

AKÜ FEMÜBİD 21 (2021) 025602 (408-425)

AKU J. Sci. Eng. 21 (2021) 025602 (408-425)

DOI: 10.35414/akufemubid.851881

Araştırma Makalesi / Research Article

Bor Atıklarının Pomza Agregalı Hafif Harçların Mineralojik ve Termal Özelliklerine Etkisi

Adile COŞKUN¹, Ali SARIİŞİK^{1*}

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

*Sorumlu yazar e-posta: sariisikali@gmail.com ID: http://orcid.org/0000-0001-7698-6134

adile.manc@gmail.com ID: http://orcid.org/0000-0002-3607-0743

Geliş Tarihi: 01.01.2021

Kabul Tarihi: 02.04.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Tincal atığı; Pomza agregası; Termal iletkenlik; TGA-DTA; XRD

Bu çalışmada, pomza hafif agregası ile değişik oranlarda çimento dozajı artırılarak oluşturulan harç karışımlarına tincal atığı eklenmiştir. 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 tincal atığı katkılı olmak üzere toplam 6 karışım oluşturulmuştur. Çeşitli denemeler sonucu optimal tincal atık oranı %1 olarak belirlenmiştir. Her karışımdan 10×10×10 cm küp boyutlu numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7 ve 14 günlük su kürüne tabi tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler, termal iletkenlik deneyleri, TGA-DTA ve XRD analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

The Effect of Boron Wastes on the Mineralogical and Thermal Properties of Pumice Aggregate Light Mortars

Abstract

Keywords

Tincal waste; Pumice aggregate; Thermal conductivity; TGA-DTA; XRD

In this study, tincal waste was added to the mortar mixes formed by increasing the cement dosage with pumice light aggregate in different proportions. Acidic pumice aggregate from Nevşehir region of 0-4 mm size was used in the production of concrete mortars. The water / cement ratio of the mixtures was kept constant as 0.50. A total of 6 mixtures were created with three different cement dosages, each with control and tincal waste additives. As a result of various trials, the optimal tincal waste rate was determined as 1%. 10 × 10 × 10 cm cube size samples were produced from each mixture. The samples produced were subjected to 7 and 14 days water curing after being removed from the mold. Physical and mechanical tests, thermal conductivity tests, TGA-DTA and XRD analyzes were performed on the samples and the results were evaluated.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

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

Türkiye, Dünya bor mineralleri rezervleri açısından birinci sırada bulunmaktadır (Poslu ve Arslan 1995). Bor minerallerinin piyasada talebin artması sonucu üretim miktarı artmıştır (Çetin 2006). Üretimdeki artışın artmasıyla bor minerallerinin toz işleme sonucu oluşan atık miktarı da artmaktadır. İnşaat sektöründe atık borların çimento ve beton üretiminde katkı malzemesi olarak köprü, yol ve baraj inşaatında dolgu olarak kullanımı öngörülmüştür (Bentli ve Çakı 2001).

Çimen vd. (2020), %5 oranında perlit malzemesini sabit tutup, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bor atığı ikame ederek tuğla numuneleri üretmiş ve numuneleri 900°C'de pişirmişlerdir. Pişirilen tuğla numunelerine fiziksel (özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite ve donma-çözünme) ve mekanik basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmışlardır. Çalışma sonucunda; perlit ve bor atığı katkısının uygun oranlarda tuğla üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını bildirmişlerdir.

Tezel vd. (2020), yaptıkları çalışmada, % 0, % 2, % 4 ve % 6 pomza agregalı hafif betona borik asit ilavesinin etkilerini araştırılmıştır. Numunelere fiziksel (kuru birim ağırlık, su emme ve gözeneklilik) ve mekanik (basınç dayanımı, çekme yarıma dayanımı) testler yapmışlardır. Numunelerin mikro yapısının incelenmesi için SEM görüntülerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda gözeneklilik ve su emme değerlerinin azaldığını, kuru birim ağırlığının ise arttığını bildirmişlerdir. SEM görüntülerinin incelenmesi sonucu en iyi sonuçların %6 oranında borik asit ilavesinden elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Aldakshe vd. (2020), yaptıkları çalışmada, pomza agregası ve bor atığının %1, %3, %5, %7 ve %9 oranında kullanılması sonucunda hafif beton üretimi yapmışlardır. Çalışma sonucunda bor atıklarının artması ile malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir. En iyi sonucun %9 oranında bor atık ikamesi olduğunu bildirmişlerdir.

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 kullanılabilceğini tespit etmiştir.

Targan vd. (2002), atık maddelerin çevreye verdikleri olumsuz etkilerin giderilmesi ve çimento üretiminde enerjiye yönelik tasarruf sağlanması amacıyla, 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), pomza kumu ve tinkal konsantratör atığı ile hafif yapı bloğu üretimi üzerine çalışmışlardır. Pomzanın 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 vd. (2006), çimento yerine ağırlıkça %0, %3, %7, %10 oranlarında tinkal bor atığı kullanarak harçların yüksek sıcaklığa karşı dayanımlarını araştırmışlardır. Çalışmada, atıkları çimento boyutlarında öğütürerek 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 gözlemlenmişlerdir. Çalışma sonucunda %3 ve daha az oranda tinkal atığı katkısının yüksek sıcaklığın yaratmış olduğu zararlı etkilere karşı kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Erdoğan vd. (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 kullanılabilceğini 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 kullanılabilceğini belirtmiştir.

Pehlivanoglu vd. (2013), farklı türde çimentoların hidrasyon 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.

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 kullanılabilirliğini bildirmiştir.

Kaman vd. (2017), bor atıklarının çimento harcında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla önce atıkların ayrıntılı termal ve mineralojik karakterizasyonunu gerçekleştirmişler ve ısı 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.

Batar vd. (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 12808-3 ve TS 825 standartlarına uygun üretilen malzemelerin ısı geçirgenlik direnç ve mukavemet deneylerini yapmışlardır.

Gezmen vd. (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 kullanılabilirliğini belirtmişlerdir.

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 geçirimsizliği ve basınçlı su geçirimsizliği azalırken; sülfat dayanımı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımının arttığını belirtmiştir.

Çağlar (2018), bor atığını harman tuğlası sektöründe kullanarak, bor atığının içinde bulunan B₂O₃ 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 kullanımının harman tuğlası üzerinde olumlu etki yarattığını belirtmiştir.

Tarihsel sürece bakacak olursak, pomza kullanımı Yunanlılar ve Romalılar tarafından kullanıldığı yaptıkları yapılarda gözlemlenebilmektedir. A.B.D.'nde 1851 yılından itibaren 1983 yılına kadar pomza aşındırıcı olarak, çimento ile karıştırılarak su kemerinin yapımında ve hafif-yalıtımlı beton agregası olarak kullanılmaya başlanmıştır (Gündüz 1998).

Pomza betonunu normal betondan ayıran önemli özelliklerden biri de hafif olmasıdır. Bu nedenle işçilik ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca ısı iletkenlik katsayısı yönünden klasik beton ile kıyaslandığında altı kat daha fazla yalıtım sağlamaktadır. Bu özelliğinden ötürü binalarda enerji tasarrufuna katkı sağlamaktadır (Dinçer vd. 2015).

Bu çalışmada, bor atığı kullanımının pomza agregalı hafif harçların mineralojik, fiziksel, mekanik ve termal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında bağlayıcı olarak değişik oranlarda Portland çimentosu ile Nevşehir asidik pomza ve tinkal atığı içerikli reçeteler oluşturulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada çimento olarak CEM II A-LL 42.5 R Portland kalkerli kompoze çimento tercih edilmiş, çimento Şanlıurfa Limak Çimento'dan temin edilmiştir. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur (Yaltay ve Ekinci 2012, Yaltay ve Ekinci 2013, Yaltay vd. 2015).

Çizelge 1. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Testler	
İncelik (0.09 mm elek üstü, %)	1.1
Özgül kütle (g/cm ³)	2.99
Özgül yüzey (cm ² /g)	4109
Priz başlangıcı (saat-dak)	2sa-36dk.

Priz sonu (saat-dak)	3sa-31dk.
Mekanik Testler (N/mm²)	
Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı
(2. Gün) 20.80	4.20
(7. Gün) 35.20	6.30
(28. Gün) 50.40	7.90
Kzd. Ky.	6.44
Bileşik	Oran (%)
SiO ₂	18.92
CaO	60.15
MgO	2.82
Al ₂ O ₃	4.5
Fe ₂ O ₃	3.28
SO ₃	2.6
Na ₂ O	0.21
K ₂ O	0.53
Cl	0.0079
SO ₄	-
SO ₃	2.6
B ₂ O ₃	-
H ₂ O	-
TiO ₂	-

(Yaltay ve Ekinci 2012, Yaltay ve Ekinci 2013, Yaltay vd. 2015)

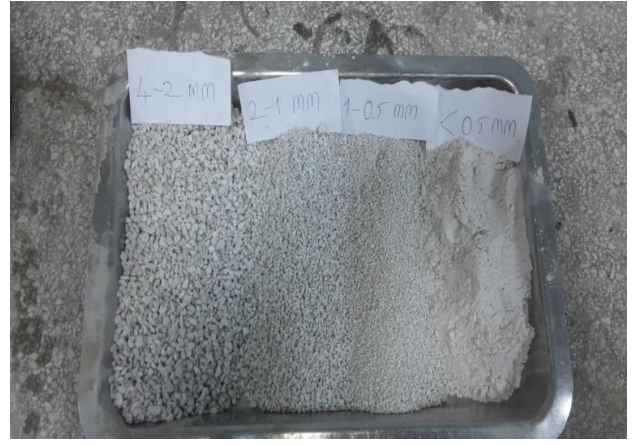
2.1.2. Agregası

Deneysel aşamada kullanılan asidik pomza agregaları Soylu Madencilikten temin edilmiştir. Ocak görüntüsü Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Asidik pomzalara ait ocak görüntüsü

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



Şekil 2. Dört farklı boyuttaki asidik pomza agregaları

Asidik pomzaların her bir granülometriye ait su emme oranı, tane yoğunluğu ile rutubet tayini TS EN 1097-6 standardına uygun olarak, sıkışık ve gevşek birim hacim kütle tayini ise TS 3529 standardına göre belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur. Kimyasal analizi ise firmadan alınmış olup Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Nevşehir asidik pomzasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Agrega Boyutu (mm)			
	4-2	2-1	1-0.5	<0.5
K.Y.D. tane yoğunluğu (g/cm ³)	1.00	1.08	1.13	1.88
Etüv kuru tane yoğunluğu (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	-

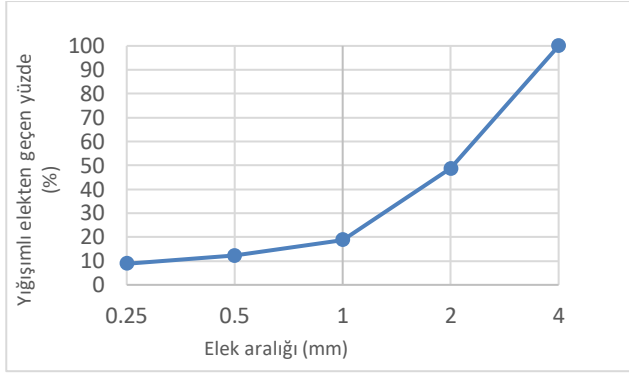
K.Y.D.: Kuru yüzey yoğun

B.H.K.: Birim hacim kütle

Çizelge 1. Nevşehir asidik pomzasının kimyasal özellikleri

Bileşim	%
SiO ₂	73.22
Al ₂ O ₃	12.33
Fe ₂ O ₃	1.13
CaO	0.74
MgO	0.09
Na ₂ O	3.64
K ₂ O	4.19
MnO	0.04
TiO ₂	0.08
SO ₃	0.02
L.O.I	4.50

Agregaların tane dağılım analizi TS EN 933-1 standardına göre yapılmıştır. Pomzalara ait granülometri eğrisi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Pomza agregalarına ait granülometri eğrisi

2.1.3. Karma suyu

Deney aşaması boyunca temiz, içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır. Analiz sonuçları Şuski Genel Müdürlüğü Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nden alınmış olup Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. İçme suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler

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

<https://www.suski.gov.tr/files/3/08.08.2017.pdf>

2.1.4. Tinkal atığı

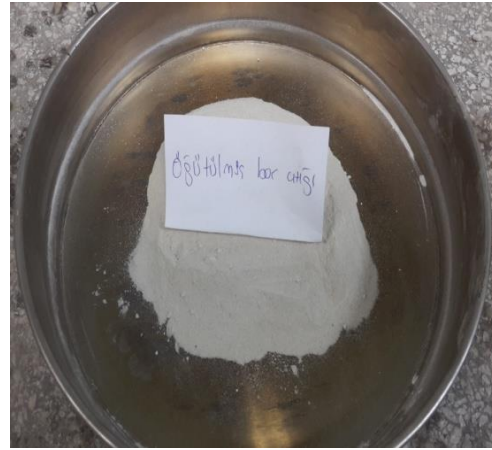
Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) saydam ve renksiz olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar sebebiyle gri, sarımsı ve pembe renklerde bulunabilir. Özgül kütlesi $1,7 \text{ g/cm}^3$ sertliği 2-2.5'tir (Eti Maden İşletmeleri katalogları).

Tinkal atığı, Eskişehir Kırka Tinkal bor üretimi tesislerinden şlam atığı şeklinde temin edilmiştir (Şekil 4.). Atık, Kırka işletmesi şlam atıkları havuzundan alınmıştır. Bu atık tesislerde şlam atığı

şeklinde yıllardır çok fazla biriktiği için atığı değerlendirmek amacıyla tercih edilmiştir. Bu atığa ait kimyasal analiz Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde ICP-OES yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 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. $63 \mu\text{m}$ elek ile elenerek yaklaşık çimento boyutunda katkı olarak kullanılmıştır (Şekil 5.).



Şekil 2. Tinkal şlam atığı



Şekil 3. Öğütülmüş tinkal atığı

Çizelge 5. Tinkal atığına ait kimyasal analiz

Madde (%)	Tinkal atığı
Al_2O_3	0.74
B_2O_3	47.28
CaO	7.55
Fe_2O_3	0.28
K_2O	0.51
MgO	10.23
Na_2O	33.41

2.1.5. 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 (<https://www.emulzer.com.tr/upload/51826-permo-flow-superpdf.pdf>) Çizelge 6'de gösterilmiştir. Kimyasal katkı Emülzer Asfaltevi Tecrit Maddeleri Ticaret ve Sanayi Limited Şirketinden temin edilmiştir.

Çizelge 6. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler

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

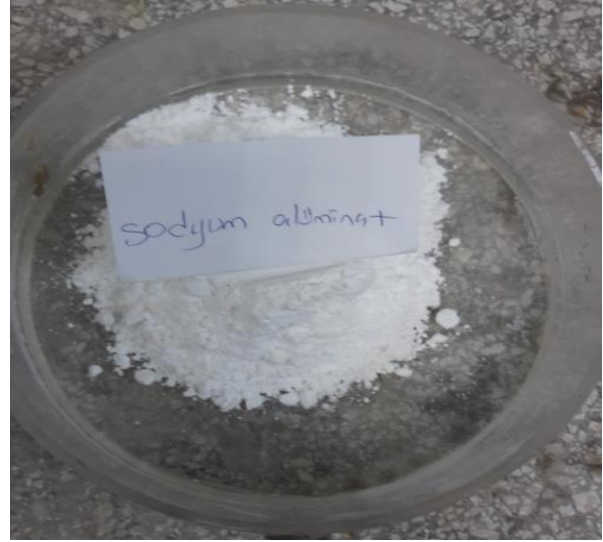
(<https://www.emulzer.com.tr/upload/51826-permo-flow-superpdf.pdf>)

2.1.6. Sodyum alüminat

Bor atığı kullanılan karışımlarda borun bünyesinde bulundurduğu B₂O₃'ün (borik asit) yarattığı hidrasyonu geciktirici etkiyi önleyebilmek için sodyum alüminat stabilizör olarak kullanılmıştır (Pehlivanoğlu vd. 2014). Sodyum alüminat ecc Kimya Sanayi ve Ticaret Limited Şirketinden temin edilmiştir. Kimyasala ait teknik özellikler firmadan alınmış olup Çizelge 7'da gösterilmiştir.

Çizelge 7. Sodyum alüminat teknik özellikler

Özellikler	
Formülü	NaAlO ₂
Molekül Ağırlığı	81,97 (g/mol)
Al ₂ O ₃ (%)	43-44
Görünüm	Açık pembe hidroskopik toz
Çözünürlük	Suda çözünür
Yoğunluk	1.5 (g/cm ³)



Şekil 4. Sodyum alüminat

2.2. Metot

2.2.1. 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, karışımında kullanılan hafif agregaların çok ve hızlı bir şekilde su emmeleridir. Bazı araştırmacılar karışımında agregaların karışım suyunu emeceğini bunun sonucunda da çimento hidrasyonu için gerekli suyu bulamadığından beton mukavemetinin beklenen değerinin altında olacağını belirtmektedirler (Ulus 1998 akt. Möröydor 2000). Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar hızlı ve fazla miktarda su emdikleri için sabit bir su miktarı belirlemek oldukça zordur. Bu yüzden hidrasyonu 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. Hesaplamalarda, hafif agrega yoğunlukları doygun yüzeyi kuru tane yoğunlukları alınmıştır (Çizelge 2). Harç kıvamı için

çimento miktarının %1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir. %0, %10, %15 oranlarında çimento miktarı artırılarak 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 başka bir priz hızlandırıcı kimyasal katkı kullanılarak denenmiş olup tüm oranlarda tinkal atığı priz geciktirme etkisi ve çimento yapısında bozulmalar meydana getirmiştir.

Literatürde bir çalışmada farklı türde çimentoların hidratasyon sürecine bor bileşiklerinin etkileri incelenmiştir. Çalışmada, PÇ örneklerinde %1 borik asit katkısının %2 sodyum alüminat katkısı ile kullanımında hidratasyon reaksiyonundaki gecikmeyi önlediğini tespit etmişlerdir (Pehlivanoğlu vd. 2014). Kula vd. (2002), çimento ile %1 yer değiştirme düzeyinde kullanılan tinkal cevher atıklarının, Portland çimentosu (PÇ) özelliklerinde bir iyileşmeye sebep olduğunu, ancak priz süresinde gecikme etkisi yapsada, çimento ile %5'e kadar yer değiştirerek kullanılabileceğini belirtmiştir.

Tüm tinkal atığı katkılı örneklerde çimento miktarının %1'i oranında tinkal atığı ile %2'si oranında sodyum alüminat kullanılarak B₂O₃'ün hidratasyonu geciktirici etkisi önlenmiştir.

Hafif beton karışım hesapları TS 2511 standardına uygun olarak mutlak hacim yöntemine göre yapılmıştır. Tüm hesaplamalar Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. Hafif beton karışım hesapları

1 m ³ Betondaki Gerçek Malzeme Miktarları	Numune Adı					
	160 K	176K	184 K	160 B	176 B	184 B
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
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

2.2.2. Hafif beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür

Bu çalışmada, 160, 176, 184 kg/m³ olmak üzere üç farklı çimento dozajında her dozajda kontrol ve tinkal atığı katkılı 6 karışım üretilmiştir. Tüm karışımlarda işlenebilirliği sağlamak amacıyla çimento miktarının %1'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı uygun görülmüştür. Bor bileşiğinin bor trioksit (B₂O₃) konsantrasyonu ile beton ve çimentolu kompozitlerdeki iyileştirme sağlamaktadır. Bor trioksit (B₂O₃) konsantrasyonu arttıkça, çimento hidratasyon reaksiyonu azaldığı, priz süresinin arttığı bilinmektedir (Taylor 1997). Bir başka çalışmada ise %30 oranında kolemanit agregasının dayanım ve işlenebilirlik için olabilesi mümkün bir oran olacağını, daha fazla oranda kullanılan kolemanit agregasının betonun priz süresini uzattığını bildirmiştir (Gencel vd. 2010). 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 B₂O₃ mineralinin etkisini önlemek için tüm bor atığı katkılı karışımlarda çimento miktarının %2'si oranında sodyum alüminat kullanılmıştır (Pehlivanoğlu vd. 2014).

1. seri karışım için öncelikle her granülometri aralığından belirlenen oranlarda asidik pomza agregası karıştırıcıya konulup kuru olarak 1 dak

kariştirilmiştir. Bu işlemde sonra ön doyurma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek 30 dak süre ile belirli aralıklarla kariştirilip beklenmiştir. 30 dak süre sonunda çimento ve karişım suyunun %15'i ile seyreltilmiş süper akışkanlaştırıcı katkı eklenerek 2 dak daha kariştirilmiştir. Daha sonra kalan su miktarı eklenerek kariştirme işlemine 3 dak daha devam edilmiştir. 2. seri karişım için öncelikle her granülometri aralığından belirlenen oranlarda asidik pomza agregası kariştiriciya konulup kuru olarak 1 dak kariştirilmiştir. Bu işlemde sonra ön doyurma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek 30 dak süre ile belirli aralıklarla kariştirilip beklenmiştir. 30 dak süre sonunda çimento, öğütölmüş tinkal atığı ve sodyum alüminat kuru olarak 1 dak kariştirilmiştir. Karişım suyunun %15'i ile seyreltilmiş süper akışkanlaştırıcı katkı da eklenerek 2 dak daha kariştirilmiştir. Daha sonra kalan su miktarı eklenerek kariştirme işlemine 3 dak daha devam edilmiştir. Hazırlanan hafif beton karişımı Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Hafif beton karişımı

2.2.3. Taze hal özellikleri

2.2.3.1. Taze beton yoğunluk deneyi

Taze betonlar üzerinde taze beton yoğunluk deneyi yapılmıştır. Karişım, 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 8.).

TS EN 12350-6 standardına uygun olarak, doldurulmuş kabin 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.

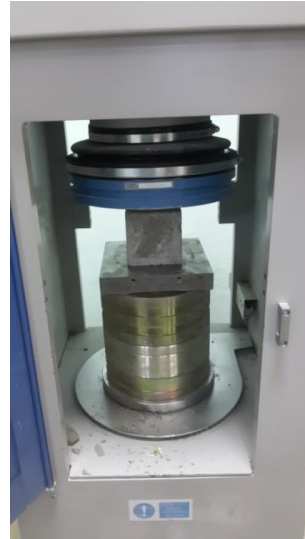


Şekil 8. Taze beton yoğunluğunun belirlenmesi

2.2.4. Sertleşmiş hal özellikleri

2.2.4.1. Basınç dayanımı deneyi

Üretilen 6 seri karişımın her kür yaşından 3 adet numune alınarak TS EN 12390-3 standardına göre basınç deneyi yapılmıştır. 10×10×10 cm boyutundaki küp numunelere beton döküm yönüne dik olarak yük uygulanmıştır (Şekil 9.).



Şekil 9. Basınç dayanımı deney düzeneği

2.2.4.2. 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 10.). Daha sonra terazide tartılarak değerler kaydedilmiştir. Numunenin 24 saat sonundaki etüv kurusu ağırlığı (g), 10×10×10 cm boyutundaki küp numunenin hacmi (cm³)'ne bölünerek birim hacim kütle değeri belirlenmiştir.



Şekil 10. 24 saat sonunda etüv kurusu numuneler

2.2.4.3. 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 11.). 24 saat suda bekletildikten sonra yüzeyi kuru bir havlu yardımıyla silinerek ağırlıkları tartılmıştır. Bulunan değerler denklem (1) yardımıyla hesaplanmıştır. Deney TS 3526 standardına uygun olarak yapılmıştır.

$$\delta k = \frac{Gd - Gk}{Gk} \times 100 \quad (1)$$

Burada;

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



Şekil 11. 24 saat suda bekletilen numuneler

2.2.4.4. Ultrases geçiş hızı deneyi

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 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 12.). Bu işlemle sesin geçiş süresi tespit edilmiş ve bu değerle ses hızı denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V = \frac{l}{t} \quad (2)$$

Burada;

V= Ses hızı, (km/s)
t= Ses geçiş süresi, (μ s)
l= Numune boyu (m)



Şekil 12. Ultrases geçiş hızı tayini

2.2.3.1. Isı iletkenlik deneyi

Deney ISO 22007-2 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneye başlanmadan önce numuneler 6 saat laboratuarda ortam sıcaklığına uygun olması açısından bekletilmiştir. Cihaz Hot Disk marka ve TPS 500 S olan 3 cm çaplı hassas sensör ile sensör üzerine koyulan 10×10×10 cm'lik numunenin ısı iletim değeri (k), W/mK cinsinden elde edilmiştir. Deney, ısı kaynağı yöntemiyle yapılmıştır. 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 13'de gösterilmiştir.



Şekil 13. Isı iletkenlik değerinin belirlenmesi

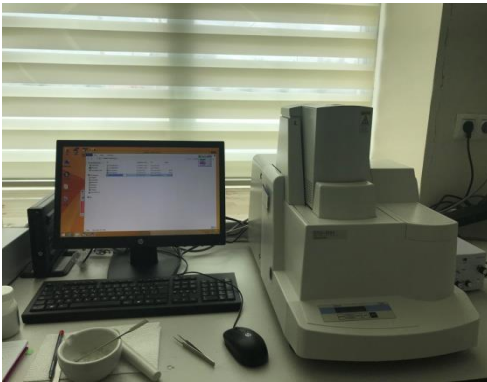
2.2.3.2 Termogravimetrik analiz (TGA) ve Diferansiyel termal analiz (DTA)

Tamamen bilgisayar kontrolünde gerçekleştirilen TGA-DTA analizi, sıcaklık artışı ile birlikte bir malzemenin bünyesinde oluşan değişimleri belirlemek için kullanılmaktadır.

TGA işleminde, ısı karşısında bir malzemenin gösterdiği ekzotermik ve endotermik reaksiyonlar belirlenir.

Numunenin kütlesi kontrollü atmosfer altında zamanın ya da sıcaklığın fonksiyonu olarak belirlenir. Zamana karşı kütle yüzdesi veya kütle grafiği termal bozunma veya termogram olarak isimlendirilir (Holler vd. 2007).

Deney, Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Kürden çıkarılan 14 günlük kontrol ve bor atığı katkı 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 14. TGA-DTA cihazı

2.2.3.3. 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. X ışınları ile etkileşime giren, her bir kristal faz kendi yapısına has bir X-ışını kırınım deseni oluşturur ve bu kırınım desenleri o kristali bir nevi parmak izi gibi tanımlar.

Deney, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'da Şekil 15'da gösterilen cihaz yardımıyla yapılmıştır.

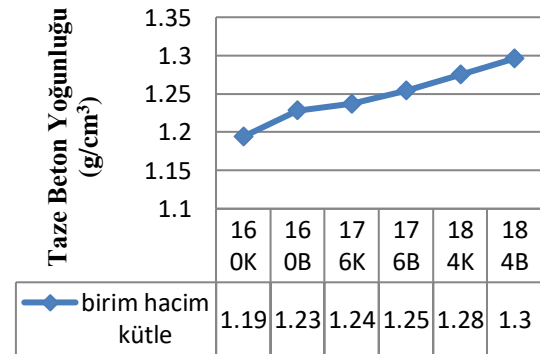


Şekil 15. XRD cihazı

3. Bulgular

3.1. Taze beton yoğunluk deneyi

15×15×15 cm plastik küp kalıp yardımı ile taze betonun yoğunluğu belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 16'de sunulmuştur.



Şekil 16. Tüm karışımlara ait BHK grafiği

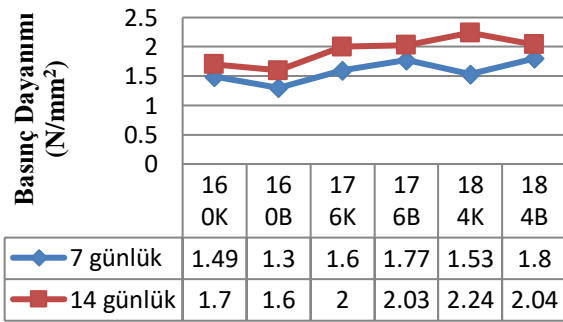
Şekil 16 incelendiğinde, en düşük yoğunluk 16OK kodlu kontrol numunelerinde görülmektedir. En yüksek yoğunluk ise 184B kodlu bor atığı katkılı numunelerde görülmüştür.

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

3.2. 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 Şekil 17’de gösterilmiştir. 7 günlük numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında; en büyük dayanım değeri 184 kg/m³ dozajlı bor atığı katkılı numuneden elde edilmiştir (1.8 MPa). En düşük dayanım değeri ise 160 kg/m³ dozajlı bor atığı katkılı numuneden elde edilmiştir (1.3 MPa). 7 günlük numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerine göre bor atığı ilavesiyle nispeten bir iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.

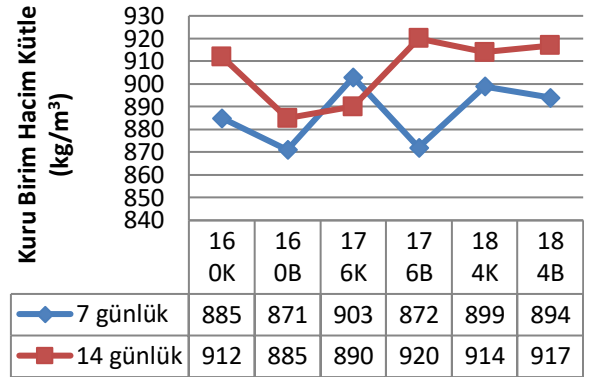
14 günlük numunelerin basınç dayanımlarına bakıldığında; en büyük dayanım değeri 184 kg/m³ dozajlı kontrol numunesinden elde edilmiştir (2.24 MPa). En düşük dayanım değeri ise 160 kg/m³ dozajlı bor atığı katkılı numuneden elde edilmiştir (1.6 MPa). 14 günlük numunelerin basınç dayanımları bor atığı ilavesiyle düşüş göstermiştir. Yalçın (1996), %2’lik kolemanit katkısının basınç dayanımında %28’e varan azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir.



Şekil 17. Basınç dayanımı grafiği

3.3. 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 Şekil 18'de gösterilmiştir.

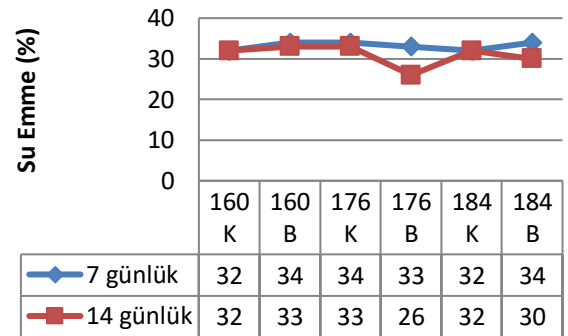


Şekil 18. Kuru birim hacim kütle grafiği

Şekil 18’de numunelerin 7 günlük kuru birim hacim kütle değerlerine bakıldığında en düşük kuru birim hacim kütle değeri 160 kg/m³ dozajlı bor atığı ilaveli numuneden elde edilmiştir (871 kg/m³). En düşük 7 günlük basınç dayanım değeri yine 160 kg/m³ dozajlı bor atığı ilaveli numuneden elde edilmiştir. Kuru birim hacim kütle azaldıkça basınç dayanımı da azalmıştır. 14 günlük numunelerin kuru birim hacim kütle değerleri incelendiğinde en düşük kuru birim hacim kütle değeri 160 kg/m³ dozajlı bor atığı ilaveli numunelerde görülmüştür. Bu noktada da kuru birim hacim kütle değerinin basınç dayanımıyla ilişkili olduğu görülmüştür. 14 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında en düşük basınç dayanım değeri 160 kg/m³ dozajlı bor atığı katkılı numuneden elde edilmiştir (1.6 MPa). Birim ağırlıklardaki azalma, basınç dayanımı düşüşlerini de beraberinde getirmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına baktığımızda dayanım sonuçlarının bu düşüşü desteklediği görülmektedir (Akyıldız 2012).

3.4. Su emme deneyi

7 ve 14 günlük 3'er adet 10×10×10 cm küp numune üzerinde su emme deneyi uygulanmış olup ortalamaları alınmıştır. Değerler Şekil 19’da verilmiştir.



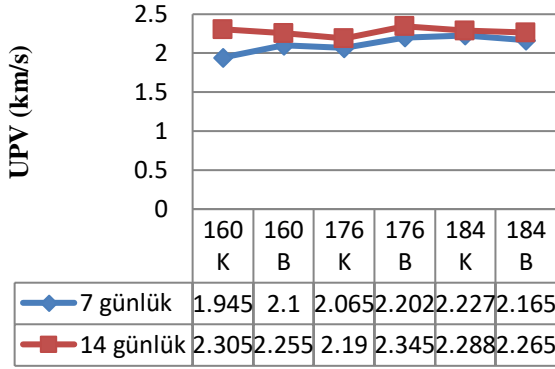
Şekil 19. Su emme grafiği

Çizelge 19'da su emme deneyi sonuçları incelendiğinde, 7 günlük numunelerde en yüksek su emme değeri 160 kg/m^3 dozajlı bor atığı ilaveli numuneden elde edilmiştir (%34). Bu değer 7 günlük 160 kg/m^3 bor atığı ilaveli numunenin kuru birim hacim kütle değeri ile ilişkili olduğu görülmektedir. Kuru birim hacim kütle değeri azaldıkça numunenin su emme değeri artmıştır.

Benzer sonuçlar 14 günlük numunelerde de gözlemlenmiştir. En düşük kuru birim hacim kütle değerine sahip numunede en fazla su emme değeri tespit edilmiştir (%33).

3.5. Ultrases geçiş hızı deneyi

$10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ küp numunelerden 3'er adet alınarak her numunede iki noktadan ölçüm yapılmıştır. Ortalamalar alınıp sonuçlar Şekil 20'de sunulmuştur.

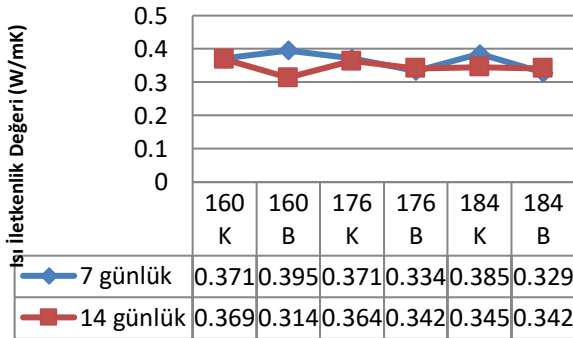


Şekil 20. UPV grafiği

UPV sonuçlarına bakıldığında genellikle bor atığı katkısının numunelerin ultrases geçiş hızlarını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

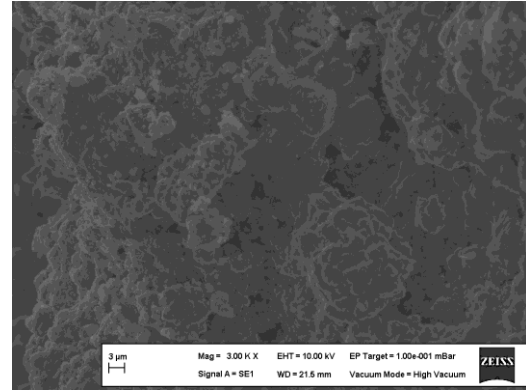
3.6. Isı iletkenlik deneyi

Numunelerin ısı iletkenlik hesap değeri grafiksel gösterimi ise Şekil 21'de gösterilmiştir.

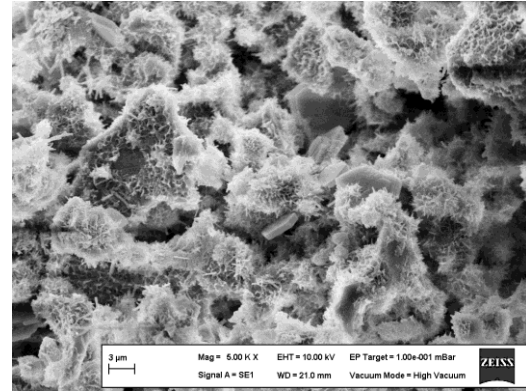


Şekil 21. Isı iletkenlik grafiği

Sonuçlar incelendiğinde genellikle bor atığı ilaveli numunelerin ısı iletkenlik katsayılarında düşüş gözlemlenmiştir. En düşük ısı iletkenlik katsayısı 160 kg/m^3 dozajlı bor atığı ilaveli numuneden elde edilmiştir (0.314 W/mK). Genel olarak karışımlarda bor atığı ilavesinin ısı iletkenlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin karışım içine eklenen bor atığı mineralinin kapalı gözenekli yapıda olmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Şekil 22 ve Şekil 23'te örneklerin SEM görüntülerine bakıldığında kontrol numunesinin daha düzensiz bir yapıda olduğu görülmektedir. Tinkal atığı katkılı numune ise düzenli bir yapıdadır.



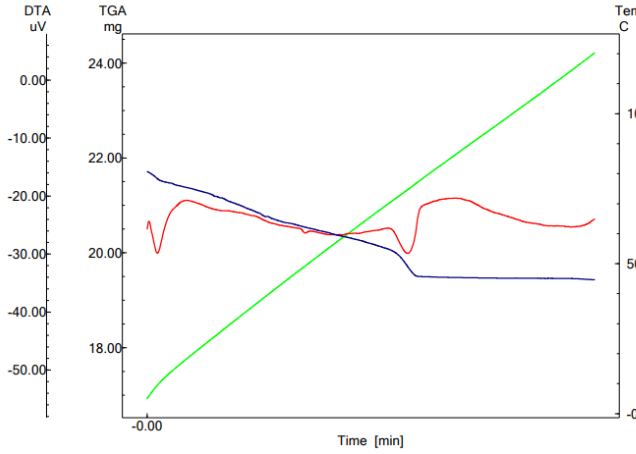
Şekil 22. 160K kodlu numunenin SEM görüntüsü



Şekil 23. 160B kodlu numunenin SEM görüntüsü

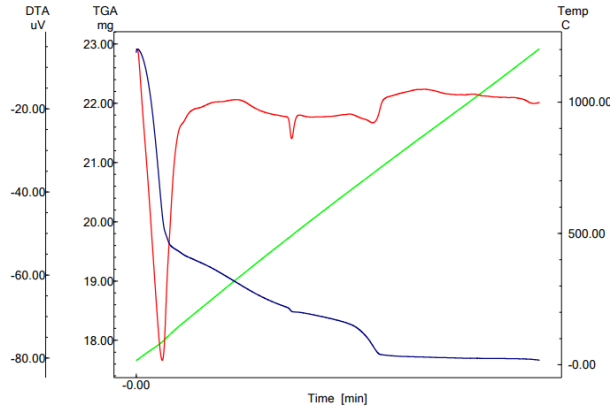
3.7. Termogravimetrik analiz (TGA ve)Diferansiyel termal analiz (DTA)

Tamamen bilgisayar kontrollü DTA-TGA analizinde her bir numune toz haline getirildikten sonra 20°C/dak ısıtma hızıyla yapılarında ortaya çıkan ağırlık kayıpları (TGA) ve sıcaklığa bağlı ortaya çıkan enerji kayıpları (DTA) hangi sıcaklıklarda meydana geldiği Şekil 24-29'da her numune için gösterilmiştir. Şekillerde görülen kırmızı çizgi DTA (enerji kaybı) çizgisi, yeşil çizgi sıcaklık çizgisi ve mavi çizgi ise TGA (kütle kaybı) çizgisidir.



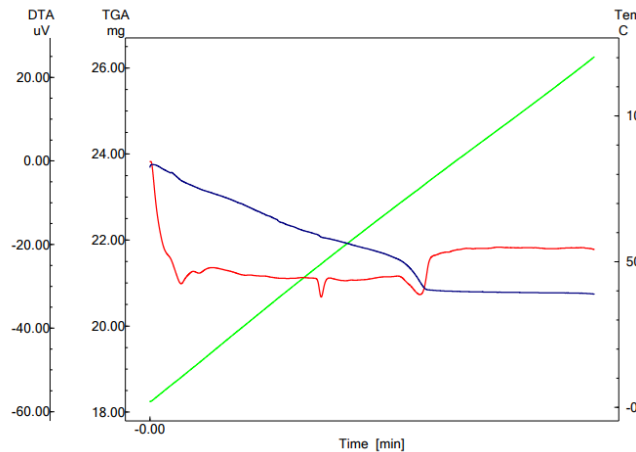
Şekil 24. 160K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

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



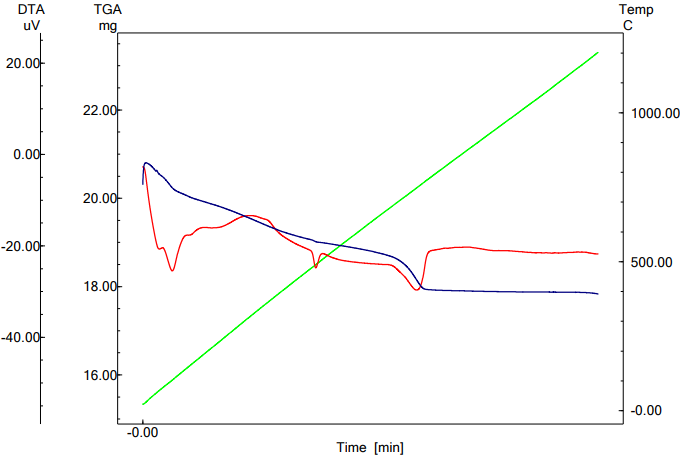
Şekil 25. 160B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

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.



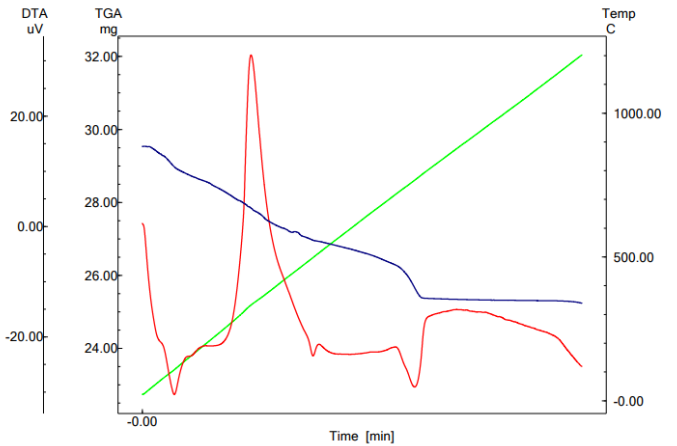
Şekil 26. 176K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

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



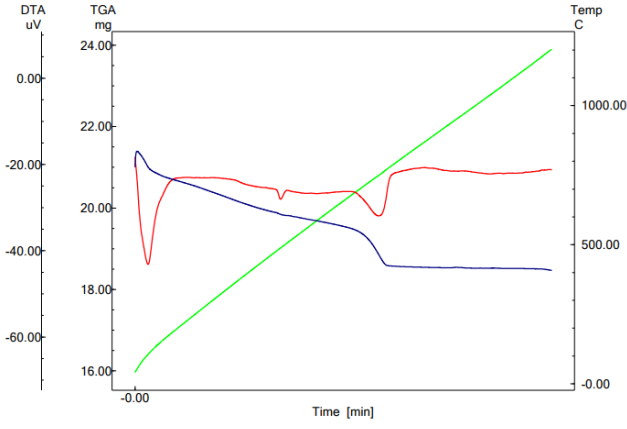
Şekil 27. 176B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

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 28. 184K kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

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



Şekil 29. 184B kodlu numuneye ait TGA-DTA analizi

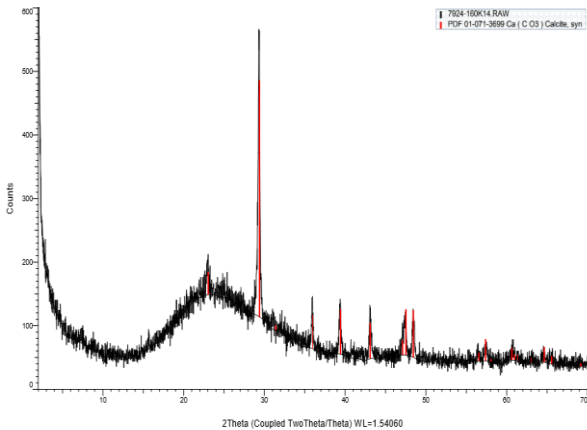
184B kodlu numunenin TGA analizi incelendiğinde ise iki aşamalı bir eğri elde edilmiştir. Birinci aşamada 800-500°C sıcaklık aralığında kütle azalması olurken ikinci aşamada 500-400°C sıcaklık aralığında kütle azalması olduğu görülmektedir.

Grafiklerde ki ilk kütle kayıpları numunelerin üzerinde barındırdığı bünye nemini kaybetmesinden kaynaklıdır. Sonraki aşamalarda görülen ağırlık kayıpları ise numunenin bozunmaya başladığını gösterir (Çelik vd. 2019).

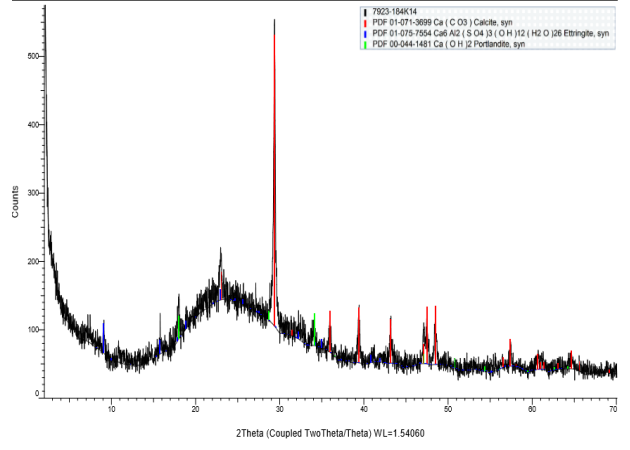
Kontrol numunelerinde bozunma tek bir aşamada gerçekleşirken tıkal atığı katkılı numunelerde birden çok bozunma aşaması gözlemlenmiştir.

3.8. XRD analizi

14 günlük sertleşmiş beton numunelerinin mineralojik yapılarını göstermek amacıyla X ışınları difraktogram sonuçları Şekil 30-34'de gösterilmiştir.



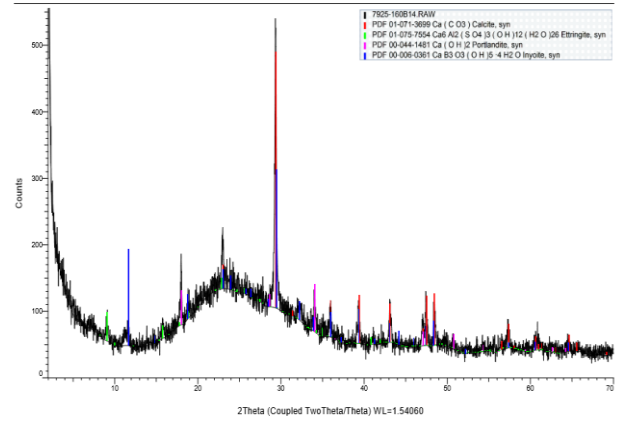
Şekil 30. 160K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı



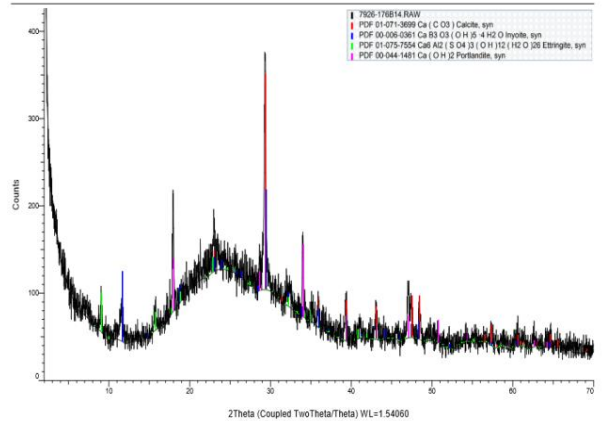
Şekil 31. 184K kodlu numuneye ait XRD difraktogramı

Kontrol numunelerine ait XRD analizleri sonucunda en yüksek pik 2θ'de yaklaşık 29° Kalsit (CaCO₃) hammaddesinin pikleri elde edilmiştir. Ayrıca 184K kontrol numunesinde portlandit (Ca(OH)₂) oluşumu da gözlemlenmiştir.

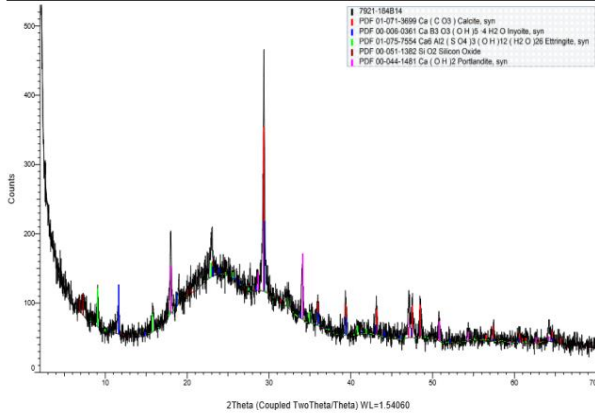
Bor atığı katkılı numunelerde yine en yüksek pik 2θ'de yaklaşık 29° Kalsit (CaCO₃) hammaddesine aittir. Ayrıca Kalsiyum borat hidroksit hidrat (CaB₃O₃(OH)₅.H₂O ve portlandit (Ca(OH)₂) oluşumları da görülmektedir.



Şekil 32. 160B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı



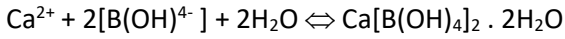
Şekil 33. 176B kodlu numuneye ait XRD difraktogramı



Şekil 34. 184B kodlu numuneyle ait XRD difraktogram

(CaB₃O₃(OH)₅.4H₂O oluşumu tinkal atığının priz geciktirici etki yaptığını desteklemektedir. Literatüre bakıldığında, hidrasyon sürecinde oluşan bu mekanizma açıklanmıştır.

Hidrasyon reaksiyonu sırasında, su (H₂O) ve kalsiyum oksit (CaO), kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) meydana getirmek üzere tepkimeye girer. Bu reaksiyon esnasında gözenek suyu hızlı bir şekilde alkali çözeltiliye döner. Gözenek suyunda hidroksil (OH⁻) anyonları ile kalsiyum (Ca²⁺) katyonlarının konsantrasyonu artar ve B(OH)₃ hızlı bir şekilde çözünür. OH⁻ anyonları ve B(OH)₃ iyonları reaksiyona girerek B(OH)₄⁻ bileşimini meydana getirir. Daha sonra B(OH)₄⁻ ile Ca⁺ katyonları tepkimeye girer.



Tepkime sonucunda (CBH₆) kalsiyum di borat bileşiği çimentonun yüzeyi ile temasa geçmesi sonucunda bu bileşik çimento partikül yüzeyinin bir kısmı veya tamamının üzerine çökerek kaplar. Çimento partiküllerinin yüzeyinin bir kısmı veya tamamı CBH₆ tabakası ile kaplandığı için hidrasyon ya gecikir ya da tamamen durur. Bu durum çimento partiküllerini topaklaştırır ve yalancı prizlenme meydana gelir. Gözenek solüsyonunda CBH₆ ve CH oluşumu Ca⁺² da bir azalmaya sebep olur. Ancak hidrasyon sonucunda alkaliler (K₂O, Na₂O vd.) serbest kaldığı için gözenek solüsyonunda potasyum (K⁺), sodyum (Na⁺) katyonları oluşur bu da OH⁻ anyonlarının tekrar artmasına sebep olur. Gözenek suyu OH⁻ anyonlarının pH değerini de yeniden arttırırken, bir süre sonra CBH₆ bileşiğinin yeniden çözünmesi sonucu Ca⁺² katyonu oluşur. Bu kimyasal döngü çimento parçacıklarının yüzeyini saran CBH₆ kristal tabakalarının çözünmesiyle hidrasyon reaksiyonunu hızlandıracaktır ve üst kısımda belirtilen döngü tekrarlanacaktır (Davraz 2010).

Çimento ve su bir araya gelince anyon (silikat ve alüminatlar) ve katyonlardan (kalsiyum iyonları) oluşan iyon çözeltisi oluşur. Her bir iyon çözünürlüğü çözeltilde bulunan asidik ve bazik iyonların tip ve konsantrasyonuna göre değişir (Baradan vd. 2015).

Çözeltilde bazı monokovalent katyonların bulunması durumunda (örneğin : Na⁺, K⁺) kalsiyum iyonlarının çözünürlüğü azalması baskın olup toplam etki priz gecikmesi oluşturur (Lea 1971).

Tinkal atığının bileşiminde Na⁺ katyonunun bulunması bu etkiyi oluşturmaktadır.

4. Sonuçlar

Tinkal atığı katkılı harçlar üzerinde yapılan basınç deneyi sonucunda, tinkal atığının basınç dayanımını genellikle düşürdüğü gözlemlenmiştir. 7 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre %12.7 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %10.6 oranında artmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %17.6 oranında artış olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde basınç dayanımı, kontrol numunelerine göre %5.8 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %1.5 oranında artmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %8.9 oranında azalmıştır.

Tinkal atığı katkılı harçlar üzerinde yapılan kuru birim kütle hacim deneyi sonucunda, kür süresi arttıkça tinkal atığı katkılı numunelerin kuru birim hacim kütle değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 7 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde kuru birim hacim kütle değeri, kontrol numunelerine göre %1.6 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %3.4 oranında azalmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %0.5 oranında azalma olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde kuru birim hacim kütle değeri, kontrol numunelerine göre %2.9 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %3.4 oranında artmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %0.3 oranında bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Tinkal atığı katkılı harçlar üzerinde yapılan su emme deneyi sonucunda tinkal atığı genellikle su emme değerlerini arttırmıştır. 7 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde su emme değeri, kontrol numunelerine göre %6.2 oranında

artarken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %2.9 oranında azalmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %6.2 oranında artış olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde su emme değeri, kontrol numunelerine göre %3.1 oranında artarken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %21.2 oranında azalmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %6.2 oranında azalma olmuştur.

Tinkal atığı katkılı harçlar üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deney sonucuna göre, tinkal atığı katkılı numunelerde ultrases geçiş hızı değerleri genellikle yüksek çıkmıştır. 7 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ultrases geçiş hızı değeri, kontrol numunelerine göre %8 oranında artarken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %6.6 oranında artmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %2.8 oranında azalmıştır. 14 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ultrases geçiş hızı değeri, kontrol numunelerine göre %2.2 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %7.1 oranında artmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %1 oranında azalma görülmüştür.

Isı iletkenlik deney sonuçları incelendiğinde tinkal atığı katkılı numunelerde kür süresi arttıkça ısı iletkenlik değerlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. 7 günlük 160 kg/m³ 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/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %14.5 oranında azalma olduğu görülmektedir. 14 günlük 160 kg/m³ çimento dozajlı bor atığı katkılı numunelerde ısı iletkenlik değeri, kontrol numunelerine %14.9 oranında azalırken, 176 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde %6 azalmıştır. 184 kg/m³ çimento dozajlı numunelerde ise %0.9 oranında azalma olmuştur. Genel olarak karışımlarda bor atığı ilavesinin ısı iletkenlik değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

TGA-DTA analizleri incelendiğinde kontrol numunelerinin bozunmaları tek aşamada gerçekleşirken, tinkal atığı katkılı numunelerin bozunmaları birden çok aşamada gerçekleşmiştir. Tinkal atığı katkılı numunelerin daha yüksek sıcaklığa dayanabildiği gözlemlenmiştir.

XRD analizi incelendiğinde, tinkal atığı katkılı numunelerde (CaB₃O₃(OH)₅.4H₂O oluşumunun gözlemlenmesi tinkal atığının priz geciktirici etki

yaptığını göstermektedir. Tüm numunelerde çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan (Ca(OH)₂) gözlemlenmiştir. CaCO₃ hammaddesi ise çimentoyu oluşturan bileşimlerden biri olan kalkerden dolayı gözlemlenmiştir.

Teşekkür

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 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 Merkezi'ne teşekkür ederim.

5. Kaynaklar

- Akyıldız, A., 2012. Beton üretiminde bor atıklarının puzzolana materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 102.
- Aldakshe, A., Çağlar, H., Çağlar, A., Avan, Ç., 2020. The investigation of use as aggregate in lightweight concrete production of boron wastes. *Civil Engineering Journal*, **6(7)**, 1328-1335.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2015. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 825.
- Batar, T., Köksal, N.S., Yersel, Ş.E., 2009. Atık bor, atık kağıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu. *Ekoloji*, **18(72)**, 45-53.
- Bentli, İ., Çakı, M., 2001. Kırka boraks işletmesi DSM atık kilinin çini hamuru yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması. *10. Ulusal Kil Sempozyumu*, Konya, 502-511.
- Bideci, Ö.S., 2013. Bor kaplı hafif agregalı betonların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne, 101.
- Çağlar, A., 2018. Geleneksel kastamonu evlerinde kullanılan harman tuğlası özelliklerinin bor atığı katkısı ile iyileştirilmesi üzerine deneysel araştırma. Doktora

- Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 118.
- Çelik, A., Yörükoğlu, A., Sürdem, S., Türker, A., Erdoğan, Y., 2019. Bor katkılı pomza tuğla üretimi, fizikomekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Boron*, **4** (2), 107-118 .
- Çetin, H., 2006. Bor Kapanı. İstanbul, 285.
- Çimen, S., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö., 2020. Effect of boron wastes on the engineering properties of perlite based brick. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, **9**(2), 50-56.
- Davraz M., 2010. The effect of boron compound on the properties of cementitious composites. *Science and Engineering of Composite Materials*, **17**(1), 1-17.
- Demir, İ., Orhan, M., 2002. Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesi. 1. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 235-239.
- Dinçer, İ., Orhan, A., Çoban S., 2015. *Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu*, Nevşehir, 108.
- Erdoğan, Y., 2016. Halı ve bor atıklarından izolasyon malzemesi üretimi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **152**,201-216.
- Erdoğan, E., Yılmaz, B., Erdoğan, Y., Avcıata, U., 2004. Sodyum karbonatın kolemanit konsantratör atığı+Karabük cürufu katkılı portland çimentosunun mekanik özellikleri üzerine etkisi. 2. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Eskişehir, 425-430.
- Gencil, O., Brostow, W., Özel, C., Filiz, M. 2010. An investigation on the concrete properties containing colemanite. *International Journal of Physical Sciences*, **5**(3), 216-225.
- Gezmen, T., Türkel, S., 2017. Bor minerali ve uçucu kül içeren harçların mekanik özelliklerinin ve sülfata dayanıklılığının incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **19**(57), 757-778.
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi. Cilt 1, Isparta, 285.
- Holler, F. James., Skoog Douglas, A., Crouch Standley, R., 2007. Principles of instrumental analysis, Brooks/Cole, 1040.
- ISO 22007-2 Plastics- Determination Of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity- Part 2: Transient Plane Heat Source (Hot Disc) Method.
- Kaman, D., Köroğlu, L., Ayas, E., 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 Materials*, **154**, 743-751.
- Kula I., Olgun A., Sevinc V., Erdogan Y., 2002. An investigation on the use of tincal ore waste, fly ash and coal bottom ash as portland cement replacement materials. *Cem. Concr. Res.* **32**, 227– 232.
- Kula, İ., 2000. Bor endüstri atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 134.
- Lea F.M., 1971. The chemistry of cement and concrete. *Chemical Publishing Company Inc.*, New York, 302-310.
- Pehlivanoglu, H.E., 2014. Bor katkılı portland çimentosu ile üretilen betonların mühendislik özellikleri ve yüksek sıcaklık etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 164.
- Poslu, K., Arslan, İ.H., 1995. Dünya bor mineralleri ve bileşikleri üretiminde Türkiye'nin yeri. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 33-42.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., Sevinç, V., 2002. Kula Cürufu, bentonit ve kolemanit atıklarının çimento üretiminde değerlendirilmesi. 1. *Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 259-265.
- Taylor, H.F.W., 1997. Cement Chemistry (2nd Edition). Thomas Telford Publishing, London.
- Tezel H., Çağlar H., Çağlar A., Can Ö., Çimen S., 2020. Effects of boric acid additive to pumice aggregate lightweight concrete properties. *International Journal of Scientific and Technological Research*. **6**(9), 1-10.
- Topçu, İ.B., Boğa, A.R., 2005. Bor atıklı çimento harçlarının dayanıklılığı. 1. *Ulusal Bor Çalıştayı*, 113-120. Aktaran: Akyıldız, A., 2012. Beton üretiminde bor atıklarının puzolan materyal olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 102.
- TS 2511, 1997. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, TSE, Ankara.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.

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

TS EN 12350-6, 2010. Beton- Taze Beton Deneyleri, TSE, Ankara.

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

TS EN 933-1, 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, TSE, Ankara.

Ulus, İ., 1997. Erzincan mollaköy ham perlit agregasının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 68. Aktaran: Möröydor, E., 2000. Borik asit atığı ve çelik tel katkılı hafif beton üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134.

Yalçın, S., 1996. Kolemanitli çimentoların betonarme demirlerinin korozyonu üzerine inhibitif etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 75.

Yaltay, N., Ekinci, C.E., 2012. Investigation of compression strength of lightweight concrete, subjected to elevated temperature, produced with pumice aggregate and colemanite addition, by non-destructive method *International Construction Congress, ICONC2012-SDÜ*.

Yaltay, N., Ekinci, C.E., 2013. Kolemanit katkılı ve pomza agregalı hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç mukavemeti özelliğinin tahribatsız yöntemle incelenmesi. *SDÜ Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, **5(2)**, 30-41.

Yaltay, N., Ekinci, C.E., Çakır, T., Oto, B., 2015. Photon attenuation properties of concrete produced with pumice aggregate and colemanite addition in different rates and the effect of curing age to these properties. *Progress in Nuclear Energy*, **78**, 25-35.

İnternet kaynakları

1. <https://www.suski.gov.tr/files/3/08.08.2017.pdf> (08.08.2017)
2. (<https://www.emulzer.com.tr/upload/51826-permoflow-superpdf.pdf>)
3. <http://www.etimaden.gov.tr/tinkal>
4. https://www.ecckimya.com/uploads/en_pdf/4fc3a4d642944e59f9a2c62ce1e6cd.pdf