piki olduğu söylenebilir (Daştan, 2009).

4.2.13. XRF analizi

Tüm numunelere ait XRF yöntemi ile yapılan kimyasal analiz sonucu Çizelge 4.10'da sunulmuştur.

Çizelge 4. 10. Tüm numunelere ait XRF analiz sonuçları (%)

	160K	160B	176K	176B	184K	184B
SiO_2	61.65	58.22	56.39	57.59	58.67	52.35
Al_2O_3	11.57	13.23	11.56	12.92	12.09	10.38
Fe_2O_3	1.79	2.22	2.20	2.05	2.19	2.38
CaO	16.22	17.22	21.43	19.00	18.19	26.79
MgO	0.41	0.46	0.50	0.47	0.42	0.52
P_2O_5	0.07	0.06	0.10	0.09	0.08	0.10
K_2O	4.43	4.17	3.95	3.97	4.18	3.50
Na_2O	2.59	2.87	2.45	2.47	2.59	2.26
SO_3	0.98	0.98	1.17	1.08	1.08	1.48
SrO	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
TiO_2	-	0.23	-	-	0.21	-
CI	0.14	0.11	0.10	0.12	0.11	-
ZrO_2	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
MnO	0.08	0.09	0.07	0.07	0.09	0.09
Rb_2O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cr_2O_3	-	0.07	-	0.09	-	-
PbO	-	-	-	-	-	0.06

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında, değişik çimento oranlarında tinkal atığı katkılı ve tinkal atığı katkısız pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonlar üzerinde tinkal atığı katkısının etkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler ve analizlerin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Üretilen taze betonların birim yoğunlukları 1.194 gr/cm^3 ile 1.296 gr/cm^3 arasında olduğu görülmüştür. Çimento miktarının artışı ile taze betonun yoğunluğu doğru orantılı olarak artmıştır.

Bor atığı katkılı numuneler ve kontrol numunelerinden en yüksek basınç dayanımı 184K kodlu kontrol numunesinde, en düşük basınç dayanımı ise 160K kodlu kontrol numunesinde gözlemlenmiştir. Bor atığı katkılı numunelerin basınç dayanımları, kontrol numunelerinin basınç dayanımlarına yakın değerlerde olup bazı kombinasyonlarda kontrol numunelerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Birim hacim kütle deneyinde en az birim ağırlığa sahip numune 160K kodlu kontrol numunesi ve 160B kodlu bor atığı katkılı numune olmuştur.

Su emme deneyinde kontrol numunelerinde yüzde 32-34 aralığında su emme değeri gözlenirken, bor atığı katkılı numunelerde yüzde 26-34 aralığında su emme değeri görülmüştür. Kontrol ve bor atığı katkılı numunelerin su emme değerleri karşılaştırıldığında belirgin bir fark oluşmamıştır.

Ultrases geçiş hızı deneyinde, kür süresine bağlı olarak tüm numune değerlerinde artış olduğu saptanmıştır. En düşük ultrases geçiş hızı değeri 160K

kodlu kontrol numunesinde görülürken, en yüksek ultrases geçiş hızı değerine sahip numune 176B kodlu bor atığı katkılı numunede olmuştur. Malzeme içerisinde boşluk oranı ne kadar fazla ise ses hızı o kadar yavaş olmaktadır. Bor atığı katkılı numunede geçiş hızı değerinin yüksek olmasının sebebinin, bor atığının gözeneklerdeki boşluğu doldurarak daha yoğun bir mikroyapı oluşturmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Eğilme dayanımı deneyinde, kontrol grupları 0.05-0.07 MPa aralığında değer alırken bor atığı katkılı numuneler 0.08-0.14 MPa aralığında değer aldığı gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında yalıtım özelliği yüksek bir ürün elde edilmek istenmiştir. Bu amaçla numunelerin ısı iletkenlik değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kontrol numuneleri 0.345-0.385 W/mK aralığında değerler alırken bor atığı katkılı numuneler 0.314-0.395 W/mK aralığında değerler almıştır.

Donma-çözülme deneyi sonucunda, bor atığı katkılı numunelerde en fazla basınç dayanımı kaybı ve kütle kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol numunelerinde basınç dayanımı kaybı yüzde 14-18.30 arasında değişirken, bor atığı katkılı numunelerde yüzde 14.37-20.00 değerleri arasında değişmiştir. Kütle kaybı, kontrol numunelerinde yüzde 0.13-1.05 değerleri arasında değişirken, bor atığı katkılı numunelerde yüzde 0.21-1.80 değerleri arasında değişmektedir.

SEM görüntüleri incelendiğinde, mineraller ve gözenekli camsı yapıya sahip hafif agregaların yer aldığı; portlandit, etrenjit ve C-S-H gibi hidrate fazlar bulunduğu gözlemlenmiştir.

Porozite ölçümlerinden civaporozimetre değerleri 160K kodlu kontrol numunesinde % 55.563, 160B kodlu bor atığı katkılı numunede %59.070, 176K kodlu kontrol numunesinde %57.040, 176B kodlu bor atığı katkılı numunede

%59.042, 184K kodlu kontrol numunesinde %59.530, 184B kodlu bor atığı katkılı numunede ise %59.535 bulunmuştur. Isı iletkenlik değerleriyle karşılaştırıldığında 160B kodlu bor atığı katkılı numunenin ısı iletkenlik değerinin düşük ve porozite değerinin yüksek olması nedeniyle ısı ve ses yalıtımında kullanılması diğer numunelere göre uygun görülmektedir.

Görünür yoğunluk deney sonuçları 160K kodlu kontrol numunesinin 2.216 g/mL, 160B kodlu bor atığı katkılı numunenin 2.274 g/mL, 176K kodlu kontrol numunesinin 2.313 g/mL, 176B kodlu bor atığı katkılı numunenin 2.240 g/mL, 184K kodlu kontrol numunesinin 8.773 g/mL, 184B kodlu bor atığı katkılı numunenin 2.316 g/mL olarak bulunmuştur. Gerçek yoğunlukları 160K kodlu kontrol numunesinin 0.985 g/mL, 160B kodlu bor atığı katkılı numunenin 0.981 g/mL, 176K kodlu kontrol numunesinin 0.993 g/mL, 176B kodlu bor atığı katkılı numunenin 0.917 g/mL, 184K kodlu kontrol numunesinin 5.919 g/mL, 184B kodlu bor atığı katkılı numunenin 0.935 g/mL olarak bulunmuştur. Porozite değerlerinin yüksek olması sebebiyle yoğunluk ile hacim kütlesi arasında farklılık olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışma sonucunda, pomza agregalı hafif betona, tinkal bor atığı katkısının kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bor atığı katkısı ile birlikte ideal ısı yalıtım değeri ve yeterli basınç dayanımına sahip karışım kombinasyonlarının oluşturulabileceği gözlemlenmiştir.

Ülkemizde sahip olduğumuz atık malzeme ve hammaddelerin endüstriyel açıdan önem arz ettiği, bu yüksek lisans tez çalışmasıyla bir kez daha ortaya konmuştur.

5.2. Öneriler

Çalışmada pomza agregası ile Portland çimentosu kullanılarak oluşturulan karışımlara, tinkal bor atığı katkısı ilave edilerek hafif beton numuneleri üretilmiştir.

Değişik bağlayıcılar, farklı türde bor atığı ve hafif agrega kullanılarak çalışmalar yenilenebilir.

Priz kontrolü ile tinkal atığı katkısı değişik oranlarda arttırılarak çalışmalar yapılabilir.

Bor atığı priz geciktirici olarak işlev görmektedir. Özellikle sıcak bölgelerdeki beton uygulamalarında bor atığı katkılı malzemeler üretilebilir.

Bu çalışma bor atığı ve pomza kullanılarak yalıtım özelliği yüksek bir hafif beton oluşturmak amaçlı olduğu için düşük dozajda çimento miktarları kullanılmıştır. Bu sebeple taşıyıcılık özelliği bulunmamaktadır. Sonraki çalışmalarda pomza agregasıyla yüksek çimento dozajında yarı taşıyıcı-taşıyıcı özellikte hafif betonlar üretilebilir.

KAYNAKLAR

ACI 213R-03, 2003. Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete. ACI Manuel of Concrete Practice, Part 1: Materials and General Properties of Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 38p.

AKYILDIZ, A., 2012. Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Tekirdağ, 102s.

BAŞPINAR, E. ve GÜNDÜZ, L., 2006. İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Pomza Agregalarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık, İstanbul.

BATAR, T., KÖKSAL, N.S. ve YERSEL, Ş.E., 2009. Atık Bor, Atık Kağıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Ekoloji, 18(72): 45-53.

BENTLİ, İ. ve ÇAKI, M., 2001. Kırka Boraks İşletmesi DSM Atık Kilinin Çını Hamuru Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 10. Ulusal Kil Sempozyumu, 19-22 Ekim, Konya, s. 502-511.

BİDECİ, Ö.S., 2013. Bor Kaplı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne, 101s.

BİLGİL, A. ve ÖZDEL, H., 2017. Pomza Esaslı ve İgnimbirit Katkılı Hafif Yapı Malzemesinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2): 475-482.

BİNİCİ, H., SEVİNÇ, A. ve DURGUN, M., 2011. Pomza, Barit, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1): 39-51.

BULUTTEKİN, M., 2008. Bor Madeni Ekonomisi: Türkiye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yeri. 2. Ulusal İktisat Kongresi, 20-22 Şubat, İzmir, s.1-36.

CEYLAN, H. ve SARAÇ, M.S., 2006. Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(3): 413-421.

CEYLAN, H., 2005. Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 227s.

COŞKUN, A. ve TANYILDIZI, H., 2007. Silis Dumanı Katkılı Hafif Betonun Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Ses Geçirgenliğine Farklı Kür Koşullarının Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (14):119-128.

ÇETİN, H., 2006. Bor Kapanı. E Yayınları, İstanbul, 285s.

ÇAĞLAR, A., 2018. Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı ile İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Araştırma. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 118s.

DAVRAZ, M. ve BAŞPINAR, E., 2011. Agrega Porozitesinin Hafif Betonların Fiziko-Mekanik Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknoloji Bilimleri Dergisi, 3(3): 35-51.

DAŞTAN, H., 2009. Bor Katkılı Süperiletken Nanofiberlerin Elektrospinleme Yöntemi İle Eldesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 91s.

DEMİR, İ. ve ORHAN, M., 2002. Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, s. 235-239.

DİNÇER, İ., ORHAN, A. ve ÇOBAN S., 2015. Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu. Nevşehir, 108s.

DPT, 2001. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri 3 (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT: 2617-ÖİK:628, Ankara, 73s.

DPT, 2008. Bor-Soda Külü, Krom Kimyasalları Çalışma Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, 2007-2013, Ankara, 133s.

EFE T., 2011. Yalıtımlı Hafif Beton Kiremit Üretimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 88s.

ELMAKUŞU İ., 2013. Volkanik Hafif Agregaların MgO Esaslı Yalıtım Amaçlı Plaka Üretimi ve Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 88s.

ERDOĞAN, Y., 2016. Halı ve Bor Atıklarından İzolasyon Malzemesi Üretimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 152:201-216.

ERDOĞMUŞ, E., YILMAZ, B., ERDOĞAN, Y. ve AVCIATA, U., 2004. Sodyum Karbonatın Kolemanit Konsantratör Atığı+Karabük Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül, Eskişehir, s.425-430.

ERSOY, B., SARIIŞIK, A., DİKMEN, S. ve SARIIŞIK G., 2010. Characterization Of Acidic Pumice and Determination Of Its Electrokinetic Properties In Water. Powder Technology 197: 129-135.

GEZMEN, T. ve TÜRKEL, S., 2017. Bor Minerali ve Uçucu Kül İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin ve Sülfata Dayanıklılığının İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 19(57): 757-778.

GÖNEN, T. ve YAZICIOĞLU, S., 2010. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Kür Ortamı ve Agrega Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(3):459-467.

GÜNDÜZ, L., SARIIŞIK, A., TOZAÇAN, B., DAVRAZ, M., UĞUR, İ. ve ÇANKIRAN, O., 1998. Pomza Teknolojisi. Cilt 1, Isparta, 285s.

GÜNDÜZ, L., SARIIŞIK, A., TOZAÇAN, B., DAVRAZ, M., UĞUR, İ. ve ÇANKIRAN, O., 1998. Pomza Teknolojisi. Cilt 2, Isparta, 203s.

GÜNDÜZ, L. ve ŞAPÇI, N., 2005. Pomza Madenciliği, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi. 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 09-12 Haziran, İzmir, s. 397-407.

GÜNDÜZ, L., ŞAPÇI, N., BEKAR, M. ve İSKER, M., 2006. Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar İle Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık, İstanbul.

HİERONİMİ, A.M., KAROLİ, N.N., ALEX, L.M. and CECİL, K.K., 2019. Influence Of Scoria and Pumice On Key Performance İndicators Of Portland Cement Concrete. Construction and Building Meterials, 197, 444-453.

http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_ETI_MADEN_2011.pdf
http://www.etimaden.gov.tr/yalitim
HOLLER, F. JAMES., SKOOG DOUGLAS, A. ve CROUCH STANDLEY, R., 2007. Principles of ınstrumental analysis, Brooks/Cole, 1040 p.
KAMAN, D., KÖROĞLU, L., AYAS, E. ve GÜNEY, Y., 2017. The Effect Of Heat-Treated Boron Derivative Waste At 600°C On The Mechanical and Microstructural Properties Of Cement Mortar. Construction and Building Meterials, 154, 743-751.
KILINÇARSLAN, Ş., DAVRAZ, M. ve AKÇA, M., 2018. Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(1), 148-153.
KÖSE, H., PAMUKÇU, Ç., YALÇIN, N. ve SEÇER, T., 1997. Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, s.97-105.
KULA, İ., 2000. Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 134s.
LİN, SY., ve WANG, SL., 2011. Advances in simultaneous DSC–FTIR microspectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. Adv Drug Delivery Rev, 64 (2012) 461-478. Aktaran: BÜYÜKSIRIT, T., ve KULEAŞAN, H., 2014. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Gıda Analizlerinde Kullanımı. Hitit Üniversitesi. Dergipark, 39(4): 235-241.
MADANİ, H., NOROUZİFAR, M.N. ve ROSTAMİ, J., 2018. The Synergistic Effect Of Pumice and Silika Fume On The Durability and Mechanical Characteristics Of Eco-Friendly Concrete, Construction and Building Meterials, 174, 356-368.
ÖZTÜRK, M., 2012. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 47s.
PEHLİVANOĞLU, H.E., 2014. Bor Katkılı Portland Çimentosu İle Üretilen Betonların Mühendislik Özellikleri ve Yüksek Sıcaklık Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 164s.
POSLU, K. ve ARSLAN, İ.H., 1995. Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 21-22 Nisan, İzmir, s.33-42.
RİLEM, 1978. Functional Classification of Lightweight Conretes, Recommendation LC 1, Second Ed.
SARIIŞIK, A. ve SARIIŞIK, G., 2010. Yeni Üretim Prosesi İle Pomza Agregalı Hafif Beton ve EPS Köpüklü İzolasyon Blok Üretimi, Standartlara Uygunluğu, Diğer Yapı Elemanları İle Karşılaştırılması. Madencilik, 49(2):27-39.
SUBAŞI, S., 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası İle Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(3): 559-567.
TARGAN, Ş., ERDOĞAN, Y., OLGUN, A., ZEYBEK, B. ve SEVİNÇ, V., 2002. Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, s. 259-265.

TAYLOR, H.F.W., 1997. Cement Chemistry (2nd Edition). Thomas Telford Publishing, London.

TEMİZ, H. ve AKÇAKALE, A.H., 2014. Hafif Agregalı Betonun Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 4(2): 7-20.

TOLĞAY, A., YAŞAR, E. ve ERDOĞAN, Y., 2004. Nevşehir Pomzasının Agrega Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İzmir, s.345-354.

TOPÇU, İ.B. ve BOĞA, A.R., 2005. Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı. I. Ulusal Bor Çalıştayı, 113-120. Aktaran: AKYILDIZ, A., 2012. Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Tekirdağ, 102s.

TOPÇU, İ.B., BOĞA, A.R. ve DEMİR, A., 2006. Bor Atıklı Çimento Harçlarında Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi. 3. Uluslararası Bor Sempozyumu, 2-4 Kasım, Ankara, s. 117-121.

TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara.

TS 3529, 1980. Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, TSE, Ankara.

TS 2511, 1997. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, TSE, Ankara.

TS EN 12390-3, 2003. Beton-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 1521, 1998. Hafif Agregalı Gözenekli Betonun Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.

TS 3530 EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, TSE, Ankara.

TS EN 1097-6, 2002. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 206-1, 2002. Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.

TS EN 12350-2, 2002. Beton- Taze Beton Deneyleri, TSE, Ankara.

ISO 22007-2 Plastics- Determination Of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity- Part 2: Transient Plane Heat Source (Hot Disc) Method.

TS EN 12390-7, 2010.Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 12504-4, 2012. Beton Deneyleri-Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 15304, 2010. Gazbeton- Donma Çözülme Etkisine Direncin Tayini, TSE, Ankara.

UĞUR, İ., 2003. Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz, 3-4 Aralık, İstanbul, s.67-74.

ULUSU, İ., 1997. Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 68s. Aktaran: MÖRÖYDOR, E., 2000. Borik Asit Atığı ve Çelik Tel Katkılı Hafif Beton Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 134s.

UYGUNOĞLU, T. ve ÜNAL, O., 2007. Buhar Kürü Uygunlanmış Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri. Politeknik Dergisi, 10(1): 111-116.

YALÇIN, S., 1996. Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 75s.

YALTAY, N. ve EKİNCİ, C.E., 2013. Kolemanit Katkılı ve Pomza Agregalı Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Altındaki Basınç Mukavemeti Özelliğinin Tahribatsız Yöntemle İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 5(2): 30-41.

YAŞAR, E. ve ERDOĞAN, Y., 2005. Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi. 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 09-12 Nisan, İzmir, s. 409-418.

YILDIRIM, H., 1995. Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 101s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Adile MANCI

Uyruğu : T.C.

Doğum yeri ve tarihi : Merkez/ŞANLIURFA-1992

Telefon : (0534)-571-19-93

Faks : -

e-mail : adile.manc@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe/İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Anadolu Lisesi	Merkez/ŞANLIURFA	2010
Lisans	: Harran Üniversitesi	Merkez/ŞANLIURFA	2016

YABANCI DİLLER

Yıl	Sınav	Puan
2017	YÖKDİL/İngilizce	70