T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GELENEKSEL KASTAMONU EVLERİNDE KULLANILAN HARMAN TUĞLASI ÖZELLİKLERİNİN BOR ATIĞI KATKISI İLE İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL ARAŞTIRMA

Arzu ÇAĞLAR

DOKTORA TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalını

Mayıs-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

GELENEKSEL KASTAMONU EVLERİNDE KULLANILAN HARMAN TUĞLASI ÖZELLİKLERİNİN BOR ATIĞI KATKISI İLE İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL ARAŞTIRMA

Arzu ÇAĞLAR

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
2. Danışman: Prof. Dr. Bahar DEMİREL

2018, 128 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Prof. Dr. İbrahim USLU
Doç. Dr. Mustafa TOSUN
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SAYIN

Endüstrinin gelişmesi beraberinde atık madde miktarında artışı getirmiştir. Oluşan bu atıkların bertaraf edilmesi sürekli çözümü aranan bir sorun haline gelmiştir. Atıkların farklı sektörlerde ham madde veya ikame malzemesi olarak kullanımı bulunan çözüm yollarından biridir. Dünya rezervinin büyük bir kısmına ev sahipliği yapan ülkemizde, bor ve bor endüstrisi atıkları kullanılabilecek atıklar arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, bünyesinde yeraltı sularına ve toprağa zarar veren borik asit (B_2O_3) bulunan atıkların harman tuğlası sektöründe kullanılarak çevreye vereceği zararların minimize edilmesi ve bor atığı katkısı ile harman tuğlası özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. İlk aşamada, dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan mevcut ve fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlası örnekleri temin edilmiştir. Daha sonra numuneler fiziksel (özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, donma-çözünme etkisi, aşınma ve ısı iletim katsayısı tayini) ve mekanik deneylere (basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı) tabi tutulmuştur. SEM, XRD ve BET yöntemleri yardımıyla malzemenin yapısal karakterizasyonu tespit edilmiştir. İkinci etapta farklı oranlarda (%2, %4, %6, %8, %10) bor atığı ikame edilerek harman tuğlası numuneleri üretilmiştir. Mevcut ve fabrika üretimi harman tuğlalara yapılan tüm deney ve işlemler bor atığı katkılı numunelere de uygulanmıştır. Sonuç olarak; harman tuğlası üretiminde bor atığının kullanılabileceği, bor atığının fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon açısından harman tuğlası üzerinde olumlu etki sağladığı görülmüştür. Optimum bor atığı katkı miktarının %8 olduğu tespit edilmiştir. İyileştirilen malzemenin sadece yeni inşa edilecek yapılarda değil, restorasyon çalışmalarında, fırınlarda ve dekorasyon işlemlerinde de kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bor atığı, Geleneksel Kastamonu Evleri, harman tuğla, SEM, XRD.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

EXPERIMENTAL RESEARCH ON IMPROVEMENT WITH BORON WASTE ADDITIVE OF PROPERTIES OF BLEND BRICK USED IN TRADITIONAL KASTAMONU HOUSES

Arzu ÇAĞLAR

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
DOCTOR OF ARCHITECTURE

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
2nd Advisor: Prof. Dr. Bahar DEMİREL

2018, 128 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ
Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Prof. Dr. İbrahim USLU
Assoc. Prof. Dr.Mustafa TOSUN
Assist. Prof. Dr. Selçuk SAYIN

The development of industry has led to increase the amount of waste. The elimination of these generated wastes has become a constantly solution sought problem. It is one of the solutions that waste is used as raw material or substitute material in different sectors. In our country, which has most of the world's boron reserves, boron industrial wastes can be used.

In this study, it is aimed to minimize the damages caused by using boric acid (B_2O_3) which is harmful to groundwater and soil in the blend brick industry and to improve the properties of boron bricks. In the first stage, examples of blend bricks produced by the existing and fabricated method used as external wall filling material are supplied. Then, the specimens were subjected to physical (specific gravity, weight per unit of volume, capillary water absorption, porosity, freeze-thaw effect, heat transmission coefficient determination) and mechanical tests (compressive strength, flexural strength). Structural characterization of the material was determined with the aid of SEM, XRD and BET methods. In the second stage, samples of blend bricks were produced at different rates (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) by substituting boron waste. All the experiments and operations carried out with existing and factory blend bricks to substituting boron waste specimens were also applied. As a result; it can be used of boron waste in the production of blend bricks, it has been observed that the boron waste has a positive effect on the blend brick in terms of physical, mechanical and structural characterization. It has been detected that the optimum amount of boron additive is 8%. It has been determined that the improved material can be used not only for new construction, but also for restoration work, furnaces and decorations.

Keywords: Boron waste, Traditional Kastamonu Houses, blend brick, SEM, XRD

ÖNSÖZ

Öncelikle, yoğun uğraşlar sonucunda ortaya çıkan doktora tez çalışmam süresince maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, değerli danışmanım sayın Doç. Dr. Serra Zerrin KORKMAZ'a, bu süre zarfında bilgisinden yararlandığım, desteğini, ilgi ve alakasını her daim yanımda hissettiğim, çalışmalarımın her aşamasında öneri ve eleştirileri ile beni yönlendiren ikinci danışmanım sayın Prof. Dr. Bahar DEMİREL'e, üstün bilgi ve birikimiyle yol göstererek, çalışmanın başarıyla sonuçlanmasında büyük emeği olan Prof. Dr. İbrahim USLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Doktora tezimin olgunlaşmasında ve şekillenmesinde beni yönlendiren Tez İzleme Komite üyelerim sayın Doç. Dr. Mustafa TOSUN ve sayın Dr. Öğretim Üyesi Nazım KOÇU hocalarıma en içten şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalar süresince, laboratuvar olanaklarının kullanımı konusunda desteğini esirgemeyen Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi müdürü sayın Prof. Dr. Özgür ÖZTÜRK'e, Kastamonu Karayolları Bölge Şefi Metin TÜCCAR'a, deney numunelerimizin üretiminde fabrikalarının kapılarını sonuna kadar açan değerli iş adamı Osman YAYLAOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, beni doktora çalışmamı bitirmem konusunda her zaman teşvik eden sevgisini, bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a, hiçbir konuda desteğini esirgemeyerek beni yetiştiren, bu günlere gelmemi sağlayan sevgi ve saygı ile andığım Rahmetli annem Ayşe ve Rahmetli babam Muammer YILMAZ'a minnettar olduğumu belirterek teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Arzu ÇAĞLAR
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

ÖNSÖZ ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **iv**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 3
1.2. Tezin Önemi 4
1.3. Tezin Kapsamı 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **7**

2.1. Geleneksel Kastamonu Evleri 7
2.2. Tuğla Yapı Malzemesi ve İyileştirilmesi 8
2.3. Bor ve Bor Atığının İnşaat Sektöründe Kullanımı 9

3. MATERYAL VE YÖNTEM **18**

3.1. Materyal 18
3.1.1. Killerin tanımı genel yapısı ve sınıflandırılması 18
3.1.2. Harman tuğlasının tanımı, genel yapısı ve üretimi 22
3.1.3. Bor ve bor atığı 24
3.1.4. Numune üretiminde kullanılan ekipmanlar 51
3.2. Yöntem 53
3.2.1. Mevcut harman tuğlalarının temini 53
3.2.2. Bor atığı katkılı numunelerin üretilmesi 54
3.2.3. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler 57
3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler 62
3.2.3. Numunelerin SEM, XRD ve BET yöntemleriyle yapısal karakterizasyonu 63

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **66**

4.1. Mevcut Numunelerin Değerlendirilmesi 66
4.1.1. Mevcut numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları 66
4.1.2. Mevcut numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları 67
4.2. Fabrika Üretimi Numunelerin Değerlendirilmesi 68
4.2.1. Fabrika üretimi numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları 68
4.2.2. Fabrika üretimi numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları 69
4.3. Mevcut ve fabrika üretimi numunelerin SEM, XRD ve BET değerleri 70
4.3.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri 70
4.3.2. XRD (X-Işını Kırınım) analizleri 71

4.3.3. BET (Brunauer-Emmett-Teller) analizleri 72
4.4. Bor Atığı Katkılı Numunelerin Değerlendirilmesi 73
4.4.1. Bor atığı katkılı numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları 73
4.4.2. Bor atığı katkılı numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları 80
4.5. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 82
4.5.1. Fiziksel deneylerin karşılaştırılması 82
4.5.2. Mekanik deneylerin karşılaştırılması 90
4.5.3. SEM, XRD ve BET değerlerinin karşılaştırılması 93
4.6. Tartışma 97

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 101

KAYNAKLAR 103

ÖZGEÇMİŞ 116

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
B	: Bor
B_2O_3	: Borik Asit
Ca	: Kalsiyum
$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	: Hidroboraksit
$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	: Kolemanit
$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	: Pandermit
cm^3	: Santimetre Küp
CO_2	: Karbon Dioksit
^0C	: Santigrad Derece
dak	: Dakika
Fe	: Demir
HCl	: Hidroklorür
kJ	: Kilojoule
lt	: Litre
m	: Metre
m^3	: Metre Küp
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Pascal
Na	: Sodyum
$Na_2B_4O_7.10H_2O$	: Tinkal
$Na_2B_4O_7.4H_2O$	: Kernit
$NaCaB_5O_9.8H_2O$	: Üleksit
$NaCaB_5O_9.5H_2O$	: Probertit
O	: Oksijen
ppm	: Milyonda Bir
Si	: Silisyum
SiO_2	: Silisyum Dioksit
W/mK	: Watt/Metre Kelvin
µ	: Mikron

Kısaltmalar

A	: Aşınma Kaybı
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Ar-ge	: Araştırma-Geliştirme
ASTM C55-11	: Standard Specification for Concrete Building Brick/ Beton Yapı Tuğlası için Standart Şartnamesi
b	: Hacim Ağırlığı
BAB	: Borlu Aktif Belit
BAK	: Bor Atığı Katkılı Numune
BET	: Brunauer, Emmett ve Teller

BNCT	: Bor Nötron Yakalama Tedavisi
CEM I 42.5 R	: 42.5 MPa Basınç Dayanımına Sahip Hızlı Erken Dayanım Kazanan Portland Çimentosu
CRT	: Katot Işınlı Tüp
ÇABAT	: Çok Amaçlı Borik Asit Tesisi
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
DEHT	: Delikli Harman Tuğlası
DOHT	: Dolu Harman Tuğlası
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
F	: Fabrikasyon Yöntemiyle Üretilen Numune
HK	: Knoop Sertlik N/mm (Newton/milimetre)
LCD	: Sıvı Kristal Ekran
M	: Geleneksel olarak Elle Üretilen Mevcut Numune
m_{ilk}	: İlk Ağırlık
m_{son}	: Son Ağırlık
MS 76	: Sınıf 1 ve Sınıf 2 Taşıyıcı Tuğla Gereksinimleri
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
ORT	: Ortalama Değer
P	: Kütlenin Ağırlığı
PVA	: Polivinil Alkol
P_1	: Etüv Kurusu Ağırlık
P_2	: Suya Doygun Yüzey Kuru Ağırlık
P_3	: Su Dolu Bir Kap İçerisinde Asılı Ağırlık
REF	: Referans Numune
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
S/Ç	: Su/Çimento Oranı
TS	: Türk Standartları
TSW	: Tinkal Katı Atık
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
XRD	: X Işını Kırınımı
V	: Kütlenin Hacmi

1. GİRİŞ

Tarihi kentler, sahip oldukları kültürel, fiziksel ve sosyo-ekonomik değerleri ile kültürel mirasımızın önemli öğeleridir. Bünyelerinde barındırdıkları sivil mimari örnekleri, yaşam alanları gibi unsurları ile bu kentler, varlığını sürdüremeyen uygarlıkların teknolojisini, bilgisini ve yaşam tarzlarını günümüze aktarmaktadır.

Sahip olduğu tarihi konut dokusunu bununla birlikte konutların içinde sürdürülen geleneksel yaşamı büyük ölçüde koruyan Kastamonu kenti, Osmanlı mimarisinin karakteristik unsurlarını itinayla koruyup günümüze aktaran önemli kentlerden biridir (Eyüpgiller, 1999; Kamarlı, 2008). Kastamonu tarihi dokusunun büyük ölçüde korunmuş olmasının en önemli sebeplerinden biri; şehrin Osmanlı ve Cumhuriyet döneminde ekonomik ve politik anlamda durgun bir yapıda olmasıdır (Kamarlı, 2008).

Kastamonu'da geleneksel konut dokusunun büyük bölümü, Karaçomak Deresi'nin oluşturduğu vadinin yamaçlarında doğu ve batı yönlerinde yoğunlaşmıştır. Geleneksel Kastamonu Evleri topoğrafya çizgilerine paralel olarak yol boyunca uzanan sokaklar ve vadi yamacına kurulmuş konutlardan oluşturmuştur (Avcı, 2004).

Geleneksel Kastamonu Evleri, konut yapısı bakımından en iyi korunmuş şehirlerden biri olmasının yanı sıra, halen birçok iyi ve canlı örneğe sahiptir. Evler, Kastamonu halkının yaşam tarzını, kültürünü ve beğenisini yansıtmaktadır (Biçer, 2008). Ayrıca kültür mirasımızın en önemli ürünlerinden olan Geleneksel Kastamonu Evlerinin ve oluşturdukları dokunun, ülkenin topraktan üretilen doğal kaynaklarının (kerpiç, tuğla) sürdürülebilirliğine sağladığı katkılar göz ardı edilemeyecek derecede önem arz etmiştir.

İnsanların yaşam tarzlarının bir yansıması olarak ortaya çıkan, geleneksel malzemeler ve yapım teknikleri ile üretilen Geleneksel Kastamonu Evleri, ahşap karkas sistemde inşa edilmiştir (Eyüpgiller, 1999; Zor, 2012). Geleneksel Kastamonu Evleri'nde, yapı alt sistemlerinden biri olan ve iç ortamı dış ortamdan ayıran cepheler diğer bir deyişle dış duvarlar, ahşap çatkı sisteminin boşluklarına çeşitli dolgu malzemeleri yerleştirilerek yapılan "hımış" yapım sistemiyle oluşturulmuştur (Yılmaz ve ark., 2015). Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu Bölgesi'nde yer alan ormanlık ve nispeten bol yağışlı bir bölgenin ürünü olan Kastamonu Evleri dış duvar dolgu malzemesi olarak; su basman hizasına kadar taş malzemeyle, üst katlarda ise ahşap çatkıların arası taş, harman tuğlası ve kerpiçle inşa edilmiştir (Yılmaz ve Korkmaz, 2016).

Hazırlanan bu tez çalışması kapsamında incelenen dış duvar dolgu malzemesi harman tuğlası, insanoğlunun toprağın pişirilebildiğini öğrenmesi ve bunu mimaride kullanması ile ortaya çıkan yapı malzemesidir. Harman tuğlası, tuğla hamurunun yoğrulma, geleneksel yöntemlerle kalıplarda şekillendirilme, atmosfer şartlarında kurutulma ve pişirilme işlemlerinin "harman" adı verilen alanda yapılmasından dolayı bu adı almıştır (Er, 2013). Uygulanan işlemlerin ilkel olması nedeniyle harman tuğlalarında basınç dayanımı açısından farklılıklar ve kalite düşüklüğü görülmektedir (Gür ve ark., 2012).

Harman tuğlasının düşük basınç dayanımı ve düşük kalite gibi olumsuz yönlerinin iyileştirilmesi için tuğlalara katkı maddeleri ilave edilerek iyileştirme yollarına gidilmektedir.

Tuğla üretiminde iyileştirme için zeolit, tras, uçucu kül, ferrokrom cürufu, mermer tozu, pomza, cam atığı, cam tozu, perlit, çeltik kavuzu, borik asit (B_2O_3) ve bor atığı gibi katkılar kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalara bakıldığında; Bor, Türkiye'de bulunan madenler arasında rezerv büyüklüğü, rezerv ve üretim kapasitesi, kalite ve çeşitlilik, işletme kolaylıkları ve üretim maliyetlerindeki rekabet üstünlüğü açısından dünyada söz sahibi olabilecek potansiyele sahiptir. Dünya rezervinin %72'sine sahip olduğumuz bor önemli madenlerin başında gelmektedir (Ertuğrul, 2004; Kalafatoğlu ve Örs, 2016).

Bor cevherlerinin verimli şekilde üretimi ve açığa çıkan atıklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesi ülkemiz ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Bor minerallerinin işlenmesi sırasında içerisinde belli miktarlarda bor bulunan atıklar ortaya çıkmaktadır. Türkiye Etibank Kırka Boraks Tesisleri'nde 800,000 ton/yıl tinkal konsantresi, 160,000 ton/yıl boraks pentahidrat, 60,000 ton/yıl susuz boraks, 17.000 ton/yıl boraks dekahidrat olmak üzere toplam 1,037,000 ton/yıl kapasite ile üretim yapılmaktadır. Üretim sırasında boraks konsantre ve boraks pentahidrat tesisinden yaklaşık %8-10 oranında bünyesinde borik asit (B_2O_3) bulunduran yılda 120,000 ton kil pestili şeklinde katı atık oluşmaktadır. Ayrıca konsantre tesisinden %19.44 oranında B_2O_3 içeren yılda 125,000 ton boraks şlampı atık barajına verilmektedir (Özen, 2015). Stratejik öneme sahip olan bor mineralinin, yüksek oranda B_2O_3 içeren atıkları hava, su ve toprak kirliliği gibi birçok çevre sorunu oluşturmaktadır (Erdoğmuş, 2006). Atıkların depolanması için çok sayıda büyük barajlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Eskişehir Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletmesi'nde mevcut 6 adet atık barajı bulunmaktadır. Yoğun üretim sonucu atık miktarının fazla olması nedeniyle her 4 yılda

bir yeni bir atık barajı inşası gerekmektedir. İşletme ömrünün yaklaşık 250 yıl olduğu düşünüldüğünde, bu tablo tüm bölgenin atık barajı olarak kullanılmasının yeterli olmayacağını göstermektedir (Ören ve ark., 2006).

Bugüne kadar bor üretiminde açığa çıkan atık malzemenin cam, seramik çimento gibi farklı endüstriyel alanlarda kullanılabilirlikleri yapılan literatür taramasında görülmüştür.

Bor atıklarının inşaat sektöründe özellikle yapı malzemesi üretiminde kullanılması; çimento, beton, harç, yol, tuğla, kiremit vs. yapımında değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Batar ve Köksal, 2009; Akyıldız, 2012). Böylece atıkların değerlendirilmesinin yanı sıra daha ucuz ve kaliteli yapı malzemelerinin üretilmesi de sağlanmış olacaktır (Akyıldız, 2012).

Bu tez çalışmada bor atığının harman tuğlası bünyesinde kullanılabilmesi konusunda deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda Geleneksel Kastamonu Evleri'nde dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğlasının fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu özelliklerin olumsuz yönlerinin iyileştirilmesi için farklı oranlarda bor atığı kullanılarak, daha dayanımlı, kılcal su emme oranı düşük ve ısı yalıtım özellikli ve çevre dostu numuneler üretilmiştir. Endüstriyel atıkların değerlendirilmesi, çevreye ve ekonomiye sağladığı katkı açısından önem arz etmektedir.

1.1. Tezin Amacı

Bir şehrin kültürünü yansıtması, sürdürmesi ve bu kültürü gelecek nesillere aktarmasında tarihi yapıların önemi büyüktür. Bu bağlamda Kastamonu, Anadolu'nun geçmişten günümüze kadar gelen tarihi dokusunu en az hasarla taşımış nadir illerden birisidir. Fakat nüfusun zamanla artması kent merkezinde yeni yapı üretimini zorunlu kılmaktadır. İl merkezine yapılan yeni konutlar tarihi dokuya zarar vermektedir. Restorasyonunun mümkün olmadığı geleneksel evlerin yıkılıp yerine orijinaline benzer konutlar yapılması ve kentin tarihi dokusunun bozulmaması konusunda Kastamonu Belediyesi tarafından çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu tez çalışmasında, yıkım kararı verilen Geleneksel Kastamonu Evleri'nde dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğlalarının mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

İyileştirilen malzemenin sadece yeni yapılarda değil aynı zamanda restorasyon çalışmalarında, fırınlarda ve dekorasyon işlemlerinde de kullanılabilme özelliğinin arttırılması düşünülmüştür.

Bu iyileştirmeyi sağlamak için pirinç kabuğu külü ve perlit malzemeleri ile ön deneyler yapılmış, istenilen verim sağlanamamıştır. Daha sonra yoğun bir şekilde bor üretimi sonucu açığa çıkan bor atığının tesis yakınlarındaki göletlerde biriktirildiği ve bu göletlerin 4 yılda bir dolup yeni atık gölet ihtiyacı doğurduğu tespit edilmiştir. Bünyesinde yeraltı sularına ve toprağa zarar veren B_2O_3 bulunan atıkların harman tuğlası sektöründe kullanılarak çevreye vereceği zararları minimize etmek ve istenilen verimi sağlamak için bor atığı katkılı harman tuğlası üretimi planlanmıştır.

Bu amaçla; hazırlanan tüm deney numuneleri fiziksel (özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, donma-çözünme etkisi, aşınma, katı cisimlerin ısı iletim katsayısı tayini) ve mekanik deneylere (basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı) tabi tutulmuştur. Ayrıca SEM, XRD, BET gibi yöntemlerle yapısal karakterizasyon özellikleri belirlenmiştir. Yapılan tüm bu deneylerle bor atığının harman tuğlasında mineral katkı olarak kullanılabilir olabilmesi tezin asıl amacıdır.

1.2. Tezin Önemi

Tez çalışmasında Geleneksel Kastamonu Evleri'nde mevcut duvar dolgu malzemesi olan harman tuğlasına fiziksel ve mekanik deneyler yapılıp, fabrika üretimi ile de karşılaştırılarak malzemenin olumsuz yönleri ortaya konulmuştur. Çalışma alanı olarak; kentin siluetini oluşturan Geleneksel Kastamonu Evleri'nin, yoğun bir şekilde bulunduğu ve tarihi dokunun kaybolmadığı Kastamonu il merkezi seçilerek konu sınırlandırılmıştır. Deney sonuçlarına göre malzemeye çeşitli oranlarda bor atığı katılarak malzeme iyileştirmesi yoluna gidilmiştir.

Tezdeki bilgiler uygulamaya konulduğunda, kent merkezinde bulunan ve yıkım kararı alınmış konutların yerine yenisi yapılırken duvar dolgu malzemesi olarak iyileştirilmiş malzemenin kullanılmasının olumlu etkileri olacaktır. Bor atığı katkılı malzemeler mevcut malzemeye göre dayanımı yüksek olacağından yeni yapılan konutlar daha uzun ömürlü olacaktır. Bor atığı gözenekli olan harman tuğlasının gözeneklerini dolduracağı için su emilimi daha az olacaktır. Bu durumda konut, atmosfer şartlarından daha az zarar görecektir. İyileştirilmiş bu malzeme konuta yapılan bakım ve onarım masraflarını azaltacağı için aile bütçesine, dolaylı olarak ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Endüstriyel atıklar dünyada olduğu gibi ülkemizde de ihmal edilemeyecek ölçüde çevresel problemlere neden olmaktadır. Bor atıklarının sektörlerde değerlendirilmesi ile;

- Atıkların stoklama sorunları ve maliyeti azalacaktır.
- Çevre kirliliği azaltılmış olacaktır.
- Üretilen yeni ürün ile hem ek kazanç elde edilecek hem de ürün kalitesi arttırılacaktır.
- Bor atığı stokları ülke ekonomisine kazandırılmış olacaktır.
- Atık göletlerinin yapımı için ödenen yatırım giderleri ve kapladıkları alan azalacaktır.

Bu atıkların inşaat sektörü gibi sürekli aktif olan alanlarda değerlendirilmesi hem çevresel sorunları ortadan kaldıracak hem de ülke ekonomisine girdi sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında iyileştirme katkısı olarak bor atığının kullanılması ile atık barajlarında biriken ve çevre kirliliğine neden olan bor atıklarının geri dönüşümü sağlanacaktır. Bu tez çalışması doğal kaynaklarımızın ve onların işlenmesi sonucu açığa çıkan atıkların değerlendirilmesi ve dolayısıyla ülke ekonomisine bulunacağı katkı açısından önem arz etmektedir. Atık malzemelerin geri dönüşüm olarak farklı bir ürünün elde edilmesinde kullanılması ile atık barajlarının iyileştirilmesiyle ilgili araştırmalarını sürdüren Eti Maden İşletmelerine de katkıda bulunulmuş olacaktır.

Bor katkısı ile fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilen harman tuğlasının seri üretimine geçilmesi ile teknolojiye katkıda bulunulacaktır.

1.3. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması Geleneksel Kastamonu Evleri'nin dış duvar dolgu malzemesi olan harman tuğlanın iyileştirilmesi üzerine bir çalışma olduğu için Kastamonu il merkezini kapsamaktadır. Kentte Geleneksel Kastamonu Evi nitelikli 797 konut bulunmaktadır (Eyüpgiller, 1999). İl merkezinde bulunan bu konutlar çoğunlukla hımış yapım sistemiyle inşa edilmiş, duvar dolgu malzemesi olarakta harman tuğla kullanılmıştır. Kullanılan harman tuğlalar ilin Taşköprü ilçe sınırları içerisinde bulunan ocaklarda üretilmiştir. Zamanla ocaklar kapatılmış ve Kastamonu, ihtiyacı olan harman tuğlayı Sinop ili Boyabat ilçesinde bulunan tuğla fabrikalarından temin etmeye başlamıştır.

Bu tez çalışmasında harman tuğlası özelliklerinin iyileştirilmesi için bor atığı katkısı kullanılmış, kullanılan bor atığı Eskişehir ili, Kırka bucağında yer alan bor cevheri

atıklarının depolandığı atık barajlarından temin edilmiştir. Türkiye'de bor üretiminin en fazla olduğu yatak olan Kırka yatağında üretilen bor, kalitesi ve açığa çıkan atık miktarı bakımından birinci sırada yer almaktadır (Eyyüboğlu, 2013). Tüm bu bilgiler ışığında tez çalışması Kastamonu'da bulunan geleneksel evlerin dış duvar dolgu malzemesi olan harman tuğla seçilmiş iyileştirme için Kırka bor atığı kullanılarak çalışma kapsamı sınırlandırılmıştır.

Tezde birinci bölüm giriş bölümüdür. Bu bölümde Kastamonu ili, Geleneksel Kastamonu Evleri, harman tuğla, bor ve bor atığı hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm içerisinde tezin amacı, önemi ve kapsamı başlıklar halinde sunulmuştur.

İkinci bölümde tez hakkında yapılan literatür araştırması bulunmaktadır. Bu kapsamda Geleneksel Kastamonu Evleri, harman tuğlanın iyileştirilmesi, bor ve bor atığı konuları ile ilgili kitaplar, tezler, sempozyumlar, internet ortamında ve dergilerde yayınlanmış ulusal ve uluslararası makaleler incelenmiştir.

Üçüncü bölüm materyal ve yöntem bölümüdür. Materyal başlığı altında harman tuğlası tanımı ve genel yapısı, bor elementi, Türkiye'deki bor rezervleri, bor atığı ve kullanım alanları ve deneyde kullanılacak ekipmanlar hakkında bilgiler verilmiştir. Yöntem kısmında ise, geleneksel olarak elle üretilen mevcut harman tuğlaları ve fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlaların temin edilmesinden bahsedilmiştir. Ayrıca bor atığı katkılı harman tuğlası numunelerinin üretimi, numunelere uygulanan fiziksel ve mekanik deneylere, yapısal karakterizasyon belirlenmesi için SEM, XRD ve BET yöntemlerine yer verilmiştir.

Araştırma sonuçları ve tartışma başlığı altında verilen dördüncü bölümde, geleneksel yöntemle, fabrikasyon yöntemiyle ve çeşitli oranlarda bor atığı ikameli olarak üretilen numunelerin deney sonuçları ayrı ayrı başlıklar halinde değerlendirilmiştir. Numunelere uygulanan deneyler sonucu elde edilen bulgular, tablolar ve grafikler şeklinde sunulmuştur. Tartışma kısmında ise literatürdeki diğer yayınlarla karşılaştırma yapılmıştır.

Son bölüm olan sonuç ve öneriler kısmında ise yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler sunulmuş ve gelecek çalışmalarda neler yapılabileceği konusunda önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışması sırasında konu ile ilgili ulusal ve uluslararası makaleler, tezler, kitaplar, sempozyum ve kongre sunuları vb. kaynaklar incelenmiş ve bu kaynaklardan elde edilen bilgiler, Geleneksel Kastamonu Evleri, Tuğla yapı malzemesi ve iyileştirilmesi ve bor ve bor atığının inşaat sektöründe kullanımı başlıkları altında özet halinde sunulmuştur.

2.1. Geleneksel Kastamonu Evleri

Eyüpgiller (1999) Kastamonu'da yer alan tarihi konut yapılarının envanterini çıkararak yapıların korunmuşluk durumları, çevresel değerlilikleri, fiziksel yapısının gelişmesini ve yüzyıllar boyu nasıl bir kent olduğunu araştırmıştır.

Sağdıç (2001) Kastamonu'da yer alan geleneksel konutlarda yaşayan kullanıcıların sosyo-kültürel özelliklerini, zamanla konutlarda yapmış oldukları değişiklikleri, kullanıcıların konutlar ve yaşadıkları çevre ile ilgili tespitlerde bulunmak için anket çalışması yapmıştır. Sonuç olarak; kentteki geleneksel konutların mevcut durumlarını değerlendirmiş ve konutların korunmasıyla ilgili önerilerde bulunmuştur.

Kamarlı (2008) Kastamonu il merkezinde yer alan geleneksel konutların cephe özelliklerini tespit ederek envanter oluşturmuştur. Yapmış olduğu alan çalışmaları neticesinde, cephe tipolojileri hazırlamış, geleneksel yapıların mevcut kullanım durumunu ve değişmişliğini haritalara işlemiştir.

Sevgilioğlu (2017) Kastamonu il merkezinde bulunan Boyacızade konağının ilk olarak rölöve çalışmasını yapmıştır. Rölöve çizimlerini baz alarak konakta kullanılan malzeme ve meydana gelen hasarları tespiti etmiştir. İkinci aşama olarak, kat planları, görünüşler ve vaziyet planlarından oluşan restitüsyon projesini hazırlamış, restitüsyon çizimlerinin sonucunda restorasyon çizimleri yapmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra konut işlevine yönelik müdahaleler ve koruma ilkeleri belirleyerek müdahale analizleri hazırlamıştır.

Topçuoğlu (2017) geleneksel Kastamonu evlerinden biri olan Barutçu konutunun geçirdiği değişimleri ve mevcut durumunu belgelemiş, yakın çevresini araştırarak Kastamonu'da bulunan diğer konutlarla karşılaştırmasını yapmıştır. Çalışma sonucunda elde ettiği bulguları değerlendirerek korumaya yönelik, yapının pansiyon olarak işlevlendirilmesini sağlayacak restorasyon önerisi getirmiştir.

2.2. Tuğla Yapı Malzemesi ve İyileştirilmesi

Güzel (1993) ponza katkısı ile hafifletilmiş tuğla numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etken olan boşlukluluk ve mikro yapı özelliklerini incelemiştir. Ponza katkısı ile gelen düşük basınç dayanımını 0.5 mm'den küçük dane çaplı ponzaların kullanılması ile arttırılabileceğini tespit etmiştir. Ponza katkısı ile basınç dayanımları arttırılmış, hafif ve ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş tuğla üretiminin mümkün olabileceğini ifade etmiştir.

Öztürk (2001) endüstriyel bir atık olan uçucu kül ile kiremit-tuğla fabrikasından aldığı kilden belirli oranlarda karışım hazırlamış ve farklı sıcaklıklarda sinterlemiştir. Uçucu kül katkılı tuğla numuneler üzerinde fiziksel farklılıkların tespiti için, içyapı analizi, kuruma, pişme, toplam küçülmeler, plastisite suyu, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme deneyleri uygulamıştır. Mekanik özelliklerini belirlemek için numuneleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneylerine tabi tutmuştur. Elde ettiği verilere göre uçucu kül katkılı tuğla üretiminin mümkün olabileceğini tespit etmiştir.

Kılınçarslan ve ark. (2007) Isparta ili Yalvaç ilçesinde bulunan tarihi Pisidia Antiocheia kenti inşasında kullanılan tuğla ve bağlayıcı malzemeleri incelemişlerdir. Numunelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmışlardır. İnceledikleri yapıyı benzer tarihi yapılar ile karşılaştırma yapmış, Yalvaç Pisidia Antiocheia kentinde kullanılan tuğla ve bağlayıcı malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin benzer tarihi yapılara göre üstün özelliklerde olduğunu ifade etmişlerdir.

Kiraz (2010) endüstriyel bir atık olan siklon külü ve uçucu kül ile hafif duvar malzemesi üretimini araştırmıştır. Ürettikleri duvar malzemesine yalıtıma ve hafifliğe yardımcı olması için genleştirilmiş perlit ilave etmişlerdir. Hazırlanan numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, su emme, birim ağırlık ve ısı yalıtımı düzeyini belirlemek için birçok test yapmışlardır. Çalışma sonucunda üretilen malzemenin çok boşluklu yapıda, hafif, su emme, mukavemet ve ısı yalıtım değerleri gibi fiziksel, mekanik ve ısıl özelliklerinin yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

Sömer (2014) geçmiş dönemlerde Anadolu'da Burdur ve Isparta illeri içerisinde yer alan Kremna, İncirlihan Kervansarayı, Adada, Sığırlık Harabesi, Zorzila ve Psidia Antiokya gibi ören yerlerinde kullanılmış taş, tuğla ve harç (bağlayıcı ve agrega) gibi yapı malzemelerinin deneysel çalışmalarını yapmıştır. Tarihi yerlerdeki yapılardan alınan yapı malzemelerini (taş, tuğla, harç) fiziksel (birim hacim ağırlık, kütlece ağırlıkça su emme,

hacimce su emme, özgül ağırlık, kompasite, porozite, doyma derecesi ve kılcal su emme) ve mekanik deneylere (basınç dayanımı, eğilme dayanımı, noktasal yük indeksi, poisson oranı, Schmidt çekici, ultrasese hızı, dinamik elastisite modülü, elastisite modülü) tabi tutmuştur. Sonuç olarak, numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri gibi karakteristik özelliklerin ortaya çıkmasını olanak sağlamış, weka (model) denklemleri oluşturarak birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımının birbirleri ve deney değerleri arasındaki ilişkiler uygun olduğunu belirlemiştir.

Abbas ve ark. (2017) toprak içerisine uçucu kül (kömürün yan ürünü) ikame ederek geleneksel harman tuğlası üretmişlerdir. Ürettikleri tuğlalara fiziksel ve mekanik deneyler uygulamışlardır. Elde ettikleri verilere göre uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımının ve birim hacim ağırlığının, uçucu kül içermeyen harman tuğlalarına kıyasla daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, uçucu kül içeren harman tuğlalarının, ekonomik çözüm sağlayacak daha sürdürülebilir tuğlalar üretmekye yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır.

Rahman ve ark. (2018) tuğla üretiminde bağlayıcı olarak uçucu kül ve palmiye yağı külü kullanarak tuğla performansını araştırmışlardır. Ürettikleri tuğlaların performansını belirlemek için, uçucu kül ve palmiye yağı yakıt külünün farklı yüzdelik ve kombinasyonlarda basınç dayanımı, su emme ve ısıl ağırlık ölçümsel analiz testleri yapmışlardır. Testlerden elde edilen sonuçlara göre, hem uçucu kül hem de palmiye yağı yakıt külü içeren tuğlaların, Malezya Standardı MS 76 (Sınıf 1 ve Sınıf 2 Taşıyıcı Tuğla Gereksinimleri) ve ASTM C55-11 (Standard Specification for Concrete Building Brick/ Beton Yapı Tuğlası için Standart Şartnamesi)'e göre su emme gereksinimlerini karşılayacağını ortaya koymuşlardır. Ürettikleri tuğlaların geleneksel tuğlalardan daha düşük maliyetli olduğu sonucuna varmışlardır.

2.3. Bor ve Bor Atığının İnşaat Sektöründe Kullanımı

Sönmez ve Yorulmaz (1995) kırka boraks işletmesi tesislerinde oluşan kil atıklarının tuğla hammaddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda, kırka atık killeri ile tuğla yapımında kullanılan hammaddenin uygun oranda ikame edilmesi durumunda, tuğla yapımında kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Yamık ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada, Emet kolemanit bor atığı, Seyitömer termik santral külü ve tuğla kili karışımının tuğla yapımında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Uyguladıkları deneyler sonucunda elde ettikleri verileri

değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, Türk Standartları'na uygun tuğla karışımının %15 kolemanit, %15 termik santral külü ve %70 kil ikame durumunda elde edileceği tespit etmişlerdir.

Chatterjee (1996) yapmış olduğu çalışmasında, bor katkısının betonarme yapılardan çıkan CO_2 miktarını %10'a kadar düşürdüğünü vurgulamıştır.

Gimenez ve ark. (1996) PVA jelleri ve borik asit katkılı beton üretimi yapmış, bu katkıların betona çapraz bağ elemanı olarak katılması sonucunda betonda esnek bir davranış sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Kavas ve Emrullahoğlu (1999) Seydişehir kırmızı çamuru ile Kırka bor atık killerini farklı oranlarda karıştırmışlardır. Yüksek mukavemetli ve düşük su emme özelliğine sahip tuğla imal etmişlerdir. Ürettikleri tuğlaların endüstride kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Kula (2000) yapmış olduğu çalışmada kolemanit konsantratör atığı, tinkal konsantratör atığı, uçucu kül ve taban külünü belirli oranlarda çimento klinkerine katmıştır. Daha sonra değişik oranlarda kolemanit konsantratör atığı-uçucu kül, kolemanit konsantratör atığı-taban külü, tinkal konsantratör atığı-uçucu kül, tinkal konsantratör atığı taban külü varyasyonlarını katkı maddesi olarak denemiştir. Yaptığı deneyler sonunda, kolemanit konsantratör atığının katkı yüzdesi arttıkça (%1, %3, %5, %7, %9) dayanımların düştüğünü ve tinkal konsantratör atığını çimentoda %1, %3, %5'e kadar kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Demir ve Orhan (2002) Kırka Boraks işletmesi bor atıklarını ponza kumu ile belli oranlarda karıştırılarak plastik şekillendirme esaslarına uygun olarak örnekler hazırlamışlardır. Hazırlanan örnekler üzerinde fiziksel ve kimyasal deneyler uygulamışlardır. Ağırlıkça belli oranlarda ponza kumu ile karışım yapılarak 900 °C de pişirilmesi ile hafif ve gözenekli yapı blokları üretilebileceğini belirlemişlerdir.

Kula ve ark. (2002) betona çeşitli oranlarda tinkal atığı, kömür külü ve uçucu kül katılma imkânlarını birtakım testlerle incelemişlerdir. Numunelerin kuruma süresini, basınç dayanımını, harç genleşmesini, harcın su tutarlılığını ve mikro yapısını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, ağırlıkça %1 tinkal atığı içeren tüm numunelerin basınç dayanımının, 28. gününde referans numunesinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. 90. günde, Portland çimentosuna ağırlıkça %3 oranında ikame edilmesinin, tinkal atığına göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ağırlıkça

%3-5 oranında portland çimentoya tinkal atığı ikame edildiğinde, betonun basınç dayanımı, referans numuneye kıyasla azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, elde ettikleri değerlerin Türk Standartları sınırları içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Sonuç olarak, çimento esaslı malzemeler olarak tinkal atığı, kömür külü ve uçucu külün çimentoya katılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Targan ve ark. (2002) çimento üretiminde enerji tasarrufu sağlamak ve atık maddelerin çevreye verebilecekleri zararların gidermek amacıyla, Kula cürufu-kolemanit konsantratör atığı ve betonit-kolemanit konsantratör atığı varyasyonlarını katkı maddesi olarak denemişlerdir. Ürettikleri numunelere fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler uygulamışlardır. Yapmış oldukları deneyler sonunda, çimento karışımlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini Türk Standartlarıyla karşılaştırmış ve standartlara uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda kullanılan katkıların çimento üretiminde kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Özdemir ve Öztürk (2003) tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan 1. ve 2. kil pestili atığını klinkere değişik oranlarda katmış, çimentoda meydana gelen fiziksel ve kimyasal etkileri incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda atık miktarının %5 oranında kullanılması durumunda çimento norm dayanımlarından daha yüksek dayanımlar elde edileceğini ortaya koymuşlardır.

Sivrikaya ve Saracbasi (2004) bor madeninin çeşitli türevleri olan boraks, borik asid ve disodyum oktaborat tetrahidratın ahşap malzemenin korunması (emprenye) amacıyla kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca bor bileşimli tuzların ağaç malzemeyi mantar, böcek, termit ve deniz zararlılarına karşı koruduğu ve ağaç malzemenin yanma özelliğini geciktireceği sonucuna varmışlardır.

Uğurlu ve ark. (2004) çalışmalarında tinkal üretimi sırasında boraks minerali konsantre hale getirilirken ortaya çıkan ve kil pestili olarak adlandırılan katı atıkları Portland Çimentolu harç içerisine %1, %1.5, %2.5, %5, %7.5, %10, %15, %20 oranlarda katarak harç numuneleri üretmişlerdir. Harç numuneler üzerinde taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yaparak kil pestilinin çimento içerisindeki davranışı ve çimentolu harç numuneler üzerindeki etkisi incelemişlerdir. Elde ettikleri numune değerlerine göre, boraks içerikli kil pestili atığı çimento, harç ya da beton içerisinde yapısındaki jips nedeniyle geciktirici olarak işlev gördüğünü, harç içerisine düşük yüzdelerde (%1.5) kil pestili atığı katılması sonucu basınç ve çekme dayanımında az da olsa artışlar meydana

geldiğini tespit etmişlerdir. Çalışma sonunda bor oksit yüzdesi düşük katkıların kullanımı ile harca katılan katı miktarı da %2.5'lara kadar arttırılabileceğini vurgulamışlardır.

Uslu ve Arol (2004) çalışmalarında bor madenciliği ve işleme operasyonlarında, çok miktarda kil içeren atıkların oluştuğunu bu atıkların sadece ekonomik kayıplara neden olmayıp aynı zamanda ciddi çevresel sorunlara da yol açtığını ifade etmişlerdir. Atık sorunlarını hafifletmek için kırmızı tuğla üretiminde bir boraks konsantratöründen killi atıkların kullanılması ihtimalini araştırmışlardır. Tuğla kalitesini iyileştirmek için ağırlığa göre %30'a kadar atık ilave ederek tuğla numunesi üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere fiziksel ve mekanik deneylere tabi tutmuş ve borun kırmızı tuğla üretimine uygun olduğunu ortaya koymuşlardır.

Keleş ve ark. (2005) borojips ve konsantrasyon atığını klinkere ikame ederek çimento üretmişlerdir. Ürettikleri çimento numunelerine priz süresi, basınç ve çekme dayanımı ve radyasyon geçirgenliği deneylerine tabi tutmuşlardır. Deney sonucunda elde ettikleri değerleri portland çimentosu değerleri ile mukayese etmişlerdir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, %5 atık ikamesine kadar dayanım değerlerinin portland çimentosuna göre yüksek olduğunu, %5 atıktan sonra dayanım değerinin giderek azaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca atık miktarının artmasıyla priz süresinin arttığını ifade etmişlerdir.

Topçu ve Boğa (2005) tinkal üretimi sırasında ortaya çıkan bor atıklarının çimento yerine ağırlıkça %0, %3, %7, %10 oranlarında kullanılması ile üretilen harçların yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıklarını incelemişlerdir. İlk aşamada, atıkları çimento boyutunda öğütüp CEM I 42.5 R çimentosuna katıp ve 40×40×160mm boyutlarında standart harç numuneleri üretmişlerdir. Hazırladıkları harç numunelerini 3 saat süre ile 20˚C, 150˚C, 300˚C, 400˚C, 600˚C ve 900˚C sıcaklıklarda tutmuş sonrasında oda sıcaklığında soğumaya bırakmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, sıcaklığın artmasına paralel olarak numunelerin basınç dayanımlarının azaldığını tespit etmişlerdir. 150˚C'de %0 ve %3 bor atığı katkılı harçların basınç dayanımları artarken %7 ve %10 oranında bor atığı katkılı harçların basınç dayanımının azaldığını gözlemlemişlerdir. Çalışma sonucunda yüksek sıcaklığın zararlı etkilerine karşı %3 ve daha düşük oranlarda bor atığı kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Erdoğmuş (2006) Emet Espey bölgesi kolemanit konsantratör atığı ve Karabük Demir-Çelik atığı olan yüksek fırın cürufunun birlikte çimentoya ikame ederek çimento

üretiminden kaynaklanan enerji giderlerinin azaltılması ve çimentonun mekanik özelliklerine katkı sağlama durumunu araştırmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kullanılan katkıların çimentonun hacim genleşmesi, priz süresi, basınç dayanımı gibi özellikler üzerine olumlu yönde etkilediğini tespit etmişlerdir.

Kavas (2006) çalışmasında kırmızı çamur tuğlası üretiminde akışkanlaştırıcı olarak Kırka bor atığını %5, %10 ve %15 oranlarında ikame ederek 700, 800 ve 900 ^{0}C de pişirmiştir. Ürettiği numuneleri mineralojik ve mekanik testlere tabi tutmuştur. Testler sonucunda kırmızı çamur tuğlası üretiminde bor atığının akışkanlaştırıcı madde olarak kullanılabileceğini ve en iyi mekanik özelliklerin %15 oranında borun ikame edilmesiyle elde edilebileceğini tespit etmiştir.

Kurama ve ark. (2006) farklı katkı oranlarında Etibor Kırka boraksın susuzlaştırıcı atığını, yerel vitrifiye fabrikasından elde edilen kil ile birleştirerek zemin karosu üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri 1050, 1100, 1150 ^{0}C'lerde pişirmişlerdir. Numunelere kırılma dayanımı ve su emilimi deneyleri yapmışlardır. Ayrıca SEM ve XRD gibi yapısal karakterizasyon deneylerine de tabi tutmuşlardır. Tüm deney sonuçları ürettikleri numunelerin kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Kurttepeli (2006) Kırka tesisinden elde edilmiş olan gölet atığına %5, %10, %20 ve %30 oranında kil ilave etmiştir. Numuneleri, mekanik özelliklerin tayini için üç noktadan eğme ve bulk yoğunlukları ölçümü deneylerine tabi tutmuştur. DTA analizi ve XRD analizleri yapmıştır. Pişirme işlemleri ve mekanik özelliklerin tespit edilmesi için yapılan deneyler neticesinde, en uygun kompozisyonun %20 gölet atığı ilavesi ile sağlanacağı sonucuna varmıştır.

Abalı ve ark. (2007) fosforik asit atıkları ve bor konsantratör atıklarının yapısal tuğla üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneyde atık oranı, pişirme hızı ve pişirme sıcaklığı parametre olarak belirlenmiştir. Bu parametreleri, doğal kuruma kısalması, su emme ve ağırlık kaybı gibi çeşitli ölçütlerle değerlendirmişlerdir. Orijinal atık ikameli normal kil tuğlası, yıkanmış atık eklemeli normal kil tuğlası ve atık olmadan normal kil tuğlası üretmişlerdir. Çalışma sonucunda fosforik asit vasıtasıyla üretilen endüstriyel atıkların tuğlaları kuruma süresinin kısalması, su emilimi ve ağırlık kaybı performanslarını geliştirdiklerini tespit etmişlerdir.

Özdemir ve Uğurlu (2007) kil pestili atıklarını katkı maddesi olarak Portland çimentosuna katarak kil pestili oranının çimento yapısı üzerindeki etkisini

belirlemişlerdir. Bu belirleme işlemi için taze ve sertleşmiş beton deneyleri uygulamışlardır. Elde ettikleri verileri Türk Standartları ile karşılaştırmışlardır. 1. ve 2. kil pestili atık malzemesinin sırasıyla %5 ve %7 oranlarında çimento içerisinde katkı maddesi olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Viswanath (2007) çalışmasında polimerlerin geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında üstün özelliklere sahip olduğunu tespit etmiştir. Bu özelliklerin birim ağırlık başına daha yüksek dayanıma sahip olması, korozyona karşı etkili bir koruma sağlaması, esnek ve pek çok farklı uygulamalarda kullanılabileceği olduğunu ifade etmiştir.

Aydın (2009) kolemanit atığının endüstriye kazandırılması amacıyla öğütülmüş kolemanit atığı katkılı beton numuneleri üretmiştir. Çalışmasında beton içerisine kolemanit atığını %0, %3, %5, 10, %15 oranında çimentoya ikame etmiştir. Deney verileri değerlendirildiğinde; üretilen numunelerin 180 günlük basınç dayanımlarının, referans numuneden daha yüksek çıktığını belirtmiştir. Ayrıca 0.50 S/Ç oranına sahip numunelerin, 0.60 S/Ç oranına sahip numunelere göre çok daha yüksek basınç dayanıma sahip olduğu tespit etmiştir.

Batar ve Köksal (2009) katkı malzemesi olarak belirli oranlarda perlit, atık kağıt, boraks ve atık boraks kullanarak sıva malzemesi üretmişlerdir. Ürettikleri numuneler üzerinde mukavemet ve ısı geçirgenlik deneyleri yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçları mevcut sıva malzemeleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; katkılı ürünlerin mevcut sıva malzemelerine göre mukavemetinin ve ısı geçirgenlik direncinin arttığını tespit etmişlerdir.

Christogerou ve ark. (2009) seramik üretiminde kullanılan kil malzemesine %0, %5 ve %15 oranında bor atığı ikame edip elde ettiği karışımı 800 ^{0}C, 850 ^{0}C, 900 ^{0}C, 950 ^{0}C sıcaklıklarda pişirmiştir. Ürettikleri numunelere uyguladıkları deneyler sonucunda, en uygun sonuçları %5 oranında bor atığının 900 ^{0}C pişirmesiyle elde etmişlerdir.

Sağlık ve ark. (2009) Borlu Aktif Belit (BAB) ve normal Portland çimentoları ile yapılan farklı dozajlardaki beton numunelerin su geçirgenliği ve klorür penetrasyonunu araştırmışlardır. BAB çimentosu ile üretilen betonların geçirgenliklerinin normal Portland çimentosu ile yapılan betonlara oranla çok daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Klorür penetrasyonlarının normal Portland çimentosu ile yapılan betona göre daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır.

Şahin (2009) Afyonkarahisar bölgesi tuğla kiline, ağırlıkça %0 (kontrol serisi) %1 ve %2 borik asit katkısı yapılarak ekstrüzyon yöntemi ile tuğla numuneleri üretmiş, ürettiği numuneleri farklı sıcaklıklarda pişirmiştir. Numunelere fiziksel ve mekanik deneyler uygulamış, mikro yapılarındaki gelişmeler SEM ve XRD tekniği ile incelemiştir. Borik asit katkısının sinterlemeyi olumlu yönde etkilediği ve tuğlanın mekanik özelliklerini geliştirdiğini tespit etmiştir.

Çelik (2010) çalışmasında farklı boyutta ürettiği hafif tuğla numunelerini pişme sıcaklığı, pres basıncı gibi parametreler belirleyerek fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini optimize etmiştir. Yaptığı çalışmaların sonucunda, Menderes perlitlerinden bor ve kil katkılı olarak üretilen tuğlaların, teknolojik özellikleri bakımından yapı sektöründe kullanılabilir olduğunu belirlemiştir.

Binici ve ark. (2011) ponza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu kullanarak ürettikleri harçların dayanımını ve sülfat etkisini araştırmışlardır. Katkı çeşidi ve katkı miktarının harçlar üzerinde oluşturacağı mekanik, fiziksel ve kimyasal etkileri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, katkı oranı arttıkça 28 ve 180 günlük basınç dayanım değerlerinin diğer katkılara göre arttığı ve sülfatlı ortamdan kaynaklanan kütle kaybının azaldığını ortaya koymuşlardır.

Akyıldız (2012) bor atığı ve zeolit gibi zengin yer altı kaynaklarına sahip olduğumuz minerallerin beton üretiminde değerlendirilmesi ve betonun dayanım ve dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çimento, bor atığı, zeolit üzerinde kimyasal, fiziksel, mekanik, mineralojik analizler yapmıştır. Deneyler sonucunda 56 günlük basınç dayanımında %88 artış olduğunu, basınç ve yarma dayanımı sonuçları %3 bor atığı katkısının betonun dayanım özelliklerini iyileştirdiğini saptamıştır. Ayrıca %3 katkılı betonların su emme yüzdesinin referans numuneye yakın değerde olduğunu, özellikle bor atığı katkılı betonların uzun vadede dayanımının arttığı ve bor atığı katkısının puzolonik materyal olarak kullanılabilir olduğunu ortaya koymuştur.

Görhan (2012) killi tuğlaların vitrifikasyonunu arttırarak su emme oranını azaltmak amacıyla ağırlıkça %1 ve %2 oranlarında borik asit ve bor oksit katkısından oluşan karışımdan tuğla numunesi üretmiştir. Hazırladığı örnekleri 800, 900 ve 1,000 ^{o}C'de pişirmiştir. Pişmiş tuğla örneklerini su emme, görünen porozite, birim hacim ağırlık, görünür yoğunluk, kızdırma kaybı ve basınç dayanım deneylerine tabi tutmuştur. Elde ettiği verilere göre, 1,000 ^{o}C'de pişirilen ve %1 bor oksit katkısı bulunan

numunelerin basınç dayanım değerleri referans numunesine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yoğunluk ve basınç dayanımı açısından ideal pişirme sıcaklığının 900 ºC olduğunu belirlemiştir.

Bideci (2013) kolemanitin çimento ile belirli oranlarda (%0, %7.5, %12.5, %17.5) karıştırılmasıyla elde edilen karışımı ponza yüzeyine kaplamıştır. Kullanılan agregalar üzerinde özgül ağırlık, gevşek birim ağırlık, su emme, agrega darbe katsayısı, agrega kırılma katsayısını bulma ve ince kesit analizi gibi deneyler yapmıştır. Beton numunelerine, kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, kılcal su emme, aşınma, ultrases geçiş hızı, basınç altında su işleme derinliği, hızlı klorür geçirimliliği, sülfatlara dayanım gibi deneyler ve SEM analizleri yapmıştır. Sonuç olarak, pomza agregaların kaplanmasıyla agregada basınç dayanımının arttığını, su emmenin %50 oranında azaldığı ve bu agregalarla üretilen beton numunelerinde basınç dayanımlarının artarak ultrases geçiş hızına, basınç altında su işleme derinliğine, sülfat dayanımına, hızlı klor geçirimliliğine olumlu katkıda bulunduğu tespit etmiştir. Ayrıca %12.5 oranında kolemanitli çimentolarla kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinin basınçlı su geçirimliliği ile hızlı klorür geçirimliliği azalırken; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve sülfat dayanımının arttığı belirlemiştir.

Anonim (2013a) bünyelerinde bulunan 6 adet atık göletinin yapılan yükseltmelere rağmen dolduğunu ve bu yüzden 7. gölete ihtiyaç duyduklarını ifade etmişlerdir. Mevcut göletlerinde 16,980,000 m^3 atık bulunduğunu ve göletleri yükseltmeye gidilerek 4,960,475 m^3 ek hacim sağladıklarını ve bu yükseltmenin 2014 yılı içerisinde dolacağını belirtmişlerdir. Yapılacak olan yeni göletin 70,905,195 m^3 olacağını planlamışlardır. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nde yılda 892,440 ton Boraks Pentahidrat üretimi yapıldığını, proses atığı olarak 2014 yılında yaklaşık 1,000,000 m^3/yıl atık oluşumu olacağını tespit etmişlerdir.

Anonim (2013b) Espey İşletme Müdürlüğü yıllık üretim kapasitesi, 2015 yılına kadar 600,000 ton/yıl, ÇABAT ve III. Borik Asit Tesisinin devreye alınması ile 2015 ve sonraki yıllarda 600,000+2,000, 000 (770,000 ton konsantre cevher) ton/yıl olacağını planlamışlardır. Buna göre üretim miktarının %15'i atık olarak barajlarda biriktirilmekte olduğunu yani 115,500 ton/yıl atık olacağını düşünmüşlerdir.

Çağlar (2016) PVA ve borik asit ile katkılanmış olan çimento hamurunun akışkanlık, sertleşme süresi, basınç ve eğilme dayanımlarını ölçmüştür. PVA ile borik asit

eklenmesi 28 günlük basınç dayanımında yaklaşık %4 artış, 28 günlük eğilme dayanımında yaklaşık %45 azalma olduğunu tespit etmiştir. Daha sonra örnekleri taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve X-ışını girişim (XRD) deneylerine tabi tutmuş, sonuç olarak borik asit ve PVA miktarlarının iki kat artırıldığı örneklerin SEM mikrograflarında gözenekli yapının iyice azaldığı ve çok iyi ve daha kaliteli çimento hamuru oluştuğu gözlemlemiştir.

Erdoğan (2016) halı atıklarının bor minerallerinden olan ham kolemanite cevheri ve kolemanite baraj atığı katkılı solüsyon ile karıştırılarak konutlarda kullanılabilecek izolasyon malzemesi üretmiştir. Seri üretim için optimum karışım oranlarını belirleyip, ürünün fiziksel özelliklerini tespit etmiştir. Üretilen malzemenin binalarda kullanılan benzer ürünler ile fiziksel özelliklerini karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda, ürünün yapı ve inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabilecek yüksek ısı ve ses yalıtım sağlayan bir ürün olduğu tespit etmiştir.

Demirel ve Nasıroğlu (2017) bor madeni, mineralleri ve atıklarının çimentoda kullanım yöntemlerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında özellikle kolemanit, borik asit, boraks, tinkal, belit gibi bor mineralleri ve atıklarının çimentonun priz süresine, betonun basınç dayanımına ve yalıtım endüstrisine etkilerini vurgulamışlardır.

Yapılan literatür taraması sonucunda, Geleneksel Kastamonu Evleri başlığı altında incelenen çalışmalarda geleneksel evler, konaklar, konutların cephe mimarisi üzerine çalışmalar yapılmış fakat evlerin inşasında kullanılan harman tuğlası üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Tuğla yapı malzemesi başlığı altında yapılan araştırmalarda mevcut harman tuğlası üzerine çeşitli deneyler, deney sonucunda benzer yapılar hakkında bilgi edinme şeklinde çalışmalar olmasına rağmen, katkılı harman tuğlası üretimine ait herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bor ve bor atığının inşaat sektöründe kullanımı başlığı altında incelenen çalışmalarda ise bor işlenmesi sonu oluşan atık miktarının fazla olduğu, bu atıkların bertaraf edilmesi için atıkların inşaat sektörünün farklı dallarında kullanıldığı tespit edilmiştir. Araştırmada bor atığının tuğla üretimine katılmasına rağmen harman tuğlası üretiminde kullanılmadığı dikkat çekmektedir. Tüm literatür incelendiğinde, Geleneksel Kastamonu Evleri'nin dış duvar dolgu malzemesi olan harman tuğlasının bor atığıyla iyileştirilmesi üzerine herhangi bir çalışma olmadığı görülmüştür. Yapılan bu literatür taraması, tezin içeriğini şekillendirmede, tez kapsamında yapılacak deneylerin belirlenmesinde ve izlenecek yol haritasının çizilmesinde önemli bir faktör olmuştur.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tezimizin materyal bölümünde; kil minerali, harman tuğlası, bor ve bor atığı hakkında bilgiler başlıklar halinde sunulmuştur. Yöntem bölümünde ise; geleneksel olarak elle üretilen ve fabrika üretimi numunelerin temini, bor atığı katkılı numune üretimi, numunelere uygulanacak deneyler başlıklar halinde verilmiştir.

3.1. Materyal

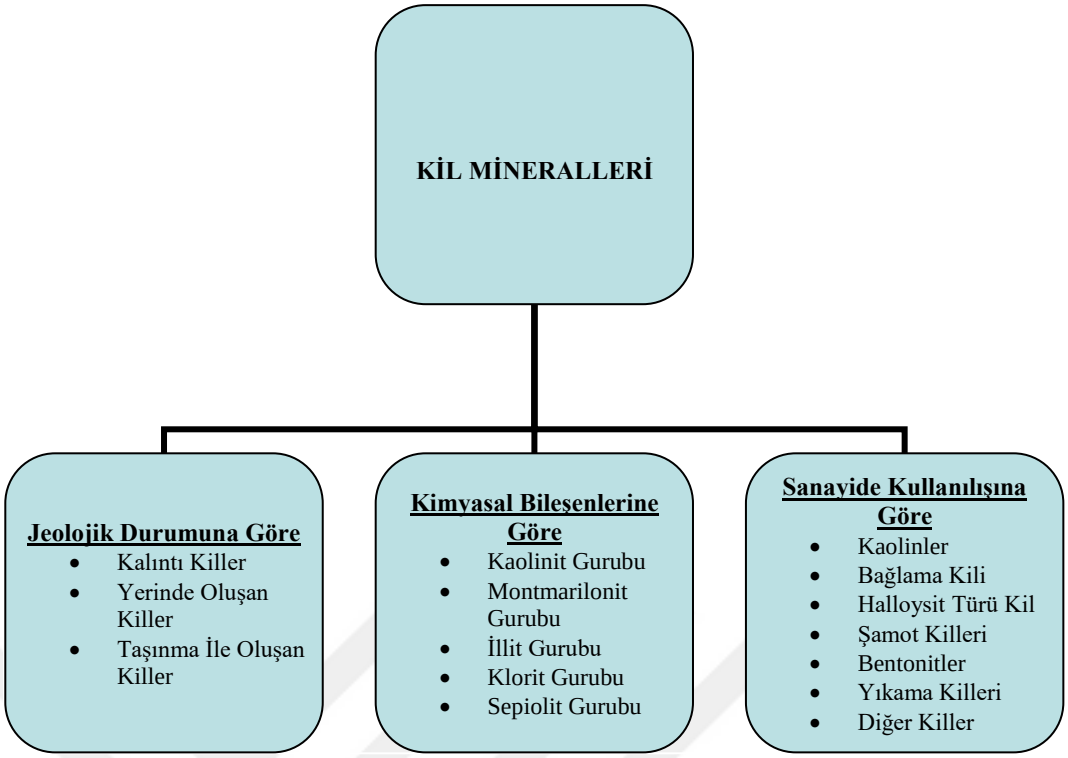
3.1.1. Killerin tanımı genel yapısı ve sınıflandırılması

Kil, genellikle sulu alüminyum silikat minerallerinden oluşan, tanecik büyüklüğü 2 μ'dan küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, kurutulduğunda sert ve yüksek ısıda pişirildiğinde sürekli sert ve camsı bir yapıya sahip olan doğal bir hammaddedir (Yıldız, 1999; DPT, 2001). Kil mineralleri kökeninde alümina, silika ve suyun oluşturduğu sulu silikatlar olsa da bünyelerinde demir, alkali ve toprak alkalileri içerirler (DPT, 2001).

Killerin içerisinde kuvars, pirit, feldspat ve kalsit gibi kil olmayan malzemeler bulunmaktadır. Çoğu kil mineralleri organik madde ve suda çözünebilen tuzları bünyesinde bulundurmaktadır (Dengiz, 2009).

Kil mineralleri kimyasal bileşimlerine ve içyapısına göre sınıflandırılabilirler (Şahin, 2009). İçyapısında atomlar düzenli bir biçimde dizilmiş ise kristal yapı, düzensiz bir şekilde dizilmiş ise amorf yapıda kil minerali oluşmuş demektir. Kristal (düzenli) yapıda olan killerde atomların iç dizilişleri biri SiO_2 diğeri ise Al_2O_3 olmak üzere iki tabaka şeklindedirler (Sürül, 2015). Kristalli yapıda olan kil mineralleri; kaolinit, montmorillonit, illit, klorit ve sepiyolittir (Kibici, 2002; Kibar, 2009). Düzenli bir yapıda olan kilin herhangi bir doğrultu boyunca atomlar arası uzaklıkları ve çevreleri eşittir (Görhan, 2011).

Sürül (2015), Kil minerallerini jeolojik durumlarına, kimyasal bileşenlerine ve sanayide kullanılışlarına göre sınıflandırmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kil minerallerinin sınıflandırılması

Jeolojik Durumlarına Göre Sınıflandırma

Jeolojik oluşumlarına göre killer üçe ayrılır.

Kimyasal ayrışma ile oluşan killer (Kalıntı killeri): Kireçtaşı ve dolomitlerin ayrışarak killi malzeme ile karışması sonucu oluşurlar.

Yerinde oluşan killer: Bu killer yerli kayaç üzerinde feldspatların ayrışmasıyla oluşan killerdir.

Taşınma ile oluşan killer: Alterasyon ile oluşan killer olarak da adlandırılan taşınmış killer organik kökenli tüffit ve küllerin ayrışarak taşınması ve çökelmesi sonucu oluşurlar. Denizlere veya bataklıklara taşınıp, taşındıkları bölgede yatak haline gelirler (Kibici, 2002).

Kimyasal Bileşenlerine Göre Sınıflandırılması

Kimyasal bileşenlerine göre killer beş guruba ayrılmaktadır. Bunlar;

Kaolinit grubu; Elektron mikroskopta ince levhalar halinde görülen, $AL_2O_3.2Si_2.2H_2O$ bileşimli killerdir. Genellikle genleşmezler (Türköz, 2007).

Montmorilonit grubu; Rengi sarı, açık, beyaz, yeşil, mavimsi ve siyahımsıdır. Su emdiğinde hacmi 10–15 kat artmaktadır. Yüksek şişme kabiliyetine sahiptir

İllit grubu; İçyapısı üç tabakadan oluşan, potasyumca zengin ortamların ürünü olan, elektron mikroskopla bakıldığında yassı, ufak ve düzgün olmayan levhalar halinde görülen killerdir.

Klorit grubu; Atomlarının dizilişi üç tabakalı olan İçyapısı bakımından illite benzeyen kil minerallerdir.

Sepiolit grubu; Magnezyumca zengin volkanik tüf ve kristal kütlelerin ayrışmasından oluşan, kristal iç yapısı zincirli halka şeklinde olan kil mineralleridir (Zal, 2010).

Sanayide Kullanılışlarına Göre Sınıflandırma

Killer sanayide kullanılışlarına göre aşağıda verildiği gibi sıralanırlar;

Kaolinler (China Clays); Kaolinler seramik, dolgu (kâğıt, plastik, tekstil, cam vb.), çimento, ilaç, kozmetik ve yağ üretm alanlarında kullanılmaktadırlar.

Bağlama Kili (Ball Clays); Bağlama killeri içerisindeki safsızlıkların çokluğu ve çeşitliliği ısı ile renk değişimi özelliğini kazandırmaktadır. Seramik sanayinde, emaye ve asbest üretiminde kullanılırlar.

Halloysit Türü Kil Grubu; Halloysit türü killer seramik, porselen, döküm, petrol ve yağ endüstrisinde kullanılırlar.

Şamot Killeri (Ateş Kili-Fire Clay); Genellikle kömür yataklarında, madeninin kazısı sırasında ortaya çıkan killerdir. Seramik, refrakter sanayi, çimento, sondaj kimya, dolgu vb. alanlarda kullanılır.

Bentonitler; Yağ rafineri, sondaj, kimya, deterjan, kâğıt, kozmetik, döküm kumu, seramik, boya gibi alanlarda kullanılır.

Yıkama Killeri (Fuller's Earth); En önemli özelliği yağı apsorbe etme olan yıkama killeri, absorbans ve yağ rafinasyonunda, sondaj, dolgu ve ilaç sanayinde kullanılır.

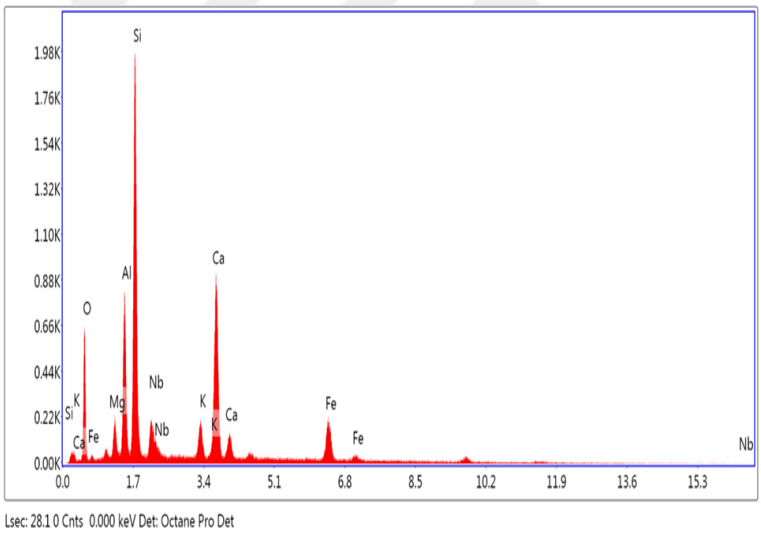
Diğer Killer (Adi Killer, Şistler); Tuğla ve çimento üretiminde kullanılan adi killer ve şistler ana kayanın yüzeyinde bulunur (Şahin, 2009).

Tuğla üretiminde kullanılan killer topraktan elde edilir. Üretimi için gereken kilin, su ile karıştırıldığında kolay şekillenebilme, şekillendirildikten sonra şekillerini koruyabilme, havada kuruma gerilmesi direncine sahip olma ve pişirilmeye tabi tutulduklarında birlikte erime gibi spesifik özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Tuğla endüstrisinde kullanılan killer, aynı kimyasal bileşime sahip olmalarına rağmen farklı fiziksel özellikler göstermektedirler. Tuğla sanayinde çoğunlukla yüzey killeri, şeyller, ateş killeri kullanılmaktadır (Işık, 2004).

Tuğla üretiminde kullanılacak olan killerin; plastisite, büzülme, bağlama kuvveti, kesme kuvveti, su emme kabiliyeti, konsolidasyon, şişme ve geçirimlilik gibi özellikleri dikkate alınarak üretimde kullanılmaya uygun killer tercih edilmelidir. Ayrıca killerin; tane çapları ve dağılımları, kalıplanma müddeti, pişme büzülmesi, viskozite konsantrasyonu, pH değeri, su emme ve parlaklık gibi özelliklerinin de uygun olması gerekmektedir (Kibici, 2002; Şahin, 2009).

Tez çalışması kapsamında üretilen harman tuğlası numuneleri Kastamonu ili Taşköprü ilçesinde bulunan killi toprak yığınlarından elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan killi toprağın Şekil 3.2'de verilen mineralojisi Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde incelendiğinde, toprak içerisinde en fazla silisyum (Si) elementinin olduğu görülmektedir. Ayrıca alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), oksijen (O), demir (Fe) ve magnezyum (Mg) elementleri toprak bünyesinde yer almaktadır.



Şekil 3.2. Harman tuğlası üretiminde kullanılan killi toprağın mineralojik yapısı

Çizelge 3.1'de verilen harman tuğlası üretiminde kullanılan toprağın içinde bulunan elementlerin ağırlık yüzdeleri verilmiştir. Tablo incelendiğinde %38.49 olan silisyum (Si) oranının diğer elementlere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Silisyumu %21.83 ile oksijen, %14.95 oranla kalsiyum takip etmektedir.

Çizelge 3.1. Harman tuğlası üretiminde kullanılan toprağın içinde bulunan elementlerin ağırlık yüzdeleri

Element	Ağırlık (%)
O	21.83
Mg	1.87
Al	8.67
Si	38.49
Nb	5.21
K	2.06
Ca	14.95
Fe	6.93

3.1.2. Harman tuğlasının tanımı, genel yapısı ve üretimi

Geleneksel Kastamonu Evleri'nde duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğla; kil, killi toprak ve balçığın birlikte ya da ayrı ayrı su ile yoğrulup, gerektiğinde kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu vb. ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup harman yerinde ocaklarda pişirilmesi (TS 704, 1979[1]; Döndüren, 2008;) ile mukavemet kazanan kullanımı M.Ö ye dayanan (Sürül, 2015) en az 10.000 yıllık bir geçmişe sahip ilk yapı malzemesidir (İspir, 2010). 1970'li yıllara kadar oldukça yaygın olarak kullanılan harman tuğlasının üretimi ve kullanımı son yıllarda ciddi ölçüde azalmıştır (Sallıo, 2005).

Harman tuğlaları, Çizelge 3.2'de de görüldüğü gibi basınç dayanımlarına ve biçimlerine göre iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- Basınç dayanımlarına göre harman tuğlaları;
  - Orta dayanımlı harman tuğlası
  - Az dayanımlı harman tuğlası
- Biçimlerine göre harman tuğlaları;
  - Dolu harman tuğlası (DOHT)
  - Delikli harman tuğlası (DEHT) dır.

[1] TS 704 "Harman Tuğlası (Duvarlar İçin)" standardı iptal edilmiş yerine 2015 yılında TS EN 771-1 +A1 "Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler" standardı çıkarılmıştır. Yeni standartta harman tuğla ile ilgili bazı bilgilere yer verilmemesi üzerine TS 704 "Harman Tuğlası (Duvarlar İçin)" standardı kaynak gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası sınıfları (TS 704, 1979)

Sınıflar		Tuğlanın Sembolü	Ortalama Hacim Ağırlığı (max) Kg/dm^3	Ortalama Basınç Dayanımı (min)kgf/cm^2 (N/mm^2)	Basınç Dayanımı (min)kgf/cm^2 (N/mm^2)
Dolu Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı[1]	DOHT/30	Sınırlandırılmamıştır	50 (5.0)	40 (4.0)
	Az Dayanımlı	DOHT/30		30 (3.0)	25 (2.5)
Delikli Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı[1]	DEHT/50	1.40	50 (5.0)	40 (4.0)
	Az Dayanımlı	DEHT/50	1.40	30 (3.0)	25 (2.5)

1: yapımcı tarafından standarda uygunluk belgesinde belirtilmiş olması koşulu ile uygulanır.

Şekil 3.3’ de gösterilen harman tuğlası dikdörtgenler prizması şeklinde, kenarları ve yüzeyleri düzgün olmalıdır. Dolu tuğlaların üst yüzünün ortasında, derinliği 10 mm’den fazla olmayan çukur bulunabilir.



Şekil 3.3. Dolu harman tuğlası

Tuğla üst yüzündeki çukur kenarlarının, bulundukları yüzey kenarlarına uzaklığı 20 mm’den az olmamalıdır (Kaya, 2010). Düşey delikli harman tuğlasında bulunan delikler, tuğlanın alt ve üst yüzeylerinde eşit aralıklarla bulunmalıdır. Deliklerin toplam enkesit alanı, bulundukları tuğla yüzü alanının %25'inden büyük olmamalıdır (Döndüren, 2008). Harman tuğlasının boyutları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Harman tuğlasının boyutları (mm) (TS 704, 1979)

Boyutlar		Tolerans
Uzunluk (b)	190	+6 -13
Genişlik (a)	90	+4 -5
Yükseklik (h)	50	+3 -2

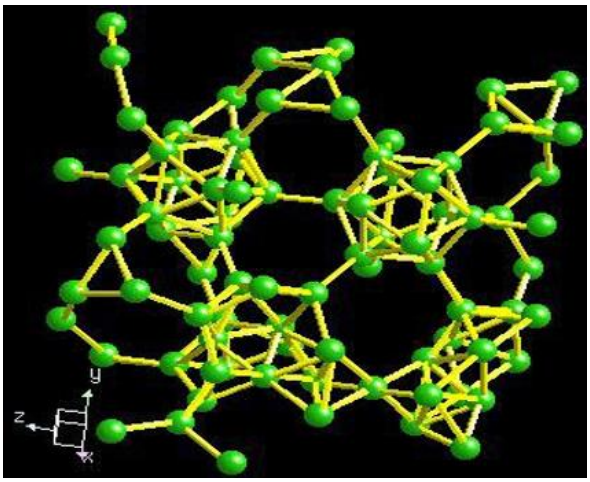
3.1.3. Bor ve bor atığı

Bor; Periyodik tabloda III A grubunda yer alan, B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5 atom ağırlığı 10.81 olan, iki kararlı izotop; B10 (%19.8) ve B11 (%80.2)'den oluşan (Altun, 2005) metal olmayan (ametal) tek elementtir (Çağlar, 2016). Elektron konfigürasyonu $1s^2 2s^2 2p^1$ dir. İlk üç iyonlaşma enerjisi 800.6, 2427.1 ve 3659.7 kJ/mol' dir (Eyyüboğlu, 2013). Bor elementinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.4' te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Bor'un fiziksel özellikleri (Ata, 2009)

Özellik	**Değeri**
Atom Ağırlığı	10.801+0.003
Erime Noktası	2190+20 ^{0}C
Kaynama Noktası	3660 ^{0}C
Isıl Genleşme Katsayısı (25-105 ^{0}C arası, 1 ^{0}C için)	5x106-7x106
Knoop Sertliği	2100-2580 HK
Mohs sertliği (Elmas-15)	11
Vickers Sertliği	5000 HV

Bor elementinin kimyasal özellikleri morfolojisine ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron ebadındaki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken kristalin bor kolay reaksiyon vermez. Şekil 3.4'te kristal yapısı verilen bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit ve bazı diğer ürünleri oluşturur. Mineral asitleri ile reaksiyonu, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak yavaş veya patlayıcı olabilir ve ana ürün olarak borik asit oluşur (Web iletisi 4).



Şekil 3.4. Bor elementinin kristal yapısı (Şahin, 2008)

Bor, tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmayan, yerkabuğunda yaygın olarak bulunan 51. elementtir. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir (Web iletisi 4). Ekonomik anlamda bor mineralleri kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) elementleri ile hidrat bileşikleri halinde bulunur. Bor minerallerinden ticari değere sahip olanlar; tinkal ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$) ve üleksittir ($NaCaB_5O_9.8H_2O$) (Akyıldız, 2012).

3.1.3.1. Bor mineralleri ve bileşikleri

Doğada serbest halde bulunmayan bor elementi 250'den fazla mineral yapısında bulunmasına rağmen bunların çok azı ticari öneme sahiptirler (Güyagüler, 2001; Coşar, 2006). Bor mineralleri yapılarında bulunan kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementlerine göre sınıflandırılırlar (Bütüner, 2011). Sodyum kökenli bor minerallerine tinkal (boraks), sodyum-kalsiyum kökenli minerallere üleksit, kalsiyum kökenlilere ise kolemanit adı verilmektedir (Aykul, 2008).

Bor minerallerinin ekonomik değerini yapılarında bulunan B_2O_3 oranı belirlemektedir (Dırak, 2011). Bor mineralleri içerisinden ekonomik değere sahip olanlar Çizelge 3.5'de sunulmaktadır. Ticari öneme sahip bu mineraller; tinkal, kernit, kolemanit, pandermit, üleksit, probertit, hidroborasit'tir (DPT, 2001).

Çizelge 3.5. Ticari öneme sahip bor mineralleri

Yapı	Mineral Adı	Kimyasal Formül	$\%B_2O_3$ Oranı	Bulunduğu Yer
Sodyum Borat	Tinkal	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	36.5	Kırka, Emet, Bigadiç, ABD.
	Kernit	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	51.0	Kırka, ABD, Arjantin
Kalsiyum Borat	Kolemanit	$Ca_4B_6O_{11}.5H_2O$	50.8	Emet, Bigadiç, ABD
	Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$	49.8	Sultançayır, Bigadiç
Sodyum-Kalsiyum Borat	Üleksit	$NaCaB_5O_9.8H_2O$	43.0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
	Probertit	$NaCaB_5O_9.5H_2O$	49.6	Kestelek, Emet, ABD
Magnezyum-Kalsiyum Borat	Hidroborasit	$CaMgB_6O_{11}.6H_2O$	50.5	Emet

Tinkal (Boraks) ($Na_2B_4O_7.10H_2O$)

Boraks, tabiatta genellikle, renksiz ve saydam olan, Şekil 3.5'de görülen, içerdiği bazı maddelerden dolayı, beyaz, mavimsi, grimsi ve yeşilimsi renklerde bulunan bileşiklerdir (Yıldız, 2008; Eyyüboğlu, 2013; Web iletisi 4). Eskişehir Kırka Bölgesi'nde çıkarılan tinkalin, özgül ağırlığı 1.7-1.8 gr/cm^3 arasında değişmektedir (Bütüner, 2011). Bünyesinde %36.5 oranında B_2O_3 bulunur (Ak, 2011). Tinkal bünyesindeki suyun kaybedilmesiyle oluşan tinkalkonit, üleksit ile birlikte bulunur (Demir, 2006; Akyıldız, 2015).



Şekil 3.5. Tinkal minerali (Ulusoy, 2012)

Kolay kırılabilen ve suda çözünen tinkalin, çözünürlüğü çözelti için kullanılan suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır (Akyıldız, 2015). Boraks pentahidrat, tinkalin toprak ve killerden temizlendikten sonra 50°C'da ısıtılmasıyla meydana gelmektedir. Boraks pentahidrat, 160–170°C'de ısıtıldığında boraks dihidrat, 290–299°C'de boraks

monohidrat ve 400–450°C'de ısıtıldığında ise susuz boraks elde edilmektedir (Ulusoy, 2012). Atomik reaktörler için nötron yakalayıcı ve roket yakıtı gibi stratejik bir öneme sahip alanlarda kullanılır (Özorak, 2014). Tıpta koruyucu olarak kullanılan boraks, ilaç ve kozmetikte, metal oksitlerin kaynaklanmasında, gübre üretiminde, emaye-sır alanında, temizlikte, laboratuvar işlemlerinde, böcek ve mantar zehirleri üretiminde kullanılmaktadır (Web iletisi 4). Boraks pentahidrat, susuz boraks, boraks dekahidrat sanayide sıkça kullanılan tinkal bileşikleridir (Coşar, 2006; Web iletisi 4). ABD' de Boron, Türkiye'de Kırka ve Arjantin'de Tincalayu yatakları, büyük boraks cevherlerinin bulunduğu bölgelerdir (Helvaci ve Ortí, 2004).

Kernit ($Na_2B_4O_7.4H_2O$)

Monoklinik kafes yapıda genellikle saf, saydam beyaz ve renksiz olan kernitin yoğunluğu 1.95 gr/$cm^{3'}$ tür (Özorak, 2014). Düşey bireysel iğneli küme kristaller şeklindedir (Endüstriyel Hammaddeler Komisyonu, 2001).

Sertliği 3 mohs olan (DPT, 2008), soğuk suda yavaş çözünen (Aykul, 2008), yaklaşık %51 B_2O_3 içeren (Bütüner, 2011; Web iletisi 5) ve Şekil 3.6'da görülen kernit, atmosfer şartlarında tinkalkonite dönüşmektedir (Yıldız, 2008). Kernit minerali, bor rezervinin yaklaşık %33 oranında sahiptir (Helvacı ve Ortí, 2004). Türkiye'de Kırka'da bulunan sodyum-borat yığınlarının dip bölgelerinde rastlanırlar. Dünyada ise Arjantin (Tincalayu) ve ABD'de bulunur (Akyıldız, 2015).



Şekil 3.6. Kernit cevherinin görüntüsü (Dırak, 2011)

Kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$)

Bor bileşikleri arasında en yaygını olan (Sarıağaç, 2012) kolemanit, kil içerisinde bulunan cevher oyuklarında iri, renksiz, saydam ve parlak kristaller halinde bulunur (Eyyüboğlu, 2013) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kolemanit cevherinin görüntüsü (Dırak, 2011).

Yağışsız ve kurak iklim bölgelerinde bulunan playa ve tuz gölleri içerisinde tinkal ile birlikte meydana gelmektedir (Web iletisi 4). Monoklinal kristal yapıya sahiptir (Ulusoy, 2012). Yapısında %15.7 oranında bor, %50.8 oranında da B_2O_3 bulunmaktadır (Yıldız, 2008). Yoğunluğu 2.42 g/cm^3, sertliği ise 4.0 – 4.5 mohs'tur (Endüstriyel Hammaddeler Komisyonu, 2001; DPT, 2008). Soğuk suda zor çözünmesine rağmen Hidroklorür (HCl) asitte kolaylıkla çözülmektedir (Akyıldız, 2015). Bileşiğin 25 ^{0}C'deki suda çözünürlüğü 0.81 gr/l' dir (Çağlar, 2016).

Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kırka, Sultançayır ve Kestelek yataklarında yaygın olarak oluşurken, dünyada ise ABD'de bulunmaktadır (Ulusoy, 2012).

Sanayide; başta nükleer atık depolama olmak üzere, tekstil kalite cam elyafında, bor metalurjik curuf yapımında, çeliğin sertliğini arttırmada kullanılmaktadır (Coşar, 2006).

Türkiye'de çıkarılan Kolemanitin bir kısmı düşük ücret karşılığında Avrupa'da bulunan kimya fabrikalarına borik asit üretmek için satılmaktadır. Dünya'daki en önemli Kolemanit yatakları Türkiye'dedir. ABD'de bulunan Death Valley bölgesi önemli rezervlere ev sahipliği yapmasına rağmen, sınırlı miktarda kolemanit üretmektedir (Helvaci ve Ortí, 2004).

Pandermit ($Ca_4B_{10}O_{19}.7H_2O$)

Sıcak su kaynaklarının neden olduğu çökellerden oluşan, beyaz renkte ve külçe şeklinde olan (Ak, 2011), kireçtaşına benzeyen (DPT, 2008; Web iletisi 5), kolemanit ve kalsite dönüşen bir mineraldir (Yıldız, 2008) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Pandermit cevherinin görüntüsü (Dırak, 2011)

Kil ve jips yataklarının altında nodül şeklinde ve yaklaşık bir ton ağırlığında kütleler halinde meydana gelmiştir (Eyyüboğlu, 2013). Yoğunluğu 2.4 gr/cm^3 olan Pandermit (Özorak, 2014), %49.8 oranında B_2O_3 içermektedir (Aykul, 2008; Bütüner, 2011). Ülkemizde Balıkesir yöresinde bulunan Bigadiç-Sultançayır ve Eskişehir yöresinde bulunan Kırka-Borat yataklarından çıkarılmaktadır (Sarıağaç, 2012; Akyıldız, 2015).

Üleksit ($NaCaB_5O_9.8H_2O$)

Bor yatağının yüzey ya da yüzeye yakın kısımlarında, playa tipi göllerde, bataklıklarda bulunmaktadır (Dırak, 2011). Yekpare, karnıbahar formunda, yumuşak, sütun ve lifsi kristal birikintileri şeklinde olan üleksit minerali (Akyıldız, 2015) 1.96 gr/cm^3özgül ağırlığa (Web iletisi 4), 2.5 mohs sertliğe (Coşar, 2006) ve ipeksi parlaklığa sahiptir (Özorak, 2014). Bünyelerinde yaklaşık %43 oranında B_2O_3 içeriği bulunmaktadır (Ulusoy, 2012; Web iletisi 5). Isıtıldıklarında eriyip beyaz renge dönüşürler. Ardından saydam olur ve kabarcıklı cama dönüşürler (DPT, 2001). Dünyada en önemli üleksit yatakları Türkiye, Şili ABD, Arjantin ve Peru'da bulunmaktadır (DPT, 2001; Özorak, 2014).

Genellikle, hidroboraksit ve probertit ile birlikte bulunurlar (Bütüner, 2011). Ülkemizde Bigadiç, Kırka ve Emet yöre bor cevheri yataklarından çıkarılırlar (Ak, 2011).

Dünyada Arjantin, ABD'de Boron ve Death Valley bor yataklarında bulunmaktadır (Helvaci ve Ortí, 2004; Sarıağaç, 2012).

Üleksit bor mineralinin (Şekil 3.9), Emet bor yataklarında kolemanit ve hidroborasit ile birlikte, Kırka bor yataklarında boraks, kolemanit ve inyonit ile kil tabakaları içinde kurnakovit ve inderit ile olmak üzere üç farklı kombinasyonu mevcuttur (Eyyüboğlu, 2013).

Üleksit endüstride; Borosilikat camlar, yalıtım cam elyafı ve gübre yapımında kullanılmaktadır (Coşar, 2006; Web iletisi 4).



Şekil 3.9. Üleksit cevherinin görüntüsü (Sarıağaç, 2012)

Probertit ($NaCaB_5O_9.5H_2O$)

Doğada, kirli beyaz ve açık sarı renklerde görülüp (DPT, 2008), ışınsal ve lifsi kristal formlara sahip (Aykul, 2008) ve yaklaşık %49.6 oranında B_2O_3 içeren bor mineralidir (Web iletisi 5). Şekil 3.10'da görülen Probertit mineralinin kristal yapı halindeyken ebatları 5-50 mm arasındadır (DPT, 2001; Yıldız, 2008).



Şekil 3.10. Probertit cevherinin görüntüsü (Dırak, 2011)

Türkiye'de Kütahya Emet'te birincil, Bursa Kestelek'te ise ikincil mineral olarak çıkarılmaktadır (Bütüner, 2011). Kütahya Emet Doğanlar-İğdeköy mevkiinde bulunan cevher yataklarında kalın tabakalar halinde bulunmaktadır (Ak, 2011; Sarıağaç, 2012). Dünya'da ABD Probertitin en çok bulunduğu bölgedir (Bayar, 2001; Çağlar, 2016).

Hidroborasit ($CaMgB_6O_{11}. 6H_2O$)

İğne şeklinde kristallerin birbirini kesen rastgele yönlenmiş kümeler halinde bulunan hidroborasit (Aykul, 2008), yaklaşık %50.5 oranında B_2O_3 içeriğine sahip (DPT, 2008; Web iletisi 5) lifsi bir dokudadır (Sarıağaç, 2012; Akyıldız, 2015). Genellikle beyaz, arsenik içeriğine göre de sarı veya kırmızımtırak renklerde bulunurlar (Endüstriyel Hammaddeler Komisyonu, 2001). Şekil 3.11'de görülen hidroborasit Türkiye'de en çok Emet-Doğanlar-İğdeköy bor yatağında ve Bursa-Kestelek'te çıkarılmaktadır (Yıldız, 2008; Eyyüboğlu, 2013). Hidroborasit, kolemanit, probertit, üleksit ve tunelit bileşikleriyle bir arada bulunmaktadır (Ak, 2011; Bütüner, 2011).



Şekil 3.11. Hidroborasit cevherinin görüntüsü (Dırak, 2011)

3.1.3.2. Bor ürünleri kullanım alanları

Çok geniş alanlarda ticari ürün olarak kullanılan bor ve türevlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bor elementinin %90'nı bor ürünlerini elde etmek için kullanılırken, geriye kalan kısmı ise direkt mineral olarak tüketilmektedir. Sanayinin tuzu olarak ifade edilen bor minerali eklendiği malzemenin katma değerini arttırmaktadır (Ata, 2009). Stratejik öneme sahip bor minerali, gelişen ve ilerleyen teknoloji ile birlikte endüstride geniş alanlarda kullanılmaktadır (Yerel ve ark., 2005). Bunlar; cam sanayi, seramik sanayi, alev geciktiriciler, tarım, metalurji, enerji, sağlı ve inşaat sektörüdür.

Cam Sanayi

İnşaat, otomotiv, mobilya, ilaç, elektrik-elektronik ev araç ve gereçleri gibi pek çok önemli sanayi dalında aktif ürün sağlayan cam sanayi bor minerallerinin en fazla kullanıldığı endüstri dalıdır (Web iletisi 5). Bor, ergimiş haldeki cama katıldığında camın vizikozitesini azaltmakta, akışkanlığını artırmakta, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmektedir. Bor, camın ısı dayanımını ve çabuk ergimesini sağlamasının yanında asitlere ve çizilmeye karşı dayanımını arttırır. Camın tipine ve istenen özelliğine bağlı olarak %0.5 ile %0.23 aralığında bor asit ilave edilir (DPT, 2001; Özorak, 2014).

Bor oksit borosilikat cam, tekstil ve izolasyon tipi cam elyaflarında, cam yününde, tekstil tipi ve izalosyon tipi cam elyaflarında, laboratuvar malzemelerinde, arabaların far ve sinyal camlarında, LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar ve CRT cam ürünlerinde yapımında kullanılmaktadır (Web iletisi 4).

Seramik Sanayi

Bor mineralleri seramik endüstrisinde, seramik sırı ve emaye yapımında kullanılmaktadır (Web iletisi 5). Cam oluşturucu etkileri nedeniyle kaplama amaçlı kullanılan emayeler metal kaplamalarında, sırlar ise seramik ürünlerde kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Christogerou ve ark., 2009; Web iletisi 5).

Bor minerallerinin üretilen numune kompozisyonlarına ilave edilmesiyle, kaplamalarda ergime olayı daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Sıra bor ilavesi durumunda mekanik ve kimyasal mukavemet artmaktadır. Bor ürünleri, seramik ürünlerin fiziksel etkilere karşı kırılma ve çizilme direncini artırırken aynı zamanda renk verme katkı maddeleri için taban oluşturmaktadır (Web iletisi 5; Web iletisi 4). Ayrıca bor ürünleri, kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci arttırmaktadır. Seramik sırlarında kullanılan bor minerali oranı ağırlıkça %8-24 arasında değişmektedir (Web iletisi 5).

Emayelerin vizkositesi ve ergime sıcaklığını azaltmak için %20'ye kadar bor oksit ilave edilmektedir (DPT, 2001). Özellikle emayeyi oluşturan hammadde kompozisyonlarının %17-32'sinde bor ürünlerinden biri olan sulu boraks kullanılır (Web iletisi 4).

Metal yüzeyine kaplanan emaye gerek görünüş açısından gerek asit ve korozyona karşı mukavemeti bakımından metal ürünleri hem korumakta hem de dayanımını arttırmaktadır. Buna en güzel örnek ise günümüzde kullandığımız mutfak gereçlerinin birçoğunun emaye kaplı olmasıdır (DPT, 2001; Kurttepeli, 2006).

Alev Geciktiriciler

Alev geciktiriciler, malzemelerin yanabilme özelliklerini indirgeyerek erken tutuşmalarını geciktirmektedir. Borun, ergime sıcaklığının yüksek olması onun yangına karşı dayanıklılığını arttırmakta, bu özelliğinden dolayı da alev geciktirici olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Eyyüboğlu, 2013).

Boratlar; selülozik yalıtım, PVC, ahşap ve tekstil gibi çeşitli malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılırlar (Web iletisi 4). Bor minerali, ilk olarak malzemenin tutuşmasından önce selülozdaki suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha sonra yanan bir malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmasını önlemektedir (DPT, 2001; Kurttepeli, 2006). Borik asit, boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat tahta, kontraplak, kâğıt gibi selülozik malzemelerde, çinko boratlar ise plastik malzemelerde kullanılmaktadır (Özorak, 2014).

Selülozik yalıtımda bor ürünlerinin kullanılmasının amacı, enerji verimliliğini artırmak, mantar ve diğer mikroorganizmaların gelişimini önlemek ve alev almaya karşı malzemenin direncini yükseltmektir (Web iletisi 5).

Disodyum oktaborat tetrahidrat ahşabın mantar ve böceklerden uzun süre koruyabilmektedir. Bu bor ürünü boyama, sprey veya basınç yoluyla ahşap üzerine herhangi bir önlem almadan rahatlıkla uygulanabilmektedir (Web iletisi 4).

Tarım

Bitki gelişiminde bor elementinin mutlak gerekliliği yaklaşık 95 yıl önce belirlenmesine rağmen bitki yapısındaki görevleri hala tam olarak netlik kazanmamıştır (Işık, 2017).

Bor; tarım sektöründe bitkilerin gelişimini arttırmak veya istenmeyen bitkilerin gelişimini önlemek amacıyla kullanılmaktadır (Eyyüboğlu, 2013). Birçok bitkinin varlığını sürdürmesine yardımcı olan temel besin kaynağıdır (Zambi, 2015). Bitkiler ihtiyaç duydukları boru bazen direkt olarak topraktan bazen de yapraktan borax uygulaması ile alabilmektedir (Şimşek ve ark., 2003). Bor eksikliği görülen bitkilerde bu eksikliği gidermek için boraks pentahidrat ve susuz boraks içeren gübre kullanılmaktadır (DPT, 2001). Toprak yüzeyinde bulunan istenmeyen bitkilerin veya toprağın temizlenmesi istenilen durumlarda bromosol ve sodyum klorat gibi bileşikler kullanılmaktadır (Özorak, 2014).

Bor elementi, suyun ve besinlerin bitkilerin bünyesinde taşınmasına yardımcı olmaktadır. Bu vesileyle bor bitkilerin büyüme, gelişme, ürün verme ve çekirdek oluşturma gibi fonksiyonlarında önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca bor, hücredeki şeker geçişini, kök uzaması, fotosentez ve hücre duvarının oluşması metabolizmasını düzenlemektedir

(Saçlı, 2015). İhtiyaç duyulan miktarlarda bor olmadan da bitkiler büyüyebilir ve yaprak açabilir fakat ürün rekoltesi açısından bakıldığında olumsuz yönde aşırı derecede etkilenmektedir (Web iletisi 4).

Bor elementinin bitkinin metabolizmadaki görevleri arasında; şekerlerin taşınması, hücrenin bölünmesi, kök uzaması, difüzyon, hücre duvarının oluşması, membranların fonksiyonları ve bitkinin hormon seviyelerinin düzenlemesi gibi birçok işlev sayılmaktadır (Özorak, 2014).

Bor atığı su içerisinde bulunması gereken sınır değerleri aştığında, bu su tarımsal sulamada kullanıldığında bitkilere zarar verebilmektedir (Yılmaz ve ark., 2006).

Metalurji

Bor bileşikleri, yüksek sıcaklıklarda düzgün, koruyucu ve yapışkan sıvı oluşturma özelliklerinden dolayı metal sanayinde koruyucu cüruf oluşturucu ve ergitmeyi hızlandırıcı katkı olarak kullanılmaktadır (Kurttepeli, 2006).

Çelik üretiminde 50 ppm kadar bor ilave edildiği takdirde çeliğin sertlik ve mukavemetini oldukça fazla miktarda arttırmaktadır. Bor aynı zamanda paslanmaz çeliklere de ilave edilmektedir (Web iletisi 4). Türkiye, Japonya ve Kanada gibi birçok ülkede kolemanit, çelik üretiminde florit yerine kullanılmaktadır (DPT, 2001).

Bor, bakır alaşımlarının ergitilmesinde, çeliğin lehim kaynağı yapılmasında, gaz lehimlemede, altın analizlerinde ve rafinasyonunda kullanılmaktadır (Web iletisi 5).

Enerji

Borun ticari ürünü olan sodyum borhidrür, atık sularda bulunan ağır metallerin ayrıştırılmasında, tekstil atıklarının indirgenmesi ve kâğıt hamurunun ağartılmasında gibi birçok sanayi dalında aktif kullanılmaktadır (DPT, 2001). Sodyum bor hidrür, hidrojenin depolanması açısından yanıcı veya patlayıcı olmaması, kullanıldığı sırada oluşan reaksiyonlar sonucunda geri dönüşümlü olması sebebiyle çevreye dost bir ürün olması, araçlarda yolcu ve yük taşıma yeri açısından kolay ve rahat olması gibi özelliklerinden dolayı diğer depolama yöntemlerine nazaran daha avantajlı bir üründür. Ayrıca gelecekte hidrojenin otomotiv alanında yakıt olarak kullanılması ile geleceğin en önemli ürün olacaktır (Web iletisi 4).

Sodyum, su ve sülfat ile yaklaşık %3 ağırlığındaki boraks dekahidratın kimyasal karışımı ile, gündüz doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisini depolayarak gece depoladığı enerjiyi ısınmak için kullanmak amacıyla üretilen termal depolama pilleri üretilmiştir (Kurttepeli, 2006; Özorak, 2014). Bunun yanı sıra, binalarda tavan

malzemesine katkı olarak ilave edildiğinde, güneş ışınlarını bünyesinde tutarak, binaların ısınmasında etkili olmaktadır (Kurttepeli, 2006).

Bor, toprak elementleri ve demir bileşimi (metglas) ile %70 oranında enerji tasarrufu elde edilmektedir. Bu elementlerin bileşimi sonucu oluşan ürün; bilgisayar disk sürücüleri, ev eşyaları, otomobillerde doğru akım motorları gibi önemli cihazlarda kullanılmaktadır (Demir, 2006).

Borun nükleer uygulama alanlarında kullanımına baktığımızda; atom reaktörlerinde, titanbor alaşımlar, borlu çelikler ile bor karbürler kullanılmaktadır. Ayrıca nötron absorbanı olarak paslanmaz borlu çeliğin kullanımı tercih edilmektedir. Bunun yanısıra kolemanit nükleer atıkların depolanmasında aktif bir şekilde kullanılmaktadır (DPT, 2001; Kurttepeli, 2006; Web iletisi 4).

Sağlık Sektörü

Bor, vücut hücrelerinde sentezlenemeyen, fakat hücre yapısı ve fonksiyonları için önem taşıyan, besinler vasıtasıyla vücuda alınması gereken önemli bir mineraldir (Web iletisi 4).

Yer kabuğunun büyük bir kısmını oluşturan okyanuslar, denizler ve yeraltı suları bor elementini bünyelerinde bulundurmaktadırlar (Nielsen, 2008). Bor yatakları çevresinde bulunan suların bor içerikleri yüksektir. Böylesine bor içeriği yüksek yerlerde yaşayanlar, yiyecek ve içeceklerinde bora maruz kalmaktadırlar (Bakirdere ve ark., 2010). Bor elementinin insan yaşamında belli limitlerde olması durumunda önemlidir (Yılmaz ve ark., 2006). Bu limit bazı kaynaklarda 0.5-1.0 mg olarak verilirken (WHO, 1996) bazı kaynaklarda ise kesin bir değerin belirlenmediği söylenmektedir (Karabulut, 2006). İnsanlar vücutlarına aldıkları borun fazlasını vücuttan atılabilirler fakat yüksek dozlarda alındığı zaman zehir etkisi oluşturmaktadır (Soya, 2016).

Bor elementi, hücre membranı fonksiyonlarında ve enzim reaksiyonlarında önemli bir şekilde rol oynamaktadır (Yıldırım, 2014). Bor minerali, kalsiyum, fosfor, D vitamini ve kemik metabolizmasında düzenleyici olarak yer almasının (Gonzalez ve ark., 2007) yanısıra osteoporoz, kalp rahatsızlıkları ve diyabeti de etkilemektedir (Anonim, 2003). Kemik gelişimi ve yapısı için önemli olan D vitamini, steroid hormon mekanizmasını etkileyip, kadınlarda menapoz sonrası antioksidan etkisi göstermektedir (Gonzalez ve ark., 2007). Ayrıca sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanserli hücreleri yok eden Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT)'nde kullanılan bor, kanser tedavisine özellikle de beyin kanseri tedavisine yeni bir boyut kazandırmıştır (Demir, 2006; Web iletisi 4).

İnşaat Sektörü

Bor ve bor türevlerinin yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri de inşaat sektörüdür. Çeşitli inşaat malzemelerinin üretiminde bor katkısı kullanılmaktadır; Bor ve bor bileşikleri;

- Malzemenin deformasyonunu önleme,
- Malzemede zaman içinde oluşan renk problemine karşı koruyucu etki,
- Suya karşı mukavemet,
- Yangına karşı dayanım,
- Isı ve ses yalıtımı gibi özellikler sağlar (Erdoğmuş, 2006).

İnşaat sektöründe bor mineralinin aktif bir şekilde kullanıldığı alanlardan biri de çimento üretimidir. Bir bor minerali olan kolemanit, çimento üretiminde klinkere %8 oranında katıldığında pişirme sıcaklığını düşürmektedir (Web iletisi 4). Bu durum hem çimentonun özelliklerini iyileştirmekte hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır. Bor oksit (B_2O_3) bileşiğinin çimento klinkerine katılması prizlenme süresini uzatmaktadır (Eyyüboğlu, 2013).

Düşük maliyet özelliklerine sahip borlu çimento, kara yolu ve barajlar gibi yüksek mukavemet isteyen yapılar için önemli bir üründür (Ata, 2009). Ayrıca hidratasyon ısısı portland çimentosuna göre daha iyi olan bor katkılı çimentolar, kütle betonların soğutma ihtiyacını azaltmaktadır (Web iletisi 4).

Çevre dostu olan bor katkılı çimentolardan atmosfere salınan CO_2 miktarı portland çimentosuna göre %25' den daha azdır (Erdoğmuş, 2006). Kyoto protokolünün getirdiği sorumluluklar da göz önüne alındığında inşaat sektörü için borlu çimento oldukça önemli rol oynamaktadır (Web iletisi 4).

Bor ürünlerinin kullanıldığı diğer bir alan ise çatı, bina kaplamaları ve selülozik izolasyondur. Kullanılmış gazete kağıtlarının borik asit ile harmanlanmasıyla elde edilen selülozik yalıtım malzemeleri ahşap binalarda ses ve ısı izolasyonu amacı ile kullanılır. Hem üretim maliyetinin düşüklüğü hem de uygulama kolaylığı açısından vazgeçilmez bir yalıtım gerecidir. Ayrıca *"shingle"* olarak bilinen çatı kaplama malzemeleri de bor katkılı olarak üretilmektedir (Eyyüboğlu, 2013).

Sodyum oktaborat ahşap malzeme korunmasında kullanılan bir bor bileşiğidir (Özorak, 2014). Ahşap malzemeyi korumak için hazırlanan %30'luk sodyum oktaborat çözeltisi malzeme sürülüp, yavaş yavaş kurutulursa deformasyona uğramadan uzun süre kullanılabilmektedir (Kurttepeli, 2006).

Bor tuğla sanayinde de etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Erdoğmuş, 2006). Sadece bor değil bor atığı da tuğla üretim sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Bor madeninin atık maddesi hem tuğla üretiminin ana hammaddesi olan kili hem de içerisinde bulunan bor bileşikleri, akıcılığı sağlamaktadır. Bu atıkların tuğla üretiminde kullanılması sadece toprak, su gibi çevresel problemleri ortadan kaldırmakla kalmayacak, aynı zamanda tuğlaların kalitesini artırabilecek ve pişirme sıcaklığını maliyetlerinde düşüşe yol açabilecektir (Hamer ve Karius, 2002).

3.1.3.3. Dünya'da bor rezervleri

Dünyada önem arz eden bor yataklarının büyük bir kısmı Asya kıtasında bulunmaktadır (Kalafatoğlu ve Örs, 2016) Bor üreten ülkelerin başında Türkiye ve ABD gelmektedir (Anonim, 2003). Bu ülkeler üretilen bor minerallerinin yaklaşık %90'nına sahiptirler (Özorak, 2014; Web iletisi 5). Rusya, Çin ve Kazakistan bor üretimi yapan diğer önemli ülkeler arasındadır (Yıldırım, 2014). Dünyadaki ticari amaç için üretilen bor rezervleri 4 bölgeden oluşmaktadır (Bideci, 2013). Bu bölgeler;

- ABD Kaliforniya Eyaletinin güneyinde yer alan *"Mojave Çölü"*
- Güney Amerika'da yer alan *"And Kemeri"*
- Türkiye'nin de yer aldığı *"Güney-Orta Asya Orojenik Kemeri"*
- *Doğu Rusya'dır* (Eyyüboğlu, 2013; Web iletisi 4).

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Türkiye) ve Rio Tinto (ABD), dünyadaki bor üretiminin ortalama %70'ini elinde bulunduran kuruluşlardır (Web iletisi 5; Web iletisi 4). Çizelge 3.6'da 2014 verilerine göre dünya bor rezervlerinin ülkeler bazında dağılımı gösterilmiştir. Şekil 3.12 ve çizelge incelendiğinde bor rezervi %72.8 olan Türkiye birinci sırada yer almaktadır (Web iletisi 4).



Şekil 3.12. Dünya bor rezervi dağılım haritası (Web iletisi 2)

Çizelge 3.6. Dünya borik asit rezervleri dağılımı (Web iletisi 4)

Ülke	**Toplam Rezerv (Bin ton B_2O_3)**	**Toplam Rezerv (% B_2O_3)**
Türkiye	953,300	72.8
Rusya	100,000	7.6
A.B.D	80,000	6.1
Çin	47,000	3.6
Şili	41,000	3.1
Sırbistan	24,000	1.8
Peru	22,000	1.7
Bolivya	19,000	1.5
Kazakistan	15,000	1.1
Arjantin	9,000	0.7
Toplam	**1,310,300**	100.0

Türkiye dışında diğer bor rezervlerinin bulunduğu bor yatakları şunlardır (Web iletisi 5);

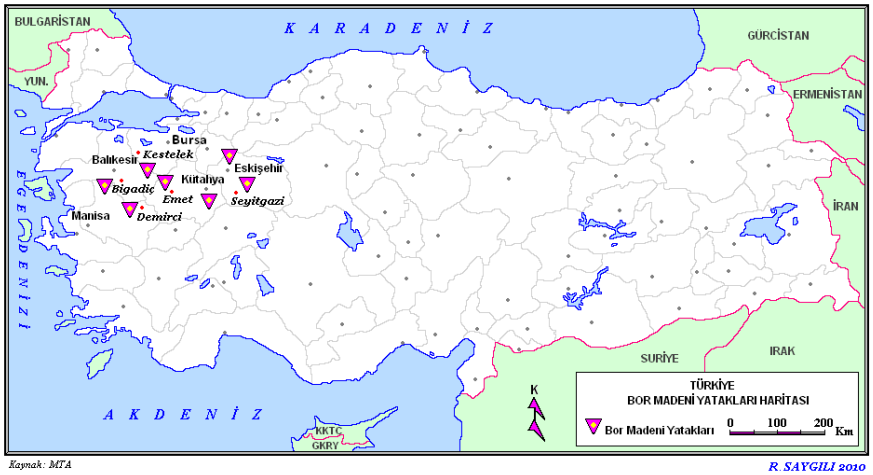
- Boron (Kramer) Yatakları, Kuzey Amerika
- Sırbistan Jadar Bor Havzası
- Fort Cady Kalsiyum Bor Yatağı Mojave Desert, Kaliforniya
- Death Valley Bor Yatakları/Billie Mine
- Güney Amerika Bor Yatakları

- Tincalayu, Arjantin
- Salar de Surire Bor Cevheri Yatağı, Şili
- Salar de Carcote ve Salar de Ascotan, Kuzey Şili
- Asya Bor Yatakları
- Rusya Bor Yatakları.

3.1.3.4. Türkiye'de bor rezervleri

Dünyada bilinen bor minerali yataklarının 803 milyon ton bor rezervi Türkiye'nin batısında yer almaktadır (Özdemir ve Öztürk, 2003; Elbeyli ve ark., 2004). Ticari olarak en önemli bor mineralleri tinkal ($Na_2B_4O_7$ $10H_2O$), kolemanit ($Ca_2B_6O_{11}$ $5H_2O$) ve üleksittir ($NaCaB_5O_9$ $8H_2O$) (Helvacı, 2005; Christogerou ve ark., 2009). Bu mineralleri, borik asit, susuz borik asit, susuz boraks, boraks pentahidrat, boraks dekahidrat ve sodyum perborat gibi saf kimyasal bileşikler halinde rafine edilebilirler (Mobbs, 2004). B_2O_3 içeriği bakımından %72'lik bir paya sahip olan dünyanın en büyük bor yatakları ulusal madencilik şirketi Eti Maden tarafından kontrol edilmektedir (Christogerou ve ark., 2009).

Bu bor yatakları Bursa'nın Kestelek ilçesi, Eskişehir'in Kırka ilçesi, Balıkesir'in Bigadiç ilçesi ve Kütahya'nın Emet ilçesinde yer almaktadır (Eyyüboğlu, 2013). Kırka/Eskişehir'de tinkal yatakları, Emet/Kütahya ve Bigadiç/Balıkesir bölgesinde kolemanit yatakları Bigadiç/Balıkesir' de ise üleksit rezervi bulunmaktadır (Web iletisi 6) (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Türkiye bor yatakları haritası

Ayrıca Kestelek/Bursa'da üleksit yan ürün olarak üretilmektedir (Yıldırım, 2014; Web iletisi 5).

Bor yatakları;

- Ülkemizdeki bor yatakları Miyosen yaşlı playa-göl ortamlarında meydana gelmektedir.
- Bor elementinin kökeni hidrotermal ve volkanik aktivite sistemlerden oluşmaktadır.
- Bor minerallerinin sonra ve evveline kireçtaşı ve kiltaşı çökelimi gerçekleşmiştir.
- Bor çökelmesinde önceki fazda farklı ebatlarda kömür yatakları oluşmuştur.

Ca-boratlar ile başlayan çökelim istifi, CaNa ve Na-boratlar olarak devam etmektedir (Yıldız, 2008).

2015 yılında Türkiye' de bulunan bor rezervlerine mineral bazında baktığımızda (Çizelge 3.7), en fazla üretiminin Emet/Kütahya bor yatağında olduğu, toplam bor rezervinin ise 3,285,087,000 ton olduğu örülmektedir.

Çizelge 3.7. Türkiye bor rezervlerinin dağılımı (Web iletisi 4)

Cevher Cinsi	Toplam Ton
EMET (Kolemanit-Üleksit)	1,815,291,000
KIRKA (Tinkal)	832,676,000
BİGADİÇ (Kolemanit-Üleksit)	631,865,000
KESTELEK (Kolemanit)	5,555,000
TOPLAM	**3,285,087,000**

A. Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Eskişehir ilinin 41 km güneyinde bulunan Seyitgazi ilçesinin Kırka bucağına kurulan Kırka-Sarıkaya Boraks yatağı, dünyanın en büyük bor rezervlerinden biridir (Eyyüboğlu, 2013). Kronolojik tarihine bakıldığında; 1950-1960 yılları arasında yöre halkının arama ruhsatı alarak yaptıkların maden araması sonucu bulunmuştur. Türkiye'deki tüm bor yataklarının sahibi olan İngiliz Boraks Consolidated Ltd.Şti 1962 yılında tüm arama ruhsatlarını almıştır. 1968 yılında Türk Boraks Madencilik A.Ş.' nin tüm maden arama ve işletme hakları Etibank'a verilmiştir. 1970 yılında bor çıkarma ve işleme tesislerini kurulma işlemlerine başlanmıştır. 1975 yılında tesis bor üretme faaliyetlerine başlamıştır. 1979 yılına kadar farklı gerçek kişilerce üretim

yapılmıştır. 1984 yılında Bor Türevleri Tesisi hizmet vermeye başlamıştır (DPT, 2001; Irmak, 2006; Sarıağaç, 2012; Web iletisi 5).

Şekil 3.14'de uydu görüntüsü verilen Kırka bor işletmesinin bor yatağındaki önemli bor mineralleri tinkal, kolemanit ve üleksittir (Elbeyli ve ark., 2004). Yatağının merkezi olan Sarıkaya, Bor konsantrasyonunun en yoğun olduğu yerdir. Bor minerali, 1mm-1cm arasında değişen dane çapıyla sübhedral ve anhedral kristaller şeklindedir. Bor yatağının kenar bölgelerinde üleksit bulunmaktadır. Çoğunlukla lifli, masif yapıda olan üleksitin, bantlı cevher, bileşik cevher ve camsı cevher olmak üzere üç farklı çeşidine rastlanmaktadır (Yıldız, 2008).



Şekil 3.14. Kırka bor işletmesi uydu görüntüsü (Web iletisi 3)

Boraks (Tinkal), Kırka bor işletme tesislerinde açık işletme yöntemiyle elde edilmektedir (Eyyüboğlu, 2013). Bor yatak Üzerindeki toprak katmanı delme, patlatma ve ekskavatörlerle kaldırılma işlemi yapılmaktadır. Bu işlemler yapıldıktan sonra çıkarılan cevher kamyonlarla konsantrator tesisine taşınmaktadır. Taşınan bor minerali ilk olarak 40 cm'lik ızgaralardan geçirilmektedir. Daha sonra 10 cm, ardından 25 mm dane çapına gelinceye kadar kırılır (DPT, 2001). Kırılan bor cevherleri ara stok binasında depolanmaktadır. Ara stok binasından alınan cevher, 6 mm göz açıklıklı kuru elekte elenmektedir. Elek altında kalan bor mineralleri (%65 katı/sıvı) püre haline getirilmektedir. İçerisinde yabancı madde ve kil kalmaması için yıkama havuzlarına gönderilmektedir. Yıkanan cevherler 1 mm göz açıklıklı sulu elekten geçirilip, elek üstünde kalan cevher santrifuj yöntemiyle ayrıştırılarak stoklanmaktadır. 6 mm'lik elek

üzerinde kalan bor minerali merdaneli ve paletli kırıcılarla kırılarak aynı işlemlere tabi tutulmaktadır (DPT, 2008).

Yaklaşık %25 B_2O_3 tenörlü tinkal cevheri şoklu ve çeneli kırıcılar vasıtasıyla 2.5 cm boyutuna getirildikten sonra killerden ayrıştırmak için aşındırmalı yıkama havuzlarına sevk edilmektedir. Yıkanan tinkal cevheri elenerek, sınıflandırılmaktadır. Son olarak santrifüj yöntemiyle %8 nem orana sahip ortalama %32.5 B_2O_3 tenörlü konsantre tinkal üretilmektedir (Dırak, 2011).

Kırka Bor İşletmesinde üretimi yapılan Bor ürünleri; Etibor-48 (Boraks Pentahidrat) ($Na_2B_4O_7.5H_7O$), Etibor-68 (Susuz Boraks) ($Na_2B_4O_7$), boraks dekahidrat ($Na_2B_4O_7.10H_2O$), kompaktlanmış kalsine tinkal, Etimatik borlu temizlik ürünü (Web iletisi 5).

B. Emet Bor İşletme Müdürlüğü

Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Kütahya iline 100 km uzaklıkta olan Emet ilçesinde kurulan bir tesistir (Şekil 3.15). Emet bor işletme bölgesindeki en önemli maden sahaları; Hisarcık ilçesi, Espey, Hamamköy ve Killik beldelerini içine alan bölgede yer almaktadır (Web iletisi 5).



Şekil 3.15. Emek İşletme müdürlüğü (Web iletisi 5).

Bölgede en çok çıkarılan bor minerali Kolemanitin yapısı, genellikle yumru şeklindedir. Büyük yumrular oval, küçük yumrular ise küresel yapıdadırlar (Helvacı, 2001; Yıldız, 2008). 2015 verilerine göre, Emet borat yataklarının kolemanit ve üleksit rezervi toplam 1,815,291,000 ton civarındadır (Web iletisi 4).

Ülkemizin bor cevheri rezervlerinin büyük bir kısmını elinde bulunduran Emet Bor yatağı; 1958 yılına kadar İngiliz himayesinde olan bölgedeki bor sahaları M.T.A tarafından alınarak, Bakanlar Kurulu Kararıyla Etibank'a verilmiştir. 1958 yılından 1979 yılına kadar bölge sahsa ait tüzel kişiler tarafından işletilerek üretim devem ettirilmiştir. 1998 yılından itibaren yeniden yapılanmaya gidilerek İşletme statüsüne getirilmiştir. 2004 yılında borik asit fabrikası bünyeye katılarak üretime başlatılmıştır. 2012 yılında 2.

borik asit fabrikası açılarak üretim kapasitesi arttırılmıştır (Dırak, 2011; Bideci, 2013; Web iletisi 5).

Bakanlar Kurulu Kararıyla Etibank'a verilen bor cevher sahaları; Hisarcık ilçesine 4 km uzaklıktaki Hamamköy ve Emet ilçesine 3.5 km uzaklıktaki Espey beldelerini kapsamaktadır (DPT, 2001).

Emet bor işletmesinde kolemanit üretimi Espey ve Hisarcık olmak üzere iki açık işletmeden yapılmaktadır (Web iletisi 5). Üretimi yapılan tüvenan cevheri Hisarcık açık işletmesinde kurulu konsantratörde kırma, kalsifikasyon ve yıkama işlemlerinden geçirilerek zenginleştirilmiş bor cevheri elde edilmektedir. Elde edilen tüvenan tenörü ortalama %29 B_2O_3 içerirken, konsantratör tesisinden çıkan ürün tenörü ise yaklaşık %41 civarında B_2O_3 içermektedir (Dırak, 2011). Cevher ocaklarından çıkarıldıktan sonra konsantratör tesislerinde zenginleştirilen ürünlerin bir kısmı konsantre ürün şeklinde satışa sunulurken kalan kısmı tesiste yer alan borik asit fabrikasında üretime katılmaktadır (DPT, 2008).

Emet Bor İşletmesinde Üretilen Ürünler;

Hisarcık Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)

Espey Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)

Borik Asit (B_2O_3) (Web iletisi 5).

C. Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü

İşletme, Balıkesir ilinin 35 km güneyinde bulunan Bigadiç ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan Osmanca Köyü sınırları içerisinde kurulmuştur (Web iletisi 5) (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Bigadiç/Balıkesir işletme müdürlüğü (Web iletisi 5).

Bigadiç bor yatağı, yaşlı neojen tektonik bir gölün içine aldığı bir bölgedir (Yıldız, 2008). Bölgede bulunan bor yataklarının en kesiti incelendiğinde; marn, borat, kil ve tüf

madenleri ardışık bir şekilde dizildiği görülmektedir. Boratlar 1-3 m arasında bir kalınlıkta plakalar şeklinde killer arasında bulunmaktadır (Helvacı, 2001).

Bigadiç/Balıkesir bölgesindeki Bor cevher yatakları; 1950 yılında Muharrem Girgin isimli bir madencinin topladığı numunelerin Dr. Yakal'ın kolemanit olduğunun tespiti etmesiyle bulunmuştur. 1976 yılına kadar özel firmalar tarafından işletilmiştir. 1976 yılı başlarında, işletmeci firma ve Fransız şirketinin arasında yaşanan anlaşmazlıktan dolayı Bakanlar Kurulu kararı ile Etibank'a devredilmiştir.

İşletmede kolemanit ve üleksit minerali üretilen Tülü, Simav ve Acep olmak üzere 3 adet açık ocak bulunmaktadır (Dırak, 2011). Bu üç ocakta kolemanit ve üleksit mineralleri çıkartılmakta, kırma ve öğütme işlemleri yapılıp konsantratör tesislerinde işlenerek bor ürünleri elde edilmektedir (Bideci, 2013).

Tülü Açık Ocağı: Tülü ocağı bünyesinde bor yatağı kalınlığı yaklaşık 50 m, cevher bölgesi kalınlığı 27 m olan, ayrıca yaklaşık 15 m cevher kalınlığına sahip, ortalama tenörü %28.14 B_2O_3 olan 4 adet bor cevher damarı bulunmaktadır (DPT, 2001).

1976 yılında kapalı ocak sistemiyle işletmeye alınan ocak, yaklaşık 37 yıldır açık ocak üretim sistemi ile faaliyetlerini sürdürmektedir (Web iletisi 4).

Acep Açık Ocağı: Acep ocağında cevher kuşağı kalınlığı yaklaşık 20-25 m arasındadır. Kuşak içerisinde içinde ortalama 2-12 m kalınlıkta bir ana damar ve 0.5-2 m kalınlıkta yaklaşık 3 tane merceğe benzer damarlar mevcuttur. Cevher kuşağında bulunan damarlar arasında 0.5-7 m kalınlıkta killi, kireçtaşı, kireçtaşı-marn ve kil tabakalarının ardışık bir şekilde dizilmektedir. Acep açık ocağının örtü kalınlığı yaklaşık 56 metredir. Bunun 15 m'si cevher kuşak kalınlığı, 8 metresi ise net cevher kuşağıdır (Yıldız, 2008).

1979 yılında kapalı ocak şeklinde işletilen tesis, 1988 yılından itibaren açık ocak üretim sistemine geçmiştir (Bideci, 2013).

Simav Açık Ocağı: Simav Açık Ocağı işletme sahasında 4-6 damar mevcuttur. Damarların cevher kuşağı kalınlığı 40 m, a net cevher kalınlığı ise 23 m'dir. Cevher damarları arasında kil-kireçtaşı-marn tabakaları, yaklaşık 3-6 m kalınlığında ardışık bir şekilde dizilmiştir (Yıldız, 2008). Damarlar içinde yer alan cevher cinsi ve kalınlıkları Çizelge 3.8'de verilmektedir (Web iletisi 5).

Çizelge 3.8. Cevher cinsi ve kalınlıkları (Yıldız, 2008)

Damar No	Cevher Cinsi	Kalınlığı (m)
1	Kolemanit	2-4
2	Kolemanit	4-5
3	Kolemanit, Üleksit	5-10
4	Kolemanit, Üleksit	3-5
5	Kolemanit	1-3
6	Kolemanit	1-2

Bigadiç Bor İşletmesinde Üretilen Ürünler;

a) Konsantre Bigadiç Kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$)

3-125 mm Kolemanit Konsantresi

25-125 mm Kolemanit Konsantresi

3-25 mm Kolemanit Konsantresi

0,2-3 mm Kolemanit Konsantresi

b) Konsantre Bigadiç Üleksit ($Na_2O\ 2CaO\ 5B_2O_3\ 16H_2O$)

3-125 mm Üleksit Konsantresi

0,2-3 mm Üleksit konsantresi

c) Öğütülmüş Bigadiç Kolemanit (-75 mikron)

d) Öğütülmüş Bigadiç Üleksit (-75 mikron) (Eyyüboğlu, 2013).

D. Kestelek Bor İşletme Müdürlüğü

Kestelek bor işletme müdürlüğü, Bursa ilinin 92 km uzağında bulunan Mustafa Kemal Paşa ilçesine bağlı ve 23 km mesafede yer alan Kestelek köyünde kurulmuştur (Web iletisi 4) (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Bigadiç/Balıkesir işletme müdürlüğü (Web iletisi 5).

İşletme sahası sınırları içerisinde yer alan bor yatakları katmanları, kil-marn tüf içerisinde meydana gelmiştir (Yıldız, 2008). Yumrular halinde killerle ayrılmış Kolemanit minerali üç adet boratlı katmandan oluşmuştur. Kolemanit yumrularının büyüklüğü 1-100 cm arasında değişmektedir (Helvacı, 2001).

Kestelek Bor yatakları; 1954 Yılında Kestelek Köyü'nde yaşayan Ali Doğru tarafından fark edilmiştir. 1957 yılın sonlarına doğru, Kestelek köyünde yaşayan Hasan Şen ve işletmenin o günkü sahibi Bortaş AŞ. tarafından kapatılarak 1963 yılına kadar cevher arama çalışmaları yapılmıştır. 1963 ve 1966 yılları arasında bilinmeyen sebeplerden dolayı işletme faaliyetlerine son verilmiştir. 1966 yılında yeniden üretime başlayan firma 1979 tarihine kadar üretim yapmıştır. 1979 yılında Madenlerin Devletleştirilmesi Yasası gereğince işletme bünyesinde bulunan rezervleri ve işçileriyle birlikte Etibank'a devredilmiştir (Bideci, 2013).

Bölgede bir adet açık ocaktan sadece kolemanit cevheri çıkarılmaktadır (Dırak, 2011). Kestelek bor işletme tesisinde üretilen kolemanit minerali konsantratör tesisinde zenginleştirilerek, kolemanit konsantresi ve konsantre ürün üretilmektedir (Web iletisi 4).

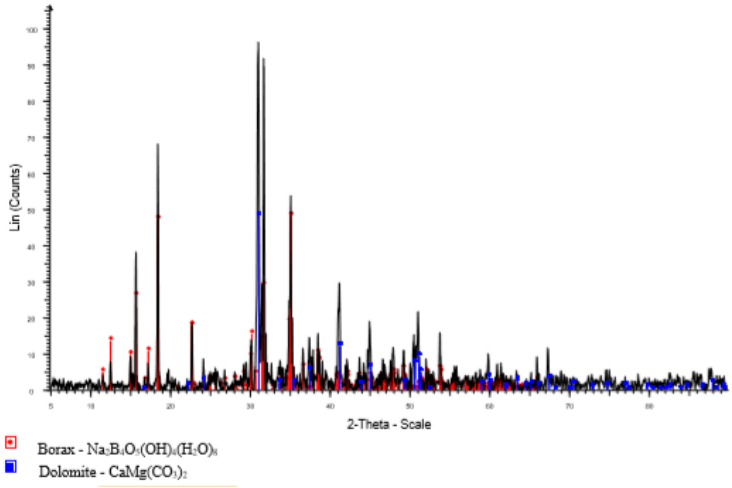
3.1.3.5. Bor atıkları ve değerlendirilmesi

Ülkemizde bor işletme tesislerini elinde bulunduran Etibor A.Ş'ye ait Kırka ve Espey bor tesislerinde yıllık yaklaşık 1,195,000 m^3 bor atığı atık göletlerine boşaltılmaktadır (Anonim, 2013a; 2013b). Tüm bor işletme tesisleri düşünüldüğünde atık miktarı daha fazla olmaktadır.

Bor gibi endüstriyel üretimler sonucunda açığa çıkan atıklar; depolanma yeri, doğada oluşturduğu tahribat, hava, su ve toprak kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunların aşılması ancak atıkların değerlendirilmesiyle mümkündür. (Batar ve Köksal, 2009; Erkan ve ark., 2016).

Bor atığı; sodyum borat kökenli bor mineralleridir. Bu atıkları su eklenerek çamur (şlam) halinde tesisler bünyesinde bulunan atık göletlerde biriktirilmektedir. Tinkal Katı Atık (TSW) dediğimiz bölümü göletten alınarak cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Yaklaşık %25 gibi oldukça yüksek oranda B_2O_3 içeren bu atıklar, illit, montmorillonite ve vermicullit gibi değerli kil mineralleri ihtiva etmektedir (Sarıağaç, 2012).

Kırka yatağında bulunan ve çalışmamızda materyal olarak kullandığımız Şekil 3.18'de mineralojik analizi verilen bor atığı, montmorillonit, dolomit ve kalsitten meydana gelmektedir (Sabah ve Yeşilkaya, 2000).



Şekil 3.18. Bor atığının mineralojik analizi (Akyıldız, 2012)

Bor atığının içerisinde bağlayıcılık için önemli olan kuvars (SiO_2), demir oksit (Fe_2O_3) ve alümina (Al_2O_3) gibi bileşikler bulunmaktadır. Bunun yanısıra magnezyum oksit (MgO) ve kalsiyum oksitte (CaO) bulunmaktadır. Çizelge 3.9'da, Eskişehir Kırka Boraks Tesislerinden alınan bor atığının kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

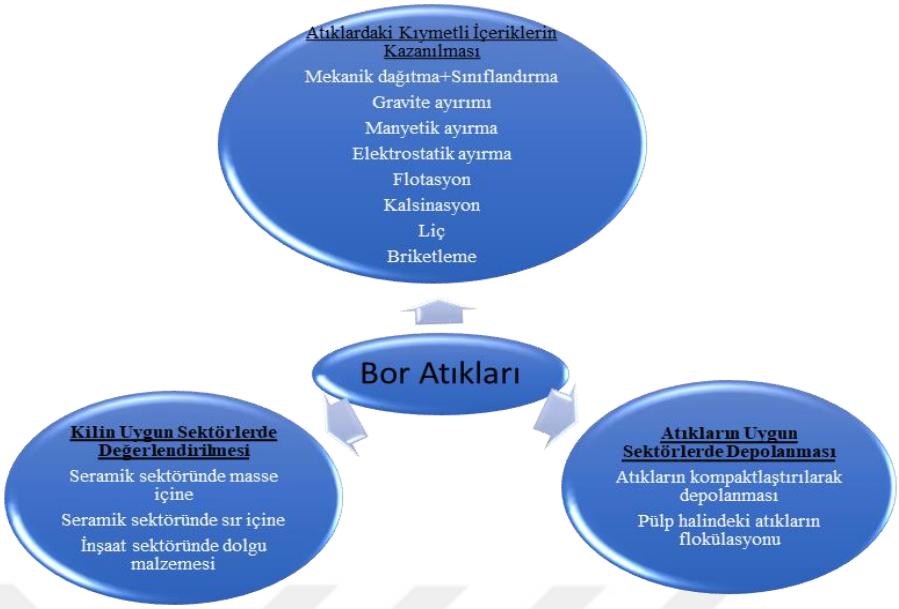
Çizelge 3.9. Bor atığının kimyasal özellikleri (Akyıldız, 2012)

Bileşen	B_2O_3	CaO	MgO	SiO_2	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Kızdırma Kaybı
Bor atığı, %	25	10.38	13.94	12.98	5.67	0.96	0.20	0.72	29.15

Kestelek ve Emet-Hisarcık kolemanit atıkları montmorillonit, kalsit, biyotit ve klorit mineralleri, Bigadiç atıkları ise montmorillonit, jips ve kalsit içermektedir (Yaman, 1997; Dırak, 2011). Bor atıklarının mineralli kil içeriğinin zengin olması, atıkların başta seramik sektörü olmak üzere tuğla ve çimento endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Bor Atıklarını Değerlendirme Yöntemleri

Bor atıklarını değerlendirme yöntemleri üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar Şekil 3.19'da da görüldüğü gibi; atıklardaki kıymetli içeriklerin kazanılması, kilin uygun sektörlerde değerlendirilmesi ve atıkların uygun sektörlerde değerlendirilmesidir (Sarıağaç, 2012).



Şekil 3.19. Bor atıklarının kıymetli içeriklerinin kazanılmasına yönelik şema

Bor minerali zenginleştirme işlemlerinden çıkan atıklar ince dane çapına sahip katı veya püre şeklindedir. Eskiden bu şekilde oluşan atıklar maden yataklarının yakınındaki arazilere, artık barajlarına, göllere ve en kötüsü de denizlere dökülmektedir. Çevre bilincinin gelişmesiyle zenginleştirme sonrası üretim atıklarından yararlanma ya da bu atıkları zararsız hale getirmenin yolları aranmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde üretim sonucu oluşan bor atıkları, inşaat, cam ve seramik sanayilerinde hammadde olarak kullanılmaya başlandığı tespit edilmiştir (Özorak, 2014).

Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması

Bor atıklarına suda bekletme, gravite yöntemleri, mekanik dağıtma, sınıflandırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma, flotasyon, ısıl işlem, briketleme ve ses ötesi dalga gibi yöntemler uygulanarak zenginleştirme esnasında atık içerisinde kalan bor minerali geri kazanılmaktadır (Doğan ve ark., 1997; Alp ve Özdağ, 2000). Ayrıca atık göletinde bulunan ferromanyetik ve paramanyetik mineraller yüksek alan şiddetine sahip manyetik ayırıcılarla ayrıştırılıp tekrar üretime katılmaktadır (Griffin ve Downing, 2001). Elle ayıklama, mekanik dağıtma, sınıflandırma gibi yöntemler ise bor konsantratör tesislerinde uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin dezavantajı yalnızca iri ebatlardaki cevherlerin ayrılıp, ince boyuttaki (<0,5mm) cevherlerin atık barajlarına atılmasıdır (Özbayoğlu ve ark., 2001). Flotasyon yöntemiyle bor zenginleştirme işleminde, mekanik dağıtma+sınıflandırma ile kil içerikli şlamın (çamur) atılması ve doygun bor çözeltisi elde

edilmesi hedeflenmektedir (Aytekin ve Badruk, 1992). Şlam şeklinde bulunan kil, bor mineralleri üzerini şlam kaplama mekanizması ile kaplaması ve elektrostatik çekim mekanizması ile yapışması sonucu flotasyon verimini önemli ölçüde düşürmektedir (Gülgönül ve ark., 1997). Bu düşüşü önlemek için bor minerali flotasyonuna ultrasonik ve Ca^{+2} iyonlar birlikte etki ettirilerek flotasyon verimini yaklaşık %85' e kadar arttırmıştır (Gündüz ve ark., 2001). Bor minerallerinin kristal sularının uzaklaştırılmasıyla yapılan kalsinasyon işlemi sırasında bor mineralleri patlayarak ince ebatlara geçmektedir. Bor mineralleri ince ebatlardayken kil mineralleri agrega boyutuna gelmektedir. Satışının mümkün olmadığı -0.5 mm dane çapına sahip bor atıklarının su ile ya da borik asitle nemlendirilmesi briketler elde edilmektedir (Özbayoğlu ve ark., 2001). Bunun yanısıra elde edilen verim, kolaylık, çevre kirliliği oluşturmama ve ekonomiklik açısından yaş yöntemlere göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Ak, 2011).

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; Doğan ve ark. (1997) yapmış olduğu çalışmada, yaklaşık %20.7 oranında B_2O_3 (Boraks) tenörlü Kestelek (-0.2 mm) kolemaniti ve yaklaşık %29.5 oranında B_2O_3 tenörlü Bigadiç (-3+0.2mm) kolemaniti için mekanik dağıtma ve yas eleme ile zenginleştirme işlemi yapılmıştır. Kestelek için dekrepitasyon yöntemi ile %36.2 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %69.2 verim, elektrostatik ayırma yöntemi ile %40.7 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %68.2 verim ve flotasyon yöntemi ile %43.8 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %66.7 verim elde edilmiştir. Bigadiç kolemaniti için ise dekrepitasyon yöntemi ile %59.8 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %80.4 verim, elektrostatik ayırma yöntemi ile %39.6 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %59.9 verim ve flotasyon yöntemi ile %54.3 oranında B_2O_3 ayrıştırılarak %75.2 verim sağlanmıştır (Doğan ve ark., 1997).

Özdağ ve ark. (1988), Kestelek -3mm ebatlı kolemanit atıkları manyetik ayırma yöntemi kullanarak ayrıştırma işlemi yapmışlardır. Sonuç olarak, %94 verim ile %41.76 oranında B_2O_3 tenörlü ürün elde etmişlerdir.

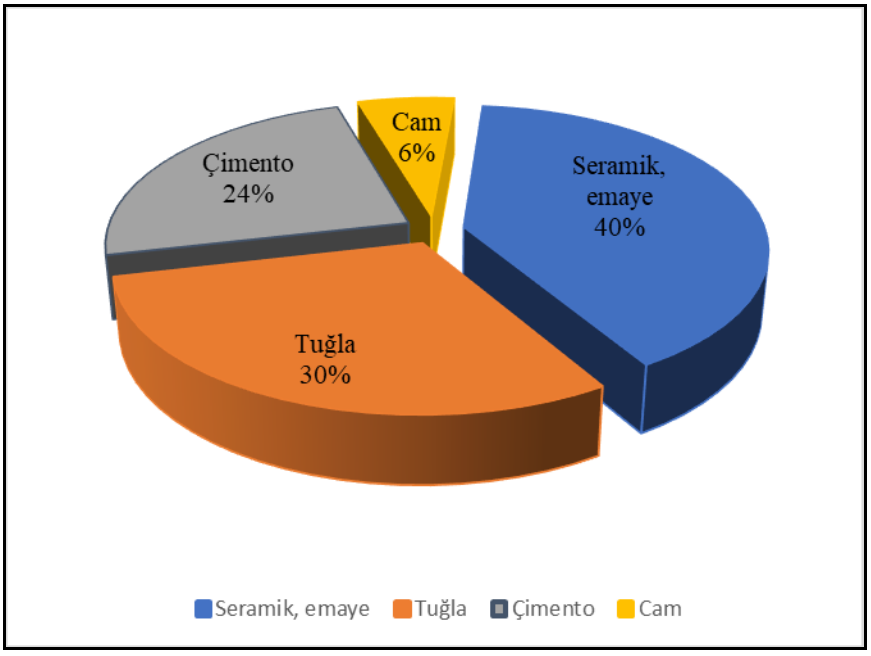
Kaytaz ve ark. (1986) yapmış oldukları çalışmada, %18 oranında B_2O_3 ve %1.57 oranında SO_3 içeren Bigadiç kolemanit atıklarını zenginleştirme yöntemleri olan gravite yöntemlerinden jig ve sallantılı masa ve elektrostatik ayırma deneylerini yapmış fakat herhangi bir verim elde edememişlerdir. Flotasyon yöntemi ile %40'ın üzerinde B_2O_3 ve %1.36 SO_3 ayrıştırırken, dekrepitasyon yöntemi ile %57.84 oranında ve %0.44 SO_3 ayrıştırmışlardır.

Emrullahoğlu (1985) yapmış olduğu çalışmada -3 mm fraksiyonu Bigadiç kolemanit cevherine suda kil dağıtma deneyleri uygulamıştır. Deney sonucunda, %30 oranında B_2O_3 ayrıştırarak %78.21 verim sağlamıştır.

Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması

Bor minerallerinin genellikle kil mineralleriyle tüvenan şeklinde bulunması, bu atıkların inşaat ve seramik endüstrisinde değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bor minerali ihtiva eden atık killerin tuğla endüstrisinde kullanılması, sektöre ek hammadde sağlamakla birlikte tesislerde atıkların atılmasıyla çevreye verilen zarar azaltılacaktır. Bor içerikli atık killer cam sanayinde, seramik sanayinde; masse, frit ve sır yapımında, inşaat sektöründe ise, başta çimento sanayi olmak üzere beton katkı malzemesi, yol, köprü ve baraj yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılabilirler (Özdemir ve Öztürk, 2003; DPT, 2008).

Bor mineralinin işlenmesi sonucu açığa çıkan bor atıkları sektörel bazda incelendiğinde (Şekil 3.20); %40 lık oranla ilk sırada seramik endüstrisinin olduğu görülmektedir. Seramik endüstrisini %30 oranla tuğla, %24 oranla çimento sektörü izlemektedir.



Şekil 3.20. Bor atığı kullanımının sektörlere göre dağılımı (Dırak, 2011).

Atıkların Depolanması

Bor işleme tesislerinde zenginleştirme işleminden sonra açığa çıkan ince bor artıkları öncelikle uygun zenginleştirme yöntemi uygulanarak bor geri kazanılmalıdır. Geriye kalan atıklarsa endüstri dallarında kullanılacağı göz önünde bulundurularak işletme bünyesinde bulunan atık barajında depolanmalıdır (DPT, 2008; Ak, 2011).

3.1.4. Numune üretiminde kullanılan ekipmanlar

Tez çalışması kapsamında numune üretilirken ve fiziksel ve mekanik deneyleri yapılırken Türk Standartları kullanılacaktır. Deneyler Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü, Ar-Ge Laboratuvarı'nda yapılacaktır. Üç gözlü çelik kalıp ile üretilen harman tuğlası numunesi şekillendirilmiştir. Manuel çimento mikseri ile hamur dinlendirildikten sonra daha homojen bir tuğla hamuru elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Etüv fırını, numuneleri kurutma işleminde, hassas terazi ise tuğla hamuru oluşumunda kullanılacak malzemelerin miktarlarının belirlemesinde kullanılmıştır.

- Üç Gözlü Çelik Kalıp

Üç gözlü çelik kalıp üretilen numunelerin kolayca çıkarılması ve temizlenmesi için parçalı olarak imal edilmiştir. Kalıp tablası döküm olan ve kalıp montajı oldukça pratik olan kalıp 40x40x160 mm boyutundadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Üç gözlü çelik kalıp

- Manuel Çimento Mikseri

Şekil 3.22'de görülen manuel çimento mikseri, yaklaşık 5 lt karıştırma kabı ve karıştırma paletinden oluşmaktadır. Karıştırma hızı manuel olarak seçilmektedir. Malzemenin kolayca dökülebilmesi için cihaz üzerinde bir adet huni bulunmaktadır.



Şekil 3.22. Manuel çimento mikseri

- Etüv Fırını

Üretimde kullanılacak malzemelerin bünyesindeki suyu atması için kullanılmıştır. 120 litre olan etüv fırını +200 °C ye kadar çıkmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Etüv Fırını

- Hassas Terazi

Şekil 3.24'de verilen hassas terazi üretime katılacak malzemelerin ağırlık tartımları için kullanılmıştır. ±0,1 gr hassasiyete sahiptir.



Şekil 3.24. Hassas terazi

3.2. Yöntem

Mevcut ve fabrika üretimi harman tuğlasının temini, bor atığı katkılı harman tuğlası üretimi ve bu numuneler üzerinde uygulanacak deneyler başlıklar halinde verilmiştir.

3.2.1. Mevcut harman tuğlalarının temini

Mevcut duvar dolgu malzemesi Kastamonu il merkezinde bulunan, restorasyonu Abidat Restorasyon ve Mimarlık Mühendislik İnş. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından yürütülen, hımış yapım sistemiyle yapılan, ahşap çatkılarının arası harman tuğlası ile doldurulan, zemin+2 kattan oluşan, 97 yıllık Geleneksel Kastamonu Evi'nden temin edilmiştir (Şekil 3.25). Numuneler evlerin zemin kat dış duvarlarından 54 adet, 5x7x18 cm ebatlarında alınarak, 4x4x16 cm ebatlarına getirilerek deneylere tabi tutulmuştur. Bu numunelerin 39 adedi fiziksel farklılıkların tespiti, 12 adedi mekanik deneylerin, 3 adedi ise yapısal karakterizasyonunun tayini için kullanılmıştır.



Şekil 3.25. Mevcut numune temini

Ayrıca yapılan saha araştırmalarında eskiden duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğlasının Kastamonu ili Taşköprü ilçesinde ocaklarda ve Sinop ili Boyabat ilçesinde üretildiği tespit edilmiştir. İlçede bulunan ocaklar uzun yıllar önce kapatıldığı ve Kastamonu ili için gerekli harman tuğlasının Sinop ili Boyabat ilçesinden temin edildiği tespit edilmiştir. Sinop ili Boyabat ilçesinde bulunan harman tuğlası üretimi yapan fabrikalar gezildiğinde (Emek Tuğla Fabrikası, Çağlar Tuğla Fabrikası, Çelik Tuğla Fabrikası, Yaylaoğlu Tuğla Fabrikası) artık elle üretimin yapılmadığı fabrika üretimine geçildiği öğrenilmiştir. Mevcut malzemeler ve günümüzde fabrikasyon sistemiyle üretilen malzemelerin özelliklerini karşılaştırmak için Sinop ili Boyabat ilçesi Emek Tuğla Fabrikası'ndan 5x7x19 cm ebatlarında numuneler alınarak 4x4x16xcm ebatlarına getirilip deneylere tabi tutulmuştur. Ardından bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.2.2. Bor atığı katkılı numunelerin üretilmesi

Bor atığı katkılı numunelerin üretimi Sinop ili Boyabat ilçesinde bulunan Emek Tuğla Fabrikası Ar-ge laboratuvarında yapılmıştır.

A. Hazırlama

Deneysel çalışmada katkı malzemesi olarak kullanılan bor atığı (Şekil 3.26) Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nden, ana malzeme olarak kullanılan killi toprak ise Kastamonu ili Taşköprü ilçe sınırları içerisinde bulunan killi toprak yığınından (Şekil 3.27) temin edilmiştir.



Şekil 3.26. Bor atığı (Web iletisi 7)



Şekil 3.27. Deneylerde kullanılan killi toprak

Çeyrekleme metodu yardımıyla alınan numune laboratuvar tipi merdaneli ezicide öğütüldükten sonra 1mm'lik elek altı malzeme elde edilmiştir. Deneyde katkı maddesi olarak kullanılacak bor atığı da aynı işlemlere tabi tutulmuştur. Karışım için hazırlanan reçete Çizelge 3.10' da verilmiştir. Hazırlanan numunelere yoğurma suyu her bir karışıma toplam malzeme ağırlığının %20'si oranında eklenmiştir.

Çizelge 3.10. Karışım oranları reçetesi

Reçete	Killi Toprak (%)	Bor Atığı Katkısı (%)	Su (%)
Referans Numune	100	0	20
Bor Atığı Katkısı %2	98	2	20
Bor Atığı Katkısı %4	96	4	20
Bor Atığı Katkısı %6	94	6	20
Bor Atığı Katkısı %8	92	8	20
Bor Atığı Katkısı %10	90	10	20

Numuneler önce etüv kurusu haline getirilmiş ardından hassas terazide tartılarak belirlenen oranlarda alınmıştır. Alınan malzemeler kuru karışım yapıldıktan sonra su ilave edilerek el yordamıyla birkaç kez karıştırıldıktan sonra oluşturulan çamur dinlenmeye bırakılmıştır. Hazırlanan çamur rutubetini kaybetmeyecek biçimde 24 saat dinlendirildikten sonra plastik kıvama gelinceye kadar mikser yardımıyla içinde hava kabarcığı kalmayıncaya kadar (5 dakika) yoğrulmuştur. Yoğurma işlemi bittikten sonra plastik kıvamda hazırlanan karışım Şekil 3.28'de görülen 4x4x16 cm ebatlarındaki çelik kalıplara, kalıplar uygun yatay bir zemine yerleştirildikten sonra dökülmüştür. Fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon özelliklerinin tespiti için toplam 360 adet numune üretilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.28. (a) Numune Kalıpları, (b) Karışımı kalıba dökülmesi

B. Kurutma ve pişirme

Deney numuneleri 24 saat normal hava koşullarında bekletildikten sonra Şekil 3.29a'da görüldüğü gibi kalıplardan çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler yarı açık bir alanda 7 gün kurumaya bırakılmıştır. 7 günün ardından harman tuğlaları için uygun pişirme sıcaklığı olan 900 °C sıcaklıkta (Uslu ve Arol, 2004), zaman ayarlı elektrikli kül fırında 8 saat pişirilmiştir. Numuneler soğuduktan sonra Şekil 3.29b'de görüldüğü üzere oda sıcaklığına (+ 21°C) getirilmiştir. Pişirilen numunelere mekanik, fiziksel ve yapısal karakterizasyonun tespiti için gerekli deneyler uygulanmıştır.



(a) (b)

Şekil 3.29. (a) Numunelerin kalıplardan çıkarılması, (b) numunelerin soğumaya bırakılması

3.2.3. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler

Numunelerin fiziksel farklılıklarının tespiti için;

- Özgül Ağırlık,
- Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık,
- Kılcal Su Emme,
- Porozite,
- Donma-Çözünme Etkisi,
- Aşınma
- Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini deneylerine tabi tutulmuştur.

Fiziksel farklılıkların tespiti için yapılan, özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, donma-çözünme etkisi, aşınma ve katı cisimlerin ısı iletim katsayısı tayini deneylerinde toplam 312 adet numune kullanılmıştır (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11. Fiziksel deneyler için kullanılan numune sayıları

	Numune Sayıları							
	M	**F**	**REF**	**BAK%2**	**BAK %4**	**BAK %6**	**BAK %8**	**BAK %10**
Özgül Ağırlık	6	6	6	6	6	6	6	6
Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık	6	6	6	6	6	6	6	6
Kılcal Su Emme	6	6	6	6	6	6	6	6
Porozite	6	6	6	6	6	6	6	6
Donma-Çözünme Etkisi	6	6	6	6	6	6	6	6
Aşınma	6	6	6	6	6	6	6	6
Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini	3	3	3	3	3	3	3	3

3.2.3.1. Özgül ağırlık

Özgül ağırlığı ölçmek için, boşluklu numune kuru halde öğütülerek ince toz haline getirildikten sonra 74 mikron göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elekten geçen ince tozların bir kısmı değişmez kütleye gelinceye kadar etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numune hassas terazide tartılarak kütlenin ağırlığı bulunmuştur. Aynı kütle içinde sıvı bulunan bir dereceli kaba (piknometre) konarak hacmi ölçülmüştür. Ağırlık bu şekilde bulunan hacme bölünerek özgül ağırlık hesaplanmıştır (Formül 3.1). Deneyler TS EN 771-1+A1, 2012 "Kâgir Birimler- Özellikler- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)" standardına göre yapılmıştır.

$$\textit{Özgül Ağırlık } (g/cm^3) = P/V \tag{3.1}$$

P: Kütlenin ağırlığı

V: Kütlenin hacmi

3.2.3.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

Suya doygun birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla numuneler öncelikle su dolu bir kap içerisinde 3 saat boyunca kaynatılarak suya doygun hale getirilmiştir. Ardından kap içerisinden alınarak, su dolu bir kap içerisinde asılı ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçüm yapıldıktan sonra numune kuru bir bezle silinerek yüzey kuru hale getirilmiştir. Daha sonra suya doygun yüzey kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Ölçümü biten

numuneler etüvde +105 ^{0}C' de 24 saat boyunca kurutulup değişmez ağırlıklarına geldikten sonra tekrar tartılmıştır (Erdoğan, 2010, Sürül, 2015). Bulunan değerler Formül 3.2'de yerine konularak birim hacim ağırlık hesaplanmıştır.

$$\textit{Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (gr/cm}^3\textit{)} = P_1/P_2\text{-}P_3 \quad (3.2)$$

P_1: Kuru ağırlık

P_2: Suya doygun havadaki ağırlık

P3: Suya doygun sudaki ağırlık

3.2.1.3. Kılcal su emme (Kapilarite)

Deney TS EN 772-11 "Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini" sayılı standarda göre yapılmıştır. Numuneler öncelikle 24 saat süreyle etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında 1 saat bekletilerek soğuması sağlanmıştır. Soğuyan numunelerin kuru ağırlıkları tartılmıştır. Daha sonra taban ölçüleri 4x4 cm olan numunelerin taban yüzeyleri suyun yüzeyine değecek şekilde ızgaralı 1 cm yüksekliğinde su dolu kaba yerleştirilmiştir. Numunelerin dört bir tarafının suya temas etmemesi için 1cm yükseklikle parafin ile kaplanmıştır. Numunelerin belirli zamanlarda (60, 120 ve 180 dk.) ağırlık ölçümleri yapılmıştır. 180 dakika sonunda (Şekil 3.30) numuneler tartılmıştır. Bulunan değerler Formül 3.3'te yerine konularak kılcal su emme miktarı hesaplanmıştır (TS EN 772-11, 2012).



(a) (b) (c)

Şekil 3.30. a) 60 dakika, b) 120 dakika, c) 180 dakika sonrası numune görüntüleri

Kılcal Su Emme (Kapilarite) (gr): m_{son}-m_{ilk}

(3.3)

m_{son}: Son ağırlık

m_{ilk}: İlk ağırlık

3.2.1.4. Porozite

Numuneler üzerinde uygulanan porozite deneyi TS EN 772-4 "Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini" standardı baz alınarak yapılmıştır. Standarda göre; 48 adet numune, su dolu bir kap içerisinde 3 saat süreyle kaynatılmıştır. Süre sonunda kap içerisinden alınarak, su dolu bir kaba konulmuş ve su içerisindeki asılı ağırlıkları ölçülmüştür. Kuru bir bez yardımıyla yüzey suyu alınan numunelerin suya doygun yüzey kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra örnekler etüvde +105 ^{0}C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Bulunan değerlere göre numunelerin porozite değerleri formül 3.4' te verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Porozite\ (\%) = ((P_2-P_1) / (P_2-P_3)) \times 100$$

(3.4)

P_1: Kuru ağırlık

P_2: Suya doygun havadaki ağırlık

P_3: Suya doygun sudaki ağırlık

3.2.1.5. Donma-çözünme etkisi

Donma-çözülme deneyi TSE CEN/TS 12390-9 "Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 9: Buz Çözücü Tuzlarla Donma-Çözünme Direnci – Ölçeklendirme" standardı baz alınarak yapılmıştır.

İlk olarak numuneler 1 saat boyunca suda bekletilmiştir. Kuru bir bez yardımıyla yüzey suyu alınan numuneler, -20 ^{0}C' de iki saat donma işlemine tabi tutulmuştur. Donma işlemi sonrasında bir saat çözülmeye bırakılmıştır. Bu döngü 20 kez tekrarlanarak donma-çözülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem BESMAK marka donma çözünme deney cihazında yapılmıştır (Şekil 3.31). Döngü sonunda donma-çözünmenin basınç dayanımına üzerindeki etkisi yüzde olarak hesaplanmıştır (TSE CEN/TS 12390-9, 2017).



Şekil 3.31. Donma-çözünme cihazı

Donma-Çözünme Etkisi = ((Basınç Dayanımı-Donma-Çözünmeden Sonraki Basınç Dayanımı)/Basınç Dayanımı) x 100

(3.5)

3.2.1.6. Aşınma

Aşınma deneyi TS 2824 EN 1338 standardı baz alınarak yapılmıştır. Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılan deneyde toplam 48 adet numune etüv fırınında +105 ^{0}C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Hassas terazi yardımıyla ilk ağırlıkları (m_1) ölçülmüştür. Ölçümün ardından numuneler aşındırma test cihazına yerleştirilerek oda sıcaklığında partikül erozyonuna maruz bırakılmıştır. Numunelerin aşınma testleri 20-60 mesh elek aralığı tane boyutuna sahip granül kullanılarak yapılmıştır. Deneyde 0.45 MPa hava basıncı ile 5.5 mm delik çapına sahip püskürtücüden harman tuğlası yüzeyine 90º dik açıyla granül püskürtülerek yapılmıştır. Deney sonunda numunelerin son ağırlıkları ölçülmüştür. Aşınma testi sonrası aşınma kayıpları formül 3.6'da verilen formüle göre hesaplanmıştır (TS 2824 EN 1338, 2005).

$$Aşınma\ (cm^3) = (m_1 - m_2) / b$$

(3.6)

m_1: İlk ağırlık

m_2: Son ağırlık

b: Hacim ağırlığı

3.2.1.7. Katı cisimlerin ısı iletim katsayısı tayini

Üretilen harman tuğlalarının ısı yalıtım özelliklerinin belirlenmesi için, ısı yalıtım özelliğinin en önemli ölçütü olan ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir.

Deney, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Isıl işlemler Laboratuvarında yapılmıştır. Her bir numune üç farklı ısı ve nem koşulları altında teste tabi tutulmuştur. Her bir test en az 10 termal ölçümden oluşmuştur. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Sütçü ve ark., 2015).

3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler

Çalışma kapsamında temin edilen ve üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için;

Basınç Dayanımı (TS EN 772-1, 2012)

Eğilmede Çekme Dayanımı deneyleri (TS EN 772-6, 2004 standardına göre) yapılmıştır.

Numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek için 96 adet numune kullanılmıştır (Çizelge 3.12).

Çizelge 3.12. Mekanik deneyler için kullanılan numune sayıları

	Numune Sayıları							
	M	**F**	**REF**	**%2 BAK**	**%4 BAK**	**%6 BAK**	**%8 BAK**	**%10 BAK**
Basınç Dayanımı	6	6	6	6	6	6	6	6
Eğilmede Çekme Dayanımı	6	6	6	6	6	6	6	6

3.2.2.1. Basınç dayanımı

Mekanik özelliklerden biri olan basınç dayanımı deneyi TS EN 772-1, 2012 "Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini" standardına göre, Şekil 3.32' de verilen bilgisayar kontrollü basınç presinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde +105 ^{0}C' de kurutulmuşlardır. Kurutulan numunelerin basınç dayanımı değeri kırılma yükünün yüzey alanına (4x4 cm) bölünmesi sonucu hesaplanmıştır. Deney Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 3.32. Numunelerin basınç dayanım deneyi görüntüsü

3.2.2.2. Eğilmede çekme dayanımı

Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılan eğilmede çekme dayanımı deneyi, Şekil 3.33'de görüldüğü gibi yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen, numunelerin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi ile üç noktadan uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Eğilmede çekme dayanımı deneyi yapılmadan önce numuneler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Deney BESMAK marka cihazla yapılmıştır (TS EN 772-6, 2004).



Şekil 3.33. Eğilmede çekme dayanımı

3.2.3. Numunelerin SEM, XRD ve BET yöntemleriyle yapısal karakterizasyonu

Geleneksel olarak elle üretilen mevcut numune, fabrika üretimi numune, referans numune ve bor atığı katkılı numunelerin yapısal karakterizasyonunun tespiti için taramalı elektron mikroskobu (SEM), Brunauer-Emmett-Teller (BET) ve X-Işını kırınımı (XRD) deneyleri yapılmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Görüntü oluşturma örnek üzerine gönderilen elektron demetinin örnekten yansıması ve yansıyan sinyallerin algılanması esasına dayanmaktadır. SEM tekniklerinin kullanılması görüntülerde mükemmel alan derinliği sağlamakta ve morfolojiyi tanımlamaktadır (Yanez ve Barbosa, 2003).

SEM de görüntü alma işlemi yüksek hızlarda hızlandırılan elektronların incelenecek örnek üzerine gönderilmesi esasına dayanmaktadır (Ergün ve Yenisey, 2006)

SEM görüntüyü büyütmek için elektron ışını kullanılmaktadır. SEM'in çözünme gücü dalga boyuna göre değişmektedir. SEM elektron lensleri tarafından odaklanan elektron ışını örneğin üzerini taramakta ve sinyaller görüntü olarak algılanmaktadır. SEM ile örneğin yüzey morfolojisi incelenmektedir (Chescoe ve Goodhew, 1990).

Tez çalışmasında kullanılmak üzere çekilen SEM görüntüleri, Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapılmıştır. SEM görüntüsü için FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı kullanmıştır.

Brunauer-Emmett-Teller (BET) Analizi

Brunauer-Emmett-Teller (BET), farklı sistemlerde absorpsiyon enerjilerinin varyasyonlarını inceleyerek kısmen açıklanabilen, tek tabakalı yoğunlukta ortalama gözenek boyutu ile sistematik varyasyonlar sergilemektedir (Gelb ve Gubbins, 1998).

BET cihazı mikro, mezo veya makro boyutta gözenek içeren toz veya katı numunelerde fiziksel absorbsiyon yöntemiyle gözenek boyutunu ve dağılımının yüksek ve düşük basınçlarda belirlenmesinde kullanılır. Yöntem, numune yüzeyinin tek bir moleküler tabaka ile kaplanması için gerekli gaz miktarının hesaplanması prensibine dayanır. Bu hesaplamada Brunauer Emmett ve Teller teorisi kullanıldığından cihazın yaygın bir diğer ismi BET'tir. Katalizörler, seramikler, mineral ve maden ürünleri, sinterlenmiş malzemeler, yapı malzemeleri, iyon değiştirici reçineler, aktif karbon, zeolit ilaç hammaddeleri, metalurjik tozlar, aşındırıcılar ve polimerler gibi katı ve toz haldeki birçok malzemenin yüzey alanlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Web iletisi 1). Deney Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında, Quantachrome marka, Nova Touch Lx4 model cihazla yapılmıştır.

X-Işını kırınımı (XRD) Grafiği

Kristallerin atomlarının geometrik dağılım ve birbirleri arasındaki uzaklık hakkında bilgi veren X-ışınları kırınımı (XRD), kristal bileşiklerinin kalitatif olarak tanınmasında oldukça kolay bir tekniktir. X-ışınının geçtiği madde elektronları arasında etkileşme sonucu saçılma meydana gelmektedir. Şayet X-ışınları düzenli bir yapıya sahip kristaller tarafından saçılırsa, saçılmayı oluşturan merkezler arasındaki mesafe ve X-ışınının dalga boyuyla aynı düzeyden olduğu için saçılan bu ışınlar pozitif veya negatif yol izlemektedir. Bu izlenilen yol kırınımı meydana getirmektedir (Skoog ve ark., 1996).

Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarlarında yapılan X-Işını kırınımı ölçümleri Bruker marka, Edge 3 model cihazda ölçümleri yapılmıştır. Tarama hızı 20/ dk ve Smoothing faktörü 4'tür.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde mevcut, fabrika üretimi ve bor atığı katkılı numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları ile yapısal karakterizasyonunun belirlenmesi için yapılan işlemler başlıklar halinde sunulmuştur. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak konu tartışılmıştır.

4.1. Mevcut Numunelerin Değerlendirilmesi

Geleneksel olarak elle üretilen mevcut numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları ve SEM, XRD ve BET yöntemleriyle yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Mevcut numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları

Çizelge 4.1'de mevcut numunelere ait donma çözünmeden önce ve donma çözünmeden sonraki basınç değerleri verilmiştir. M1-M6 olarak verilen değerler mevcut numuneleri, ifade etmektedir. Numunelerin donma çözünme deneyine tabi tutulduktan sonra basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. Mevcut numunelerin donma çözünme öncesi ve sonrası basınç değerleri

	Mevcut Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri (MPa)					
	M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**
Basınç Dayanımı	3.0	3.1	2.9	2.6	3.5	2.8
Donma Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	2.4	2.49	2.37	2.05	2.9	2.21

Çizelge 4.2'de geleneksel olarak elle üretilen mevcut numunelere fiziksel farklılıklarının tespiti için yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Standartlara göre fiziksel ve mekanik deneyler için 6 adet mevcut numune kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; mevcut numunelerin özgül ağırlıkları 2.67-2.72 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında, 1.7-2.1 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarı 145-152 gr arasında değişen mevcut numunelerin, porozite oranlarının ise %25.7-%27.4 arasında olduğu tespit edilmiştir. Deney sonucunda en yüksek değerin %22 olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Mevcut numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları

		Mevcut Numunelerin Fiziksel Deney Değerleri (MPa)						
		M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**ORT**
Fiziksel Deneyler	**Özgül Ağırlık (g/cm^3)**	2.72	2.70	2.67	2.70	2.68	2.67	**2,69**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.1	1.7	1.9	1.8	1.8	1.8	**1.85**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	145	150	148	152	146	149	**148.3**
	Porozite (%)	26.9	25.7	26.4	27.3	27.4	26.9	**26.75**
	Donma-Çözünme Etkisi (%)	20	19.6	18	22	20	21	**20.08**
	Aşınma (cm^3)	15.2	15.0	15.1	14.7	14.5	15.2	**14.9**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	0.95	0.96	0.96	----	----	----	**0.95**

Mevcut numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alındığında mevcut numunelerin ortalama özgül ağırlığı 2.69 gr/cm^3, birim hacim ağırlığı 1.85 gr/ cm^3, 3 saat sonundaki kılcal su emme değeri ise 148.3 gr'dir. Ortalama (ORT) porozite değeri %26.75 olan geleneksel olarak elle yapılan mevcut numunenin donma çözünme etkisi ise %20.08'dir. Aşınma deneyine tabi tutulan mevcut numunenin aşınma miktarı 14.9 cm^3 olarak ölçülmüştür. Zaman ve kullanılmışlık gibi parametrelerin mevcut numunelerde basınç dayanımı ve donma-çözünme etkisi özellikleri üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.

4.1.2. Mevcut numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları

Mevcut ve fabrika üretimi numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için;

Basınç Dayanımı (TS EN 772-1, 2012 standardına göre yapılmıştır.)

Eğilmede Çekme Dayanımı deneylerine (TS EN 772-6, 2004 standardına göre yapılmıştır.)

tabi tutulmuş ve tüm numune değerleri Çizelge 4.3' de verilmiştir. M1-M6 olarak verilen değerler mevcut numuneleri ifade etmektedir. Mevcut numunelerin basınç dayanımı 2.6-3.5 MPa arasında değişirken, eğilmede çekme dayanımının 0.37-0.5 MPa arasında olduğu görülmektedir. Ortalama basınç dayanımı 2.98 MPa ile TS 704 standardının (3-5 MPa) altında bir değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Mevcut numuneler üzerinde yapılan mekanik deney sonuçları

		Mevcut Numunelerin Mekanik Deney Değerleri (MPa)						
		M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**ORT**
Mekanik Deneyler	**Basınç Dayanımı**	3.0	3.1	2.9	2.6	3.5	2.8	**2.98**
	Eğilmede Çekme Dayanımı	0.43	0.43	0.41	0.37	0.5	0.4	**0.42**

4.2. Fabrika Üretimi Numunelerin Değerlendirilmesi

4.2.1. Fabrika üretimi numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları

Çizelge 4.4'de fabrikasyon yöntemiyle üretilen numunelere ait donma çözünmeden önce ve donma çözünmeden sonraki basınç değerleri verilmiştir. F1-F6 olarak simgelenen numuneler fabrikasyon üretimi olan numuneleri ifade etmektedir. Tüm numunelerin donma çözünme deneyine tabi tutulduktan sonra basınç dayanımlarında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Fabrika üretimi numunelerin donma çözünme öncesi ve sonrası basınç değerleri.

	Fabrika Üretimi Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri (MPa)					
	F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**
Basınç Dayanımı	4.5	4.5	4.3	4.5	4.5	4.4
Donma Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	3.8	3.8	3.6	3.8	3.8	3.7

Çizelge 4.5'de fabrika üretimi numuneler üzerinde fiziksel farklılıkların tespiti için yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. Standartlara göre fiziksel ve mekanik deneyler için 6 adet fabrikasyon yöntemiyle üretilen numuneler kullanılmıştır. F1-F6 olarak verilen numuneler fabrikasyon üretimi olan numuneleri ifade etmektedir.

Çizelge 4.5. Fabrika Üretimi numuneler üzerinde fiziksel deney sonuçları

		Fabrika Üretimi Numunelerin Fiziksel Deney Değerleri (MPa)						
		F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**ORT**
Fiziksel Deneyler	**Özgül Ağırlık (g/cm^3)**	3.10	3.13	3.12	3.13	3.13	3.10	**3.15**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.2	2.1	2.,2	2,2	2.1	2.2	**2.1**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	95	100	97	102	102	100	**99**
	Porozite (%)	22.1	22.0	22.4	22.1	22.3	22.3	**22.20**
	Donma-Çözünme Etkisi (%)	15	15	15	15	15	15	**15**
	Aşınma (cm^3)	11.3	11.3	11.4	11.3	11.2	11.2	**11.2**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.08	1.07	1.07	----	----	----	**1.07**

Elde edilen sonuçlara göre; fabrika üretimi numunelerin özgül ağırlıkları 3.10-3.23 gr/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlıkları 2.1-2.2 gr/cm^3, kılcal su emme miktarı 95-102 gr arasında olduğu, porozite oranlarının ise %22.0-22.4 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi değerinin %15 olduğu tespit edilmiştir. Aşınma miktarı 11.2-11.4 cm^3 arasında değişirken, ısı iletim katsayısının yaklaşık 1.07 W/mK olduğu görülmüştür. Numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlara baktığımızda; fabrika üretimi numunelerin ortalama birim hacim ağırlığının 2.1 gr/cm^3, kılcal su emme değerinin 99 gr, porozitesinin ise %22.20 olduğu tespit edilmiştir. Aşınma deneyi sonucunda ortalama aşınma miktarı 11.2 cm^3 bulunurken, ısı iletim katsayısının ortalama 1.07 W/mK olduğu görülmüştür.

4.2.2. Fabrika üretimi numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları

Fabrika üretimi numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için;

Basınç Dayanımı (TS EN 772-1, 2012 standardına göre yapılmıştır.)

Eğilmede Çekme Dayanımı (TS EN 772-6, 2004 standardına göre yapılmıştır.)

deneylerine tabi tutulmuş ve tüm numune değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Fabrika üretimi numunelerin basınç dayanım değerleri 4.3-4.5 MPa arasında değişmektedir. Ayrıca eğilmede çekme dayanımına baktığımızda değerlerin 0.61-0.65 arasında olduğu görülmektedir. Deney sonucuna göre fabrika üretimi numunelerin tümünün basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı standardı ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Fabrika üretimi numuneler üzerinde yapılan mekanik deney değerleri

		Fabrika Üretimi Numunelerin Mekanik Deney Değerleri (MPa)						
		F1	**F2**	**F3**	**F4**	**F5**	**F6**	**ORT**
Mekanik Deneyler	**Basınç Dayanımı**	4.5	4.5	4.3	4.5	4.5	4.4	**4.5**
	Eğilmede Çekme Dayanımı	0.65	0.65	0.61	0.65	0.65	0.64	**0.64**

Fabrika üretimi numunelere uygulanan mekanik deney değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunan ortalama basınç dayanımının ve eğilmede çekme dayanımında standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

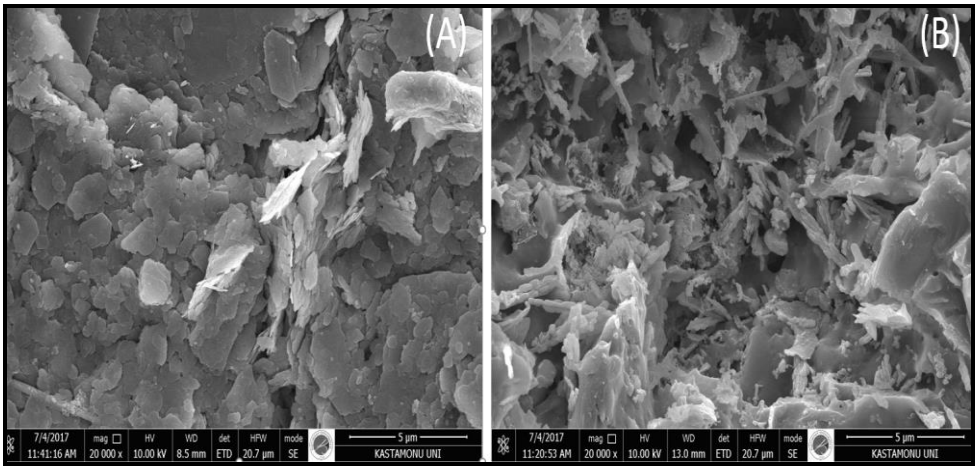
4.3. Mevcut ve fabrika üretimi numunelerin SEM, XRD ve BET değerleri

4.3.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri

Bir malzemede aranan en önemli özellik porlu yapının düzenli ve kristal yapıda olmasıdır. Şekil 4.1A' da fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlasının düzenli, lifli, grain (katmanlı) ve mikro porlu yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca malzemenin kristal yapısında görülen grainlerin homojen ve çok ince katmanlı "leaf like" yapılar olduğu gözlenmektedir. Fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlası verilen SEM görüntüsüne göre uzun süre homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Bu da basınca karşı dayanımının artmasını sağlamaktadır.

Şekil 4.1B'de SEM görüntüsü verilen geleneksel yöntemle üretilen numunenin porozitesinin fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlasına göre yüksek makro porlu ve düzensiz kristal yapısında olduğu göstermektedir. Geleneksel yöntemle üretilen ve eşit sıcaklıkta ısıl işlem görmeyen numunelerin grain yapısı kırılgan olmaktadır. Bu durum malzemenin basınç dayanımını da azaltacağı bir gerçektir. Geleneksel yöntemle üretilen numunelerde malzeme uzun süre karıştırılmalıdır. Çünkü homojen karıştırma sayesinde sinterleme öncesi numunenin çok daha homojen olacağı açıktır. Ancak geleneksel yöntemde açık havada uzun süre karıştırmadan kaçınmak amacıyla çoğu zaman sinterleme öncesi malzeme hamuru yeteri kadar homojen olmadan işlem kesilmekte ve sinterleme sürecine gidilmektedir. Ayrıca geleneksel yöntemde hamurun sinterleme adını

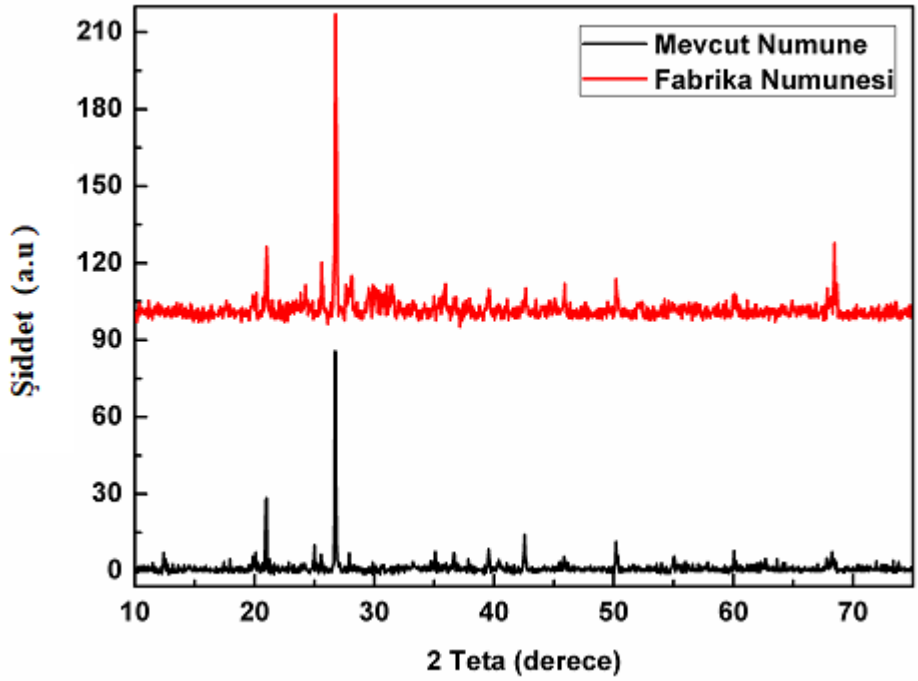
da verdiğimiz ısıl işlem uygulanması sırasında yakma işlemine çok dikkat edilmeli, zamandan tasarruf etmek amacıyla yakma işlemi kısa sürdürülmemelidir.



Şekil 4.1. A) Fabrikasyon ve B) Geleneksel yöntemlerle üretilen harman tuğlalarının SEM görüntüsü

4.3.2. XRD (X-Işını Kırınım) analizleri

Numunelerin X-Işınları kırınımı sonuçlarına göre, mevcut numune ile fabrika üretimi numune arasında pikler hemen hemen eşit 2 Teta değerlerinde çıkmıştır. Ana pikin 2 Teta değerlerine bakıldığında her iki numunenin 2 Teta değerleri 26.83 derece olarak saptanmıştır. Diğer değerler de aynı dereceler üzerinde çakışmaktadır. Her iki numunenin şiddet ölçülerine bakıldığında fabrika üretimi numune hemen hemen her pikte mevcut numunenin daha üst değerlerinde yer almış, yani şiddeti daha üstündür. Yine ana piklerdeki şiddet değerlerine bakıldığında mevcut numunenin ana piki yaklaşık 85.57 birimlik şiddet gösterirken, fabrika üretimi numunede bu değer yaklaşık 116.97 birime kadar ulaşmıştır. Bu durum fabrika üretimi numunenin kristal yapısının mevcut numunenin kristal yapısından daha güçlü olduğunu göstermektedir (Şekil 4.2).

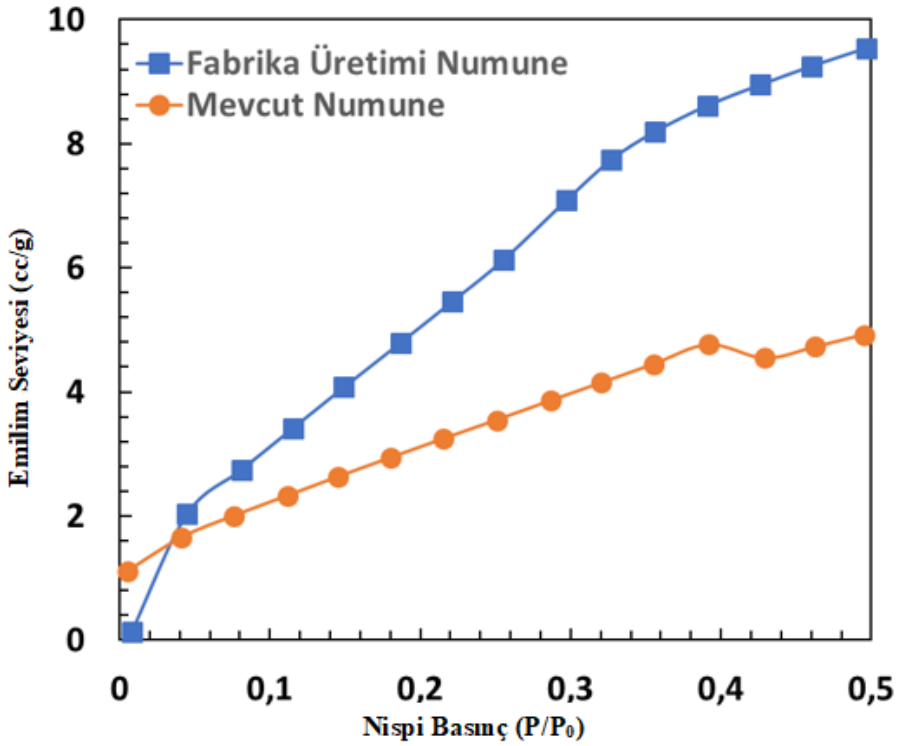


Şekil 4.2. Mevcut ve fabrika üretimi numunelerin XRD görüntüsü

4.3.3. BET (Brunauer-Emmett-Teller) analizleri

BET analizleri gözenekli yapı içeren katıların yüzey alanlarını, boşluk hacimlerini ve dağılımlarını ölçmek için kullanılmaktadır. BET uygulamalarında, sıvı azot, azot ve helyum gazları kullanılmaktadır. Geleneksel el yapımı harman tuğlaları ve fabrikasyon yöntemleri kullanılarak üretilen numuneler, Quantachrome ToucWin marka model cihazla alınmıştır. Taşıyıcı gaz olarak 77.35 K sıcaklığında sıvı azot gazı kullanılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 4.3'de verilmektedir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde; adsorpsiyon eğrileri neredeyse lineer bir doğru olarak görülmektedir. Sonuçlar SEM sonuçlarıyla tamamen benzerlik gösterdiği görülmektedir. Fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlası örneklerinde yüzey alanı 28.96 m^2/g iken geleneksel yöntemle üretilen numunelerin yüzey alanı 13.77 m^2/g olarak ölçülmüştür. Buradan görüleceği üzere fabrikasyon yöntemi ile harman tuğlalarının yapısındaki gram başına yüzey alanı geleneksel olarak elle üretilenden iki kattan daha fazladır. Şekil 4.3'de de görüleceği üzere fabrikasyon yöntemi ile üretilen örneklerin yüzey alanı mikro porlardan makro porlara kadar belirli bir düzen halinde olduğu görülmekte, ancak geleneksel yöntemdeki porlarda mikro porlara rastlanılmamıştır. Porlar makropor niteliğindedir. Bu durum doğrusal nitelikte olan adsopsiyon eğrilerinin sıfır basınçtaki kesişim noktasında da görülmektedir. Diğer bir deyişle fabrikasyon yöntemi ile üretilen doğrusal eğrinin kesişim

noktası 1.5 cm^3/g iken geleneksel yöntemle el yapımı olarak üretilen numune eğrisinin başlangıç noktası çok düşük basınçlarda sıfır cm^3/g olarak görülmektedir. Buradan da görüleceği üzere fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlaları hem çok küçük basınçlarda görülen çok miktarda mikropor yapıya, hem de belirli bir basınçtan sonra görülen fazla miktarda makro porlu düzenli yapıya sahiptir. Başka bir deyişle, fabrikasyon harman tuğlaları geleneksel yöntemle üretilen numune örneklerine göre çok daha üstün nitelikli por yapısına sahip olup, çok daha güçlü mekanik özellik gösterirler.



Şekil 4.3. Mevcut ve Fabrika üretimi numunelere ait BET grafiği

4.4. Bor Atığı Katkılı Numunelerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde bor atığı katkılı harman tuğlaların fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon özelliklerini belirlemek için yapılan işlemler sonucu bulunan değerler başlıklar halinde sunulmuştur.

4.4.1. Bor atığı katkılı numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçları

Çizelge 4.7'de bor atığı katkılı (BAK) ve referans numunelere ait donma-çözünmeden önce ve donma-çözünmeden sonraki basınç değerleri verilmiştir. REF; referans numunesini, %2 BAK; %2 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %4 BAK; %4

oranında bor atığı katkılı numuneleri, %6 BAK; %6 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %8 BAK; %8 oranında bor atığı katkılı numuneleri, %10 BAK; %10 oranında bor atığı katkılı numuneleri ifade etmektedir. N1-N6 numune sayılarını göstermektedir.

Numuneler donma-çözünme deneyine tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımlarına bakıldığında; harman tuğlaya katkı maddesi olarak ilave edilen bor atığının artması ile üretilen numunelerin basınç dayanımında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni pişirme sırasında camsı faza geçen bor atığı miktarının artmasıyla donma çözünme sonrasında kırılgan bir yapıya dönüşerek basınç dayanımını düşürmesi olarak açıklanabilmektedir. %2 ve %4 katkı oranlarında donma-çözülme deneyi sonucundaki dayanım kaybı miktarı referans numunesine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, düşük katkı oranlarında bor atığı katkı malzemesinin kullanılması donma–çözülme dayanımını olumsuz yönde etkilemeyeceği görülmektedir (Akyıldız, 2012).

Çizelge 4.7. BAK ve Referans numunelerin donma-çözünme sonucu basınç değerleri.

		BAK Numune Değerleri (MPa)					
		N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**
Basınç Dayanımı	**REF**	4.50	4.50	4.30	4.50	4.50	4.40
	BAK%2	4.57	4.54	4.40	4.6	4.62	4.57
	BAK %4	4.60	4.62	4.55	4.62	4.65	4.65
	BAK %6	4.69	4.67	4.65	4.70	4.72	4.70
	BAK %8	5.90	5.92	5.94	5.92	6.0	6.0
	BAK %10	4.82	4.88	4.84	4.86	4.90	4.88
Donma-Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	**REF**	3.83	3.85	3.82	3.82	3.83	3.84
	BAK%2	3.81	3.84	3.80	3.82	3.79	3.79
	BAK %4	3.79	3.80	3.79	3.81	3.79	3.79
	BAK %6	3.78	3.79	3.78	3.79	3.77	3.78
	BAK %8	3.76	3.75	3.78	3.76	3.77	3.75
	BAK %10	3.78	3.80	3.79	3.80	3.78	3.79

Çizelge 4.8'de referans numunelere uygulanan donma çözünme deneyi sonrası numunelerin basınç dayanımlarının aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tabloya bakıldığında; BAK numunelerin donma çözünme sonrası basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Bu azalma miktarının %8 BAK numunelerde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Numune üretiminde kullanılan bor atığı katkısının donma-çözünmenin basınç üzerindeki etkisinin olumsuz yönde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.8. BAK ve Referans numunelerin donma-çözünme sonra ortalama basınç değerleri.

	BAK Numune Değerleri (MPa)					
	REF	%2 BAK	%4 BAK	%6 BAK	%8 BAK	%10 BAK
Basınç Dayanımı	4.45	4.55	4.61	4.68	5.94	4.86
Donma Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	3.83	3.81	3.79	3.78	3.76	3.78

Çizelge 4.9'da referans numuneler üzerinde fiziksel farklılıkların tespiti için yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. REF1-REF6 üretilen referans numunelerini ifade etmektedir. Türk Standartları baz alınarak yapılan fiziksel deneyler için 48 adet referans numunesi kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre; referans numunelerin özgül ağırlıkları 3.01-3.23 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 2.1-2.2 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 98-102 gr arasında olduğu, Porozite oranlarının %21.8-22.5 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi en yüksek %13.8 iken, aşınma miktarının 11.1-11.5 cm^3 arasında olduğu tespit edilmiştir. Referans numunelerin ısı iletim katsayısına bakıldığında 1.07-1.08 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.9. Referans numuneler üzerinde uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları

		Referans Numune Değerleri						
		REF1	**REF2**	**REF3**	**REF4**	**REF5**	**REF6**	**ORT**
Fiziksel Deneyler	**Özgül Ağırlık (g/cm^3)**	3.12	3.15	3.20	3.16	3.01	3.23	**3.11**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.2	**2.15**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	98	102	98	100	98	99	**99.16**
	Porozite (%)	22.2	22.1	21.8	21.8	22.5	22.2	**21.1**
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	13.9	13.8	13.8	14.0	13.9	14.0	**13.9**
	Aşınma (cm^3)	11.4	11.5	11.4	11.3	11.1	11.2	**11.31**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.07	1.08	1.07	----	----	----	**1.07**

Not: Katı cisimlerde ısı iletim katsayısı tayini deneyi 3 numune üzerinde yapılmıştır.

Referans numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen ortalama değerlere bakıldığında; özgül ağırlığının 3.11 g/cm^3, birim hacim ağırlığının 2.15 g/cm^3, Kılcal su emme miktarının 99.16 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin ise %13.9 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10'da %2 BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; %2 oranında BAK numunelerin özgül ağırlıkları 3.09-3.11 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 2.09-2.15 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 98.3-98.8 gr arasında olduğu, porozite oranlarının yüzde 21.7-22.1 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi %16.22-16.30 arasında değişirken, aşınma miktarının 10.8-11.2 cm^3 olduğu tespit edilmiştir. %2 bor atığı katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının 1.04-1.05 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.10. %2 oranında BAK numunelerin fiziksel deneylerin sonuçları

		%2 BAK Numune Değerleri						
		%2BAK (1)	%2BAK (2)	%2BAK (3)	%2BAK (4)	%2BAK (5)	%2BAK (6)	ORT
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.10	3.09	3.10	3.10	3.11	3.10	**3.10**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.12	2.15	2.09	2.12	2.11	2.13	**2.12**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	98.5	98.3	98.8	98.5	98.7	98.3	**98.5**
	Porozite (%)	21.9	21.8	22.0	21.9	22.1	21.7	**21.9**
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	16.22	16.26	16.26	16.30	16.25	16.27	**16.26**
	Aşınma (cm^3)	10.8	11.0	11.0	11.2	10.9	11.1	**11.0**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.05	1.04	1.05	---	---	---	**1.05**

%2 oranında BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlara bakıldığında; üretilen numunelerin özgül ağırlığının 3.14 g/cm^3, birim hacim ağırlığının 2.16 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 16.26 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin ise %16.26 olduğu görülmektedir. Referans numunesi ile kıyaslandığında; özgül ağırlık ve suya doygun birim hacim ağırlığının arttığı, kılcal su emme ve porozite değerlerinin azaldığı görülmektedir. Harman tuğlası numunelerine %2 oranında bor atığı ikame edip donma çözünme deneyine tabi tutulduğunda, referans numuneye oranla dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11'de %4 BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları sunulmuştur. Deney verilerine göre; %4 oranında bor atığı katkılı numunelerin özgül ağırlıkları 3.05-3.09 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 2.06-2.12 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 96.5-97.5 gr arasında olduğu, porozite oranlarının yüzde 21.6-21.8 arasında

değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi en yüksek %17.81 iken, aşınma miktarının 10.9 cm^3 olduğu tespit edilmiştir. %4 bor atığı katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının 1.03 W/mK olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.11. %4 oranında BAK numunelerin fiziksel deney sonuçları

		%4 BAK Numune Değerleri						
		%4BAK (1)	%4BAK (2)	%4BAK (3)	%4BAK (4)	%4BAK (5)	%4BAK (6)	ORT
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.08	3.09	3.07	3.05	3.07	3.06	**3.07**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.08	2.10	2.07	2.12	2.06	2.10	**2.08**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	97.0	96.6	96,5	97.4	97.5	97.0	**97**
	Porozite (%)	21.7	21.6	21.7	21.8	21.8	21.6	**21.7**
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	17.75	17.75	17.81	17.78	17.78	17.81	**17.78**
	Aşınma (cm^3)	10.5	10.7	10.9	10.9	10.5	10.7	**10.7**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.03	1.03	1.03	---	---	---	**1.03**

%4 oranında BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlara bakıldığında; %4 oranında bor atığı ikame edilen numunelerin ortalama özgül ağırlığının 3.07 g/cm^3, birim hacim ağırlığının 2.08 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 97 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin %17.78 olduğu görülmektedir. %4 BAK numuneler referans numuneleri ile kıyaslandığında; özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık ve porozite değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca porozite oranının azalmasına paralel olarak kılcal su emme miktarında da azalma olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.12'de %6 BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları sunulmuştur. Bulgulara göre; %6 oranında BAK numunelerin özgül ağırlıkları 3.0-3.06 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 2.01-2.08 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 95.6-96.0 gr arasında olduğu, porozite oranlarının yüzde 21.0-21.3 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi en yüksek %19.25 değer iken, aşınma miktarının 10.6 cm^3 olduğu tespit edilmiştir. %6 bor atığı katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının 1.01-1.02 W/mK arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 4.12. %6 BAK numunelerin fiziksel deney sonuçları

		%6 BAK Numune Değerleri						
		%6BAK (1)	%6BAK (2)	%6BAK (3)	%6BAK (4)	%6BAK (5)	%6BAK (6)	ORT
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.04	3.06	3.0	3.02	3.03	3.03	3.03
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.06	2.01	2.05	2.08	2.04	2.05	2.06
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	95.8	95.6	95.8	96.0	95.8	95.8	95.8
	Porozite (%)	21.2	21.0	21.3	21.3	21.2	21.2	21.2
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	19.25	19.25	19.21	19.23	19.23	19.21	19.23
	Aşınma (cm^3)	10.3	10.0	10.4	10.6	10.3	10.2	10.03
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.01	1.02	1.02	---	---	---	1.02

%6 oranında BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak edinilen verilere göre; %6 oranında bor atığı ikame edilen numunelerin ortalama özgül ağırlığının 3.03 g/cm^3, birim hacim ağırlığının 2.06 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 95.8 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin ise %19.23 olduğu görülmektedir. Referans numuneleri ile kıyaslandığında; özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık ve porozite değerlerinin azaldığı görülürken, kılcal su emme miktarının azaldığı görülmektedir. Kılcal su emme miktarının azalması dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğlanın bünyesine daha az su alması, dolayısıyla çimlenme ve rutubet oluşmaması anlamına gelmektedir. Bu durum kullanıcı konfor şartlarını olumlu yönde etkilemekte aynı zamanda bina ömrünü de uzatmaktadır.

Çizelge 4.13'de %8 BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları sunulmuştur. Elde edilen verilere göre; %8 oranında BAK numunelerin özgül ağırlıkları 2.98-3.04 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 1.95-2.02 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 93.7-94.4 gr arasında olduğu, porozite oranlarının yüzde 20.6-21.0 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi %36.36-37.50 arasında değişirken, aşınma miktarının 9.5-9.7 cm^3 olduğu gözlenmiştir. %8 BAK numunelerin ısı iletim katsayısının 0.97-0.98 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.13. %8 BAK numunelerin fiziksel deney sonuçları

		%8 BAK Numune Değerleri						
		%8BAK (1)	%8BAK (2)	%8BAK (3)	%8BAK (4)	%8BAK (5)	%8BAK (6)	ORT
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	3.01	2.98	3.03	3.04	3.01	2.99	**3.01**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	2.0	1.97	2.0	2.02	1.98	1.95	**2.0**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	94.0	94.0	93.7	94.0	94.0	94.4	**94**
	Porozite (%)	20.8	20.8	21.0	20.8	20.6	20.8	**20.8**
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	36.62	36.65	36.36	36.48	37.16	37.50	**36.78**
	Aşınma (cm^3)	9.6	9.6	9.5	9.6	9.7	9.6	**9.6**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	0.98	0.97	0.98	---	---	---	**0.98**

%8 oranında BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlara bakıldığında; numunelerin ortalama özgül ağırlığının 3.01 g/cm^3, birim hacim ağırlığının 2.0 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 94 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin ise %19.18 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14'de %10 BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin sonuçları sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre; %10 oranında BAK numunelerin özgül ağırlıkları 2.95-3.0 gr/cm^3 arasındadır. Suya doygun birim hacim ağırlıklarına bakıldığında değerin 1.75-1.85 gr/cm^3 arasında değiştiği görülmektedir. Kılcal su emme miktarının 96.0-96.4 gr arasında olduğu, porozite oranlarının yüzde 21.9-22.1 arasında değiştiği görülmektedir. Donma çözünme etkisi en yüksek %22.85 iken, aşınma miktarının 10.2 cm^3 olduğu tespit edilmiştir. %10 bor atığı katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının 1.00-1.01 W/mK arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. %10 BAK numunelerin fiziksel deney sonuçları

		%10 Bor Atığı Katkılı (BAK) Numune Değerleri						
		%10BAK (1)	%10BAK (2)	%10BAK (3)	%10BAK (4)	%10BAK (5)	%10BAK (6)	ORT
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2.98	3.0	2.98	2.98	2.98	2.95	**2.98**
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	1.80	1.85	1.79	1.75	1.81	1.80	**1.8**
	Kılcal Su Emme Miktarı (Kapilarite) (gr)	96.2	96.4	96.2	96.2	96.0	96.2	**92.2**
	Porozite (%)	22.0	21.9	22.1	22.0	22.1	21.9	**22.0**
	Donma-Çözünmenin Basınç Üzerine Etkisi (%)	21.57	22.13	21.69	22.63	22.85	22.33	**22.2**
	Aşınma (cm^3)	10.2	10.1	10.1	10.0	10.1	10.1	**10.1**
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)	1.01	1.01	1.00	---	---	---	**1.01**

%10 oranında BAK numunelere uygulanan fiziksel deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlara bakıldığında; numunelerin ortalama özgül ağırlığının 2.98 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1.8 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 96.2 gr, donma-çözünmenin basınç üzerine etkisinin ise %29.01 olduğu görülmektedir.

4.4.2. Bor atığı katkılı numunelere uygulanan mekanik deney sonuçları

Bor atığı katkılı üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için;

Basınç dayanımı deneyleri (TS EN 772-1, 2012 standardına göre)

Eğilmede çekme dayanımı deneyleri (TS EN 772-6, 2004 standardına göre uygulanmıştır.)

tüm numune değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir. N1-N6 olarak verilen simgeler üretilen numuneleri ifade etmektedir. Referans numunelerin basınç dayanımı 4.3-4.5 MPa, arasında değişirken, %2 oranında BAK numunelerin 4.40-4.62 MPa, %4 oranında BAK numunelerin 4.55-4.65 MPa, %6 oranında BAK numunelerin 4.65-4.72 MPa, %8 oranında BAK numunelerin 5.90-6.0 MPa, %10 oranında BAK numunelerin 4.82-4.90 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Eğilmede çekme dayanımına bakıldığında; referans numunelerin basınç dayanımı 0.61-0.65 MPa, arasında değişirken, %2 oranında BAK numunelerin 0.57-0.63 MPa, %4 oranında BAK numunelerin 0.49-0.55 MPa, %6 oranında BAK numunelerin 0.48-0.51 MPa, %8 oranında BAK numunelerin 0.40-0.48 MPa, %10 oranında BAK numunelerin 0.46-0.54 MPa arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15. Numuneler üzerinde yapılan mekanik deney sonuçları

			Numune Değerleri (MPa)					
			N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**	**N6**
Mekanik Deneyler	**Referans Numune**	**Basınç Dayanımı**	4.5	4.5	4.3	4.5	4.5	4.4
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.65	0.65	0.61	0.65	0.65	0.64
	%2 BAK Numune	**Basınç Dayanımı**	4.57	4.54	4.40	4.6	4.62	4.57
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.60	0.60	0.61	0.59	0.57	0.63
	%4 BAK Numune	**Basınç Dayanımı**	4.60	4.62	4.55	4.62	4.65	4.65
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.52	0.55	0.53	0.52	0.49	0.51
	%6 BAK Numune	**Basınç Dayanımı**	4.69	4.67	4.65	4.70	4.72	4.70
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.48	0.49	0.51	0.48	0.50	0.49
	%8 BAK Numune	**Basınç Dayanımı**	5.90	5.92	5.94	5.92	6.0	6.0
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.44	0.43	0.40	0.48	0.45	0.44
	%10 BAK Numune	**Basınç Dayanımı**	4.82	4.88	4.84	4.86	4.90	4.88
		Eğilmede Çekme Dayanımı	0.50	0.54	0.50	0.48	0.52	0.46

Çizelge 4.16'de numuneler üzerinde uygulanan mekanik deneylerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tabloya bakıldığında; referans numunelerin ortalama basınç dayanımının 4.45 MPa, %2 oranında BAK numune değerinin 4.55 MPa, %4 oranında BAK numune değerinin 4.61 MPa, %6 oranında BAK numune değerinin 4.68 MPa, %8 oranında BAK numune değerinin 5.94 MPa, %10 oranında BAK numune değerinin 4.86 MPa olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. Numuneler üzerinde yapılan mekanik deney sonuçlarının ortalaması

		Numune Değerleri (MPa)					
		REF	**%2BAK**	**%4BAK**	**%6BAK**	**%8BAK**	**%10BAK**
Mekanik Deneyler	**Basınç Dayanımı**	4.45	4.55	4.61	4.68	5.94	4.86
	Eğilmede Çekme Dayanımı	0.64	0.60	0.52	0.48	0.44	0.50

4.5. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.5.1. Fiziksel deneylerin karşılaştırılması

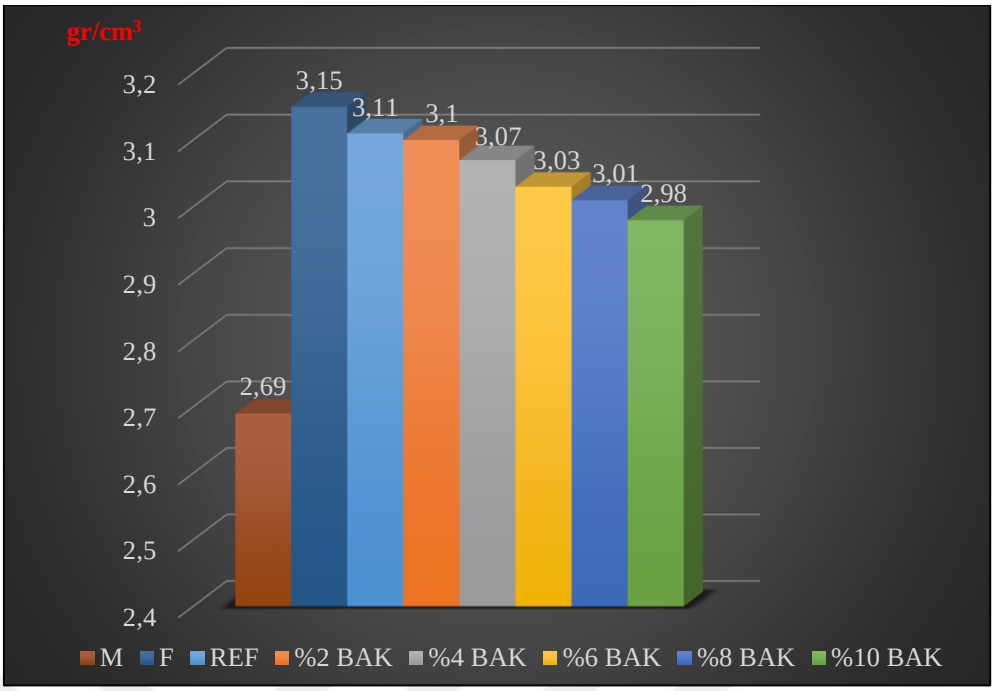
Bu bölümde geleneksel olarak el yöntemiyle, fabrikasyon yöntemiyle, referans ve BAK üretilen harman tuğlaların fiziksel farklılıklarının tespiti için yapılan deneylerin karşılaştırması yapılmıştır (Çizelge 4.17). Çizelgede bor atığı miktarı artmasıyla numunelerin özgül ağırlığının ve suya doygun birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Diğer deneylerde ise en iyi sonuç %8 oranında BAK ile elde edilmiştir.

Çizelge 4.17. Numunelere uygulanan fiziksel deney sonuçlarının karşılaştırılması

	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	Kılcal Su Emme (gr)	Porozite (%)	Donma-Çözünme Etkisi (%)	Aşınma (cm^3)	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini (W/mK)
M	2.69	1.85	148.3	26.75	20.08	14.9	0.95
F	3.15	2.1	99	22.20	15	11.2	1.07
REF	3.11	2,15	99,16	22,1	15,45	11,31	1,07
%2 BAK	3.10	2,12	98,5	21,9	16,26	11,0	1,05
%4 BAK	3.07	2,08	97	21,7	17,78	10,7	1,03
%6 BAK	3.03	2,06	95,8	21,2	19,23	10,3	1,02
%8 BAK	3.01	2,0	**94**	**20,8**	**36,78**	**9,6**	**0,98**
%10 BAK	2.98	1,8	96,2	22,0	22,2	10,1	1,01

4.5.1.1. Özgül ağırlık

Şekil 4.4'de geleneksel yöntemle üretilen mevcut numune (M), fabrika üretimi numune (F), referans (REF) ve bor atığı katkılı (%2, %4, %6, %8, %10) numunelerin özgül ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Grafik incelendiğinde; geleneksel olarak elle üretilen harman tuğlanın özgül ağırlığı diğer numunelere oranla daha düşüktür. En yüksek özgül ağırlığa sahip fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlası numunesinin özgül ağırlığı, referans numunesine çok yakın bir değerde olduğu görülmüştür. BAK numunelere baktığımızda, %2 oranında BAK numunelerin özgül ağırlığı diğer katkılı numunelerle kıyaslandığında daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bor atığı katkı oranının artması harman tuğlada özgül ağırlığın düşmesine neden olmaktadır.

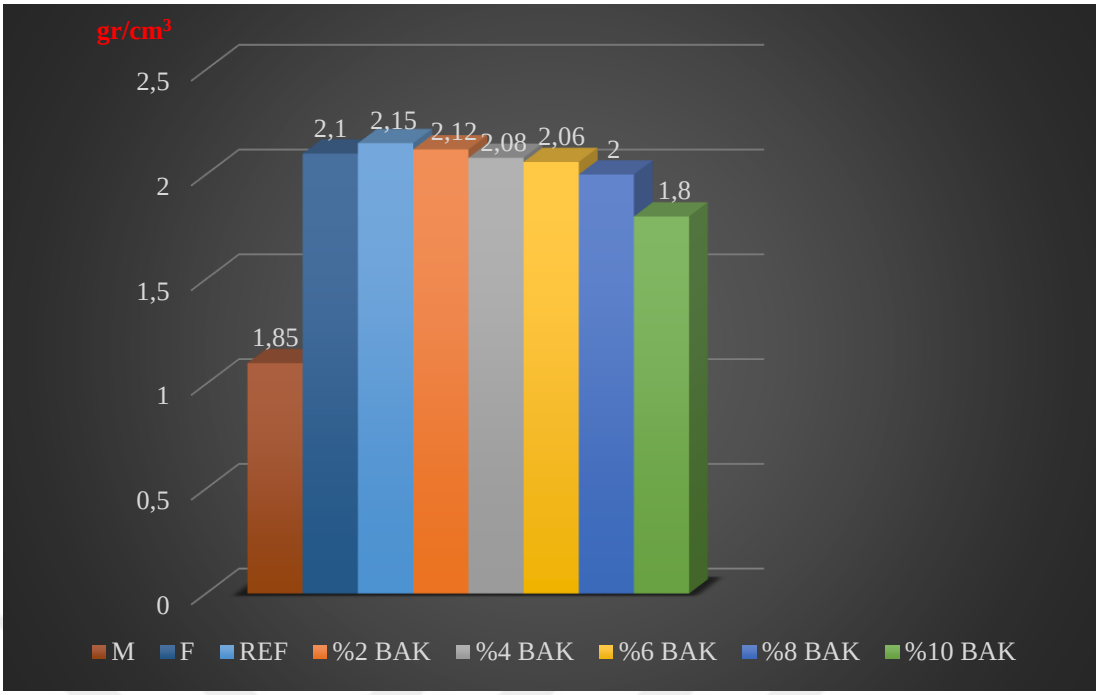


Şekil 4.4. Numunelerin özgül ağırlıklarının karşılaştırılması

Uslu ve Arol (2004) ve Elbeyli ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada tuğla numunesine %10 oranında bor atığı katkısının özgül ağırlığının referans numuneye oranla azaldığını bildirmişlerdir. Buldukları sonuç çalışma ile örtüşmekte ve desteklemektedir.

4.5.1.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

Suya doygun birim hacim ağırlık deneyi sonucunda elde edilen numune değerleri Şekil 4.5'de verilmiştir. Geleneksel yöntemle üretilen mevcut numunenin suya doygun birim hacim ağırlığının 1.85 g/cm^3 fabrika üretimi harman tuğlası numunelerine 2.1 g/cm^3 oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fabrikasyon üretimi ve deney kapsamında üretilen referans numunenin suya doygun birim hacim ağırlıkları birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür. BAK numunelerde bor atığının katkı yüzdesi arttıkça bu artışa ters orantılı olarak suya doygun birim hacim ağırlığında azalma meydana gelmiştir. En iyi sonuç %10 bor atığı katkılı harman tuğlası numunelerinden elde edilmiştir. Bu durum atmosfer şartlarına maruz kalacak dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılacak harman tuğlası numunelerinin, yağmur ve kar sularına karşı daha dayanıklı olacağını göstermektedir.



Şekil 4.5. Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

Radivojević ve Dervissis (2001) yaptıkları çalışmada tarihi yapılardaki tuğlaların birim hacim ağırlıklarının 1.67-1.85 gr/cm^3 arasında olduğunu, Böke ve ark. (2006), Osmanlı dönemine ait tuğlaların birim hacim ağırlıklarının 1.7-1.8 gr/cm^3 arasında elde etmişlerdir. Bulunan bu değerler tez çalışması kapsamında kullanılan geleneksel yöntemle üretilen harman tuğlanın birim hacim ağırlığı sonuçlarını desteklemektedir.

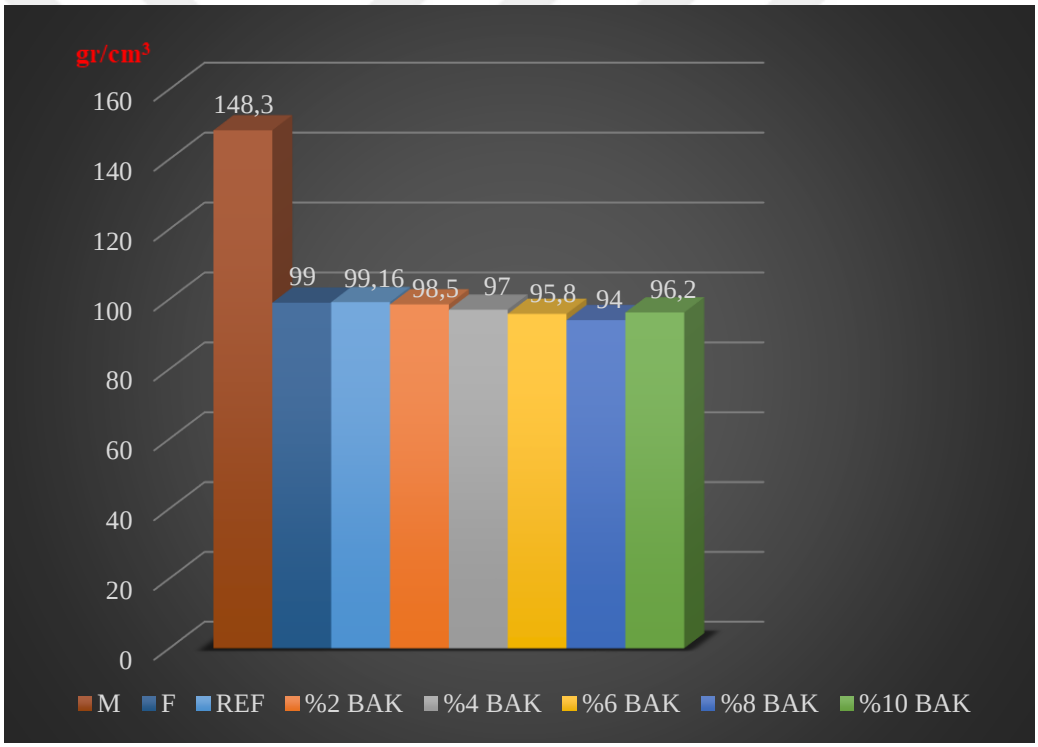
Akyıldız (2012) bor atığı katkılı beton üretiminde %6 oranında bor atığı katkısının birim hacim ağırlığını düşürdüğünü bildirmiştir. Bulunan bu sonucun çalışmayı desteklediği görülmektedir.

4.5.1.3.Kılcal su emme

Malzemelerin kılcal su emme miktarı bünyelerindeki boşluk oranı ile ilişkilidir. Katı ve düzenli bir yapıda olan yapı malzemelerinin içyapılarında gözle görülebilen ya da görülemeyen kılcal boşluklar bulunmaktadır (Akyıldız, 2012). Geleneksel olarak el yöntemiyle, fabrikasyon yöntemiyle, referans ve BAK üretilen numuneler üzerinde yapılan kılcal su emme deneyi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Geleneksel olarak elle üretilen mevcut numunenin kılcal su emme miktarının diğer numunelere oranla yüksek olduğu görülmektedir. Fabrika üretimi, referans ve bor katkılı numunelerin kılcal su emme oranları birbirine yakın değerler olduğu tespit edilmiştir. %8 oranla bor atığı ilave edilerek hazırlanan numunenin kılcal su emme

miktarının en az olduğu gözlenmiştir. Katkı oranı %2-%8 oranları arasında azalırken, %10 BAK numunelerde kılcal su emme oranı artmaya başlamıştır. Yani kılcal su emme deney sonucuna göre optimum bor atığı ikame oranının %8 olduğu tespit edilmiştir. BAK numuneler optimum pişirme sıcaklığı olan 900 ° C' de (Uslu ve Arol, 2004; Kavas, 2006) pişirildiğinde bor atığı numune içerisinde camsı faz oluşturmaktadır. Bu camsı kütle oluşumunun gözenekleri doldurup veya bloke edip, dolayısıyla su emme oranını düşürdüğü tespit edilmiştir. Yani porozitede meydana gelen artış veya azalış aynı şekilde kılcal su emme miktarını da etkilemektedir. Bor atığı katkısı dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılmayı planlanan harman tuğlası için olumlu yönde etki sağlamaktadır. Yağmur, kar gibi atmosfer şartlarına maruz kalan numunelerin kılcal su emme miktarını azalmasıyla yapı içi konfor şartlarının iyileştirilmesi sağlanacaktır.



Şekil 4.6. Numunelerin kılcal su emme miktarlarının karşılaştırılması

Abalı ve ark. (2007), %1, %3, %5 oranlarında bor atığı kullanılmasıyla katkı oranının artmasıyla su emiliminin azaldığını, %10 oranında bor atığı katkısının su emilimini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Özkan (2017) çalışmasında %5, %10, %15, %20 oranında bor atığı kullanmış, %0 ile %10 arasına kadar su emiliminde azalma olduğunu, %10 dan sonra artış olduğunu bulmuştur.

Kavas ve Emrullahoğlu (1999) çalışmasında bor atığı ilavesinin tuğla malzemesinde su emme miktarını azalttığını tespit etmiştir

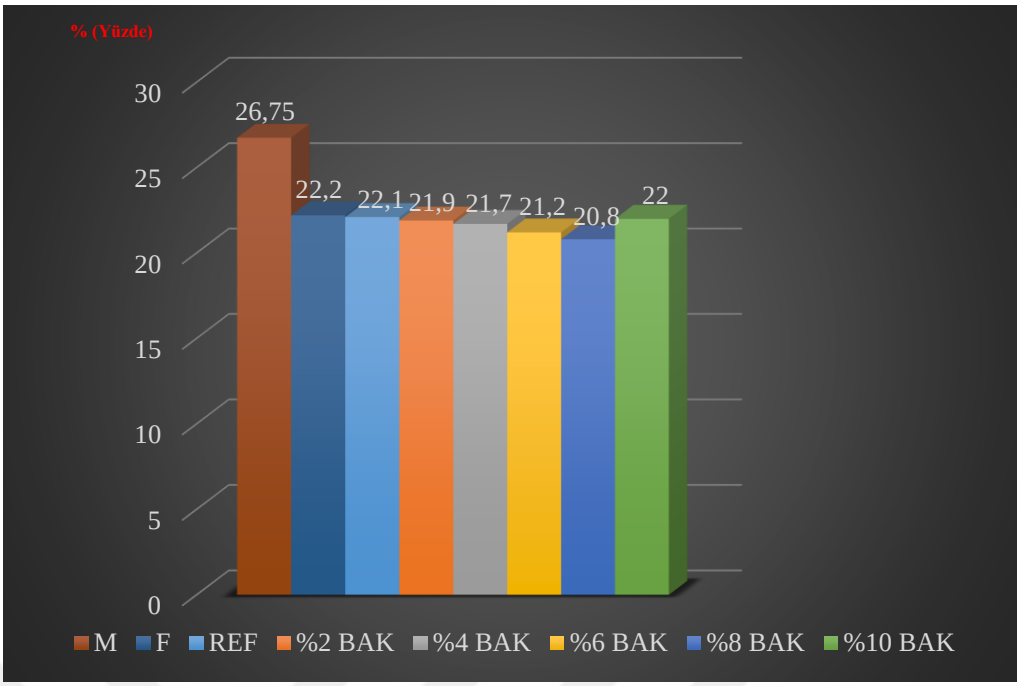
Kurama ve ark. (2006) çalışmalarında bor atığı katkılı numunelerde bor atığı katkı miktarının artmasının su emme oranlarını düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Sayın ve ark. (2007) tinkal ve kolemanit atıklarının su yalıtım malzemesine katkı maddesi olarak farklı oranlarda ilave edilmesiyle kılcal su emme miktarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Olgun ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada %2, %4, %6, %8 ve %10 oranında bor atığı katkılı duvar karosu üretiminde %8 oranına kadar su emiliminin azaldığını, %10 oranında ise arttığını tespit etmişlerdir. Kılcal su emme için optimum bor atığı katkı oranının %8 olarak belirlenmesi tez çalışması kapsamında yaptığımız deney sonuçları ile örtüşmekte ve de desteklemektedir.

4.5.1.4. Porozite

Malzeme bünyesinde bulunan boşluk oranı olarak bilinen porozite değerleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Grafikte mevcut numunenin boşluk yapısının diğer numunelere oranla fazla olduğu gözlenmiştir. %8 oranla bor atığı ikame edilerek hazırlanan numunelerin porozite oranının en düşük olduğu görülmüştür. Kılcal su emme miktarında olduğu gibi porozite değeri; %2-%8 katkı oranlarında üretilen numunelerde azalırken, %10 bor atığı katkılı numunelerde artış göstermiştir. Başka bir deyişle %10 katkı oranına sahip numuneler fabrika üretimi, referans ve %2-%8 katkı oranı ile üretilen numunelere göre daha boşluklu ve gözenekli bir yapıda sahiptir. 900 ^{0}C' de pişirilen numuneler bor atığı katkısının yüksek sıcaklıkta camsı faza geçip akışkan bir kıvamda olduğu için numunelerde optimum katkı oranına kadar boşluk oluşumunu engellemiştir. Tez çalışması kapsamında yaptığımız porozite deney sonuçlarına göre optimum bor atığı ikame oranının %8 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Numunelerin porozite değerlerinin karşılaştırılması

Elbeyli ve ark. (2004) çalışmalarında, %10 oranında bor atığı ilavesi ile üretilen numunelerin porozite değerlerinin referans numunelere göre daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

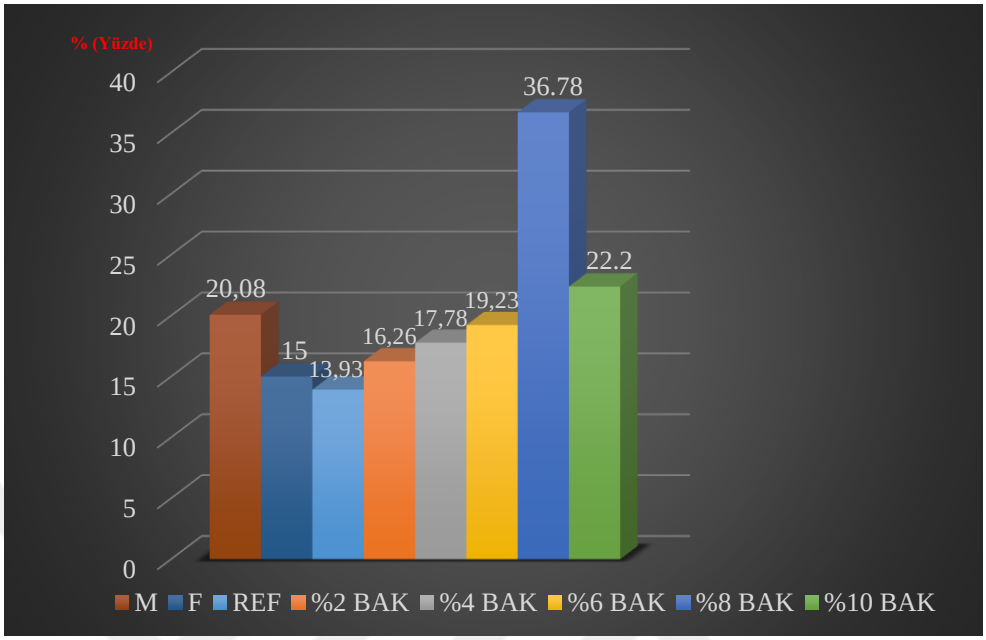
4.5.1.5. Donma-Çözünme Etkisi

Soğuk iklim özelliklerine sahip bölgelerde malzemenin kalıcılığını olumsuz yönde etkileyen en önemli unsurlardan biri de donma-çözünme olayıdır. Harman tuğlası numunelerine uygulanan donma-çözünme deneyleri sonucunda oluşan dayanım kayıpları Şekil 4.8'de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde; geleneksel olarak elle üretilen harman tuğlası numunelerinin fabrikasyon numunelerine göre daha fazla dayanım kaybı yaşadığı görülmektedir. %2 oranında bor atığı ikameli harman tuğlası numunesi, donma-çözünme döngüsü sonunda referans numunelerine yakın değerler almıştır. %2, %4 ve %6 oranında BAK numunelerin donma çözünme sonrası dayanımları birbirine yakın değerlerde bulunmuştur.

%8 bor atığı ikameli numunelerin donma-çözünmeye karşı basınç dayanımının diğer numunelere oranla düşük olduğu görülmüştür. Bu durum bor atığı katkı oranının artması ile buna ters orantılı olarak donma-çözünme dayanımının azaldığını ifade

etmektedir. Donma-çözünme deneyi sonucunda bor atığı katkısının harman tuğlasında kullanılmasının malzemeye olumsuz yönde etki ettiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Numunelerin donma-çözünme etkisinin karşılaştırılması

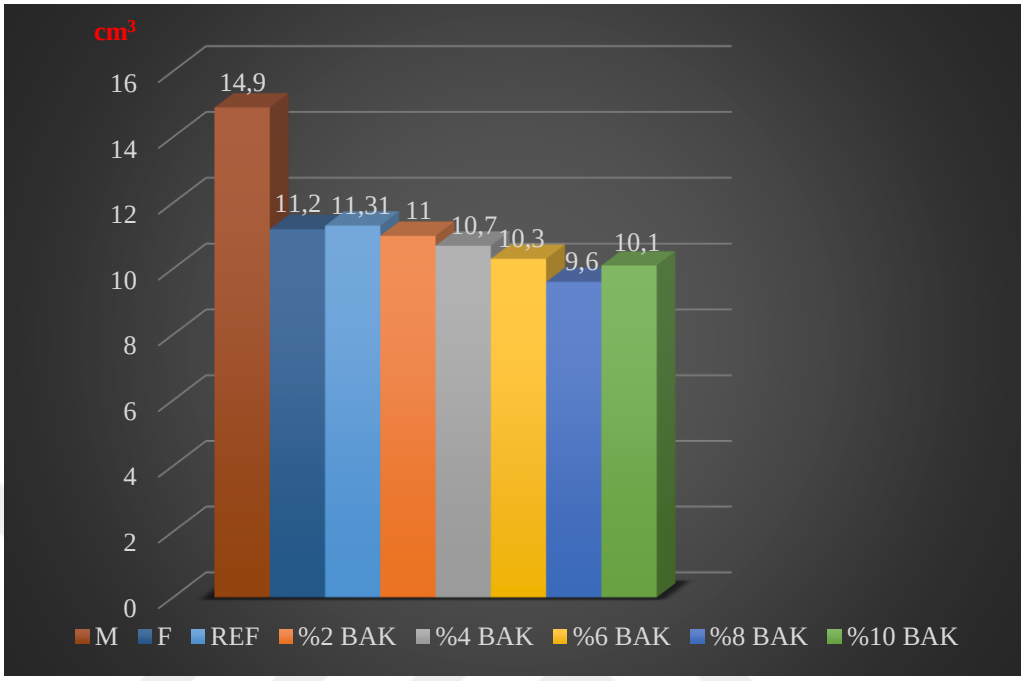
Uslu ve Arol (2004) yılında yapmış oldukları çalışmada tuğla malzemesine bor atığı ikame edilmesi durumunda donma-çözünme sonunda dayanım kaybı yaşandığını belirlemişlerdir.

Topçu ve Boğa (2005) ve Akyıldız (2012) beton üzerinde yaptıkları çalışmada %3 ve daha düşük yüzdelerde bor atığı kullanılmasının daha faydalı olacağını bildirmişlerdir.

4.5.1.6. Aşınma

Aşınma deneylerine tabi tutulan numune değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde; geleneksel yöntemle üretilen mevcut numunenin diğer numunelere oranla aşınma miktarının fazla olduğu görülmektedir. Aşınma deneyi sonuçları incelendiğinde; %10 katkı maddesine kadar (%2-%8 arasında) bor atığı miktarı arttıkça aşınma miktarının azaldığı fakat %10 bor atığı katkı miktarında aşınma miktarının tekrar artış gösterdiği tespit edilmiştir. Artış olmasına rağmen referans numunesi ile karşılaştırıldığında %10 bor atığı katkılı numunenin referans numuneye oranla daha az aşınma miktarına sahip olduğu görülmüştür. Literatüre baktığımızda Özorak (2014) yaptığı çalışmada polimer kompozitlere %10 oranında bor atığı ilavesinin referans numuneye göre aşınma miktarının azaldığını tespit etmiştir.

Aşınma miktarı baz alındığında optimum katkı oranının %8 olduğu anlaşılmaktadır.

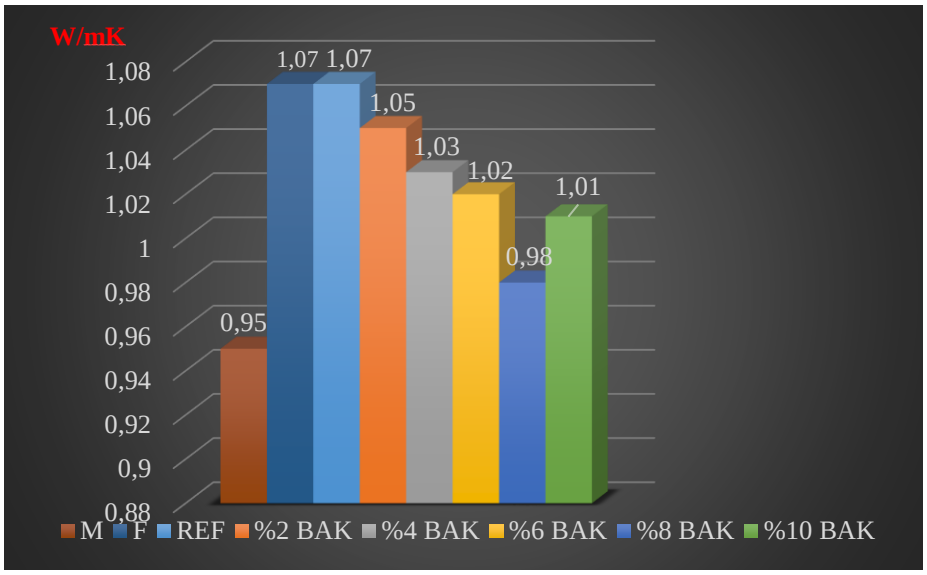


Şekil 4.9. Numunelerin aşınma miktarlarının karşılaştırılması

4.5.1.7. Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini

Numunelerin katı cisimlerin ısı iletim katsayısı tayini deney sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir.

Grafik incelendiğinde; mevcut numunenin ısı iletim katsayısının diğer numunelere oranla daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedeni ise malzeme içerisindeki boşluk oranının fazla olmasıdır. Fabrika üretimi numune ile referans numunenin birbirine yakın değerlerde olduğu, katkı oranının artmasıyla ısı iletim katsayısının azaldığı tespit edilmiştir. Fakat %10 bor atığı katkılı numunelerinde ısı iletim katsayısında artış olduğu gözlenmiştir. Isı iletim katsayısı değerleri için %8 bor atığı katkı oranının optimum oran olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.10. Numunelerin katı cisimlerde ısı iletim katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Batar ve Köksal (2009) çalışmalarında atık bor kullanarak yapmış oldukları sıva malzemesinde %3.5-17.7 oranında bor atığının ısı iletim katsayısını düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Erdoğan (2016) çalışmasında halı fabrikasından çıkan ipliklere bor atığı ilave edilmesiyle ürettikleri ısı yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısını düştüğünü tespit etmiştir.

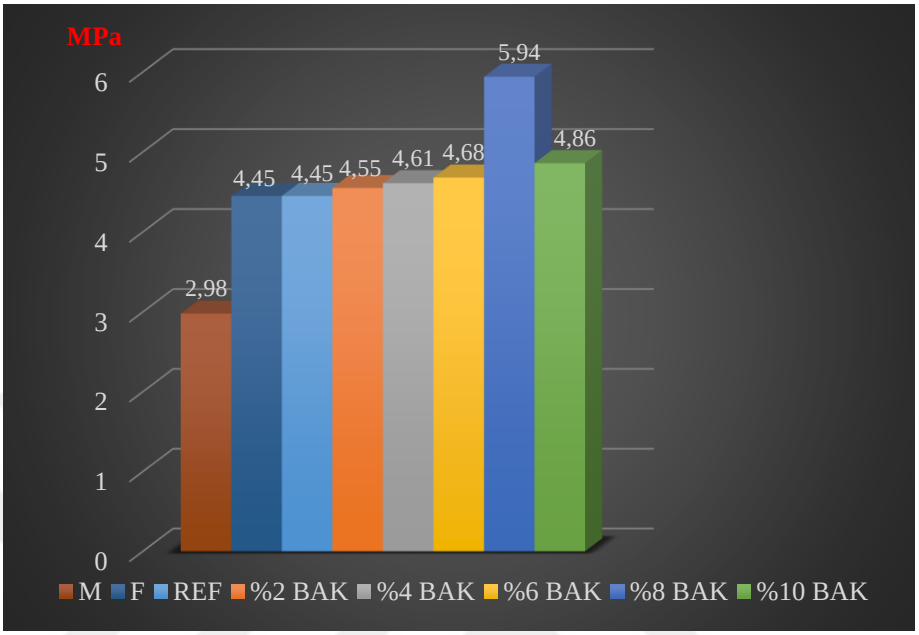
4.5.2. Mekanik deneylerin karşılaştırılması

Geleneksel olarak el yöntemiyle, fabrikasyon yöntemiyle, referans ve bor atığı katkılı üretilen harman tuğlaların mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler sonucu bulunan değerlerin karşılaştırması yapılmıştır.

4.5.2.1. Basınç Dayanımı

Numunelere ait basınç dayanım değerlerinin verildiği Şekil 4.11'e bakıldığında; geleneksel olarak elle üretilen mevcut numunenin basınç dayanımının diğer numunelere göre en az olduğu görülmüştür. Fabrika üretimi ve referans numune neredeyse eşit değerlere sahiptir. Bor atığı miktarı artmasıyla katkılı numunelerin basınç dayanımlarında artış olduğu gözlenmektedir. En yüksek basınç dayanımı %8 oranında bor atığı katkılı numunelere ait iken %10 oranında bor atığı kullanıldığında basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum basınç dayanımı için %8 bor atığı katkı oranın optimum değer olduğunu ifade etmektedir. Genel olarak tabloya bakıldığında bor atığı katkısının basınç

dayanımına olumlu yönde etkisi olduğu görülmektedir. Basınç dayanımının artması yapının yük altında ömrünü uzatarak yapıyı gelecek nesillere aktarılmasında yardımcı olacaktır.



Şekil 4.11. Numunelerin basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Literatür incelendiğinde; Uslu ve Arol (2004), Elbeyli ve ark. (2004) çalışmalarında tuğla numunesine %10 oranında bor atığı kullanımının referans numuneye kıyasla basınç dayanımının arttığını tespit etmiştir.

Kavas ve Emrullahoğlu (1999) çalışmalarında bor atığı katkısı ile standartlara göre yüksek mukavemet özelliğine sahip tuğla imal etmişlerdir.

Boncukcuoğlu ve ark. (2002) çalışmalarında çimentoya %1 oranında tinkal atıklarının katılmasıyla yüksek basınç dayanımlı, %5 oranında birincil, %10 oranında ikincil atığın ilave edilmesiyle çimento norm (standart) dayanımlarından daha yüksek dayanım elde etmişlerdir.

Özdemir ve Öztürk (2003) çalışmalarında tinkal üretimi esnasında açığa çıkan 1. ve 2. kil pestili atığını çimentoya %1 oranında kullanılması ile standartlara göre yüksek basınç dayanımı, %5 oranında kullanılmasında ise çimento norm dayanımlarından daha yüksek dayanım sağlamışlardır.

Sayın ve ark. (2007) kolemanit atıklarını ve tinkal cevherini seramik yapıştırıcısı katkı maddesi olarak kullandıkları çalışmada, bor ve bor atığının seramiğin dayanımını arttırdığını görmüşlerdir.

Batar ve ark. (2007) yaptıkları çalışmalarında tinkal cevheri ve kolemanit atığı kullanarak elde ettikleri duvar karolarının standart duvar karosuna göre daha dayanımlı olduğunu tespit etmişlerdir.

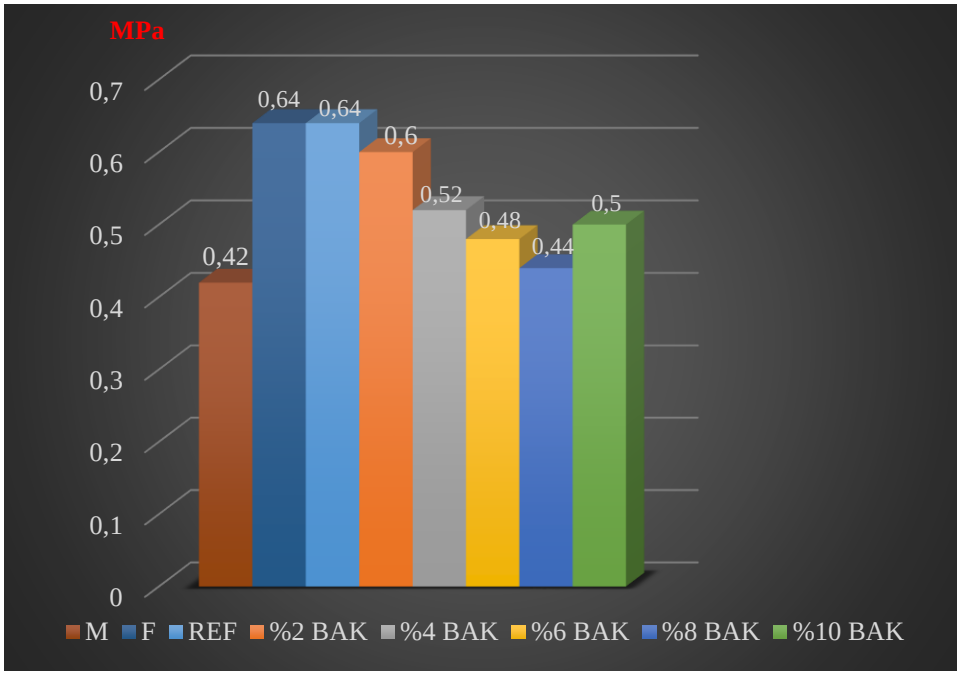
Aydın (2009) yaptığı çalışmada %3 ve %5 kolemanit atığının beton numunelerinin basınç dayanımı özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Özellikle bor katkılı tüm karışımların referans numuneden daha yüksek dayanım göstermesi, bor atığının betonda mineral katkı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

4.5.2.2. Eğilmede Çekme Dayanımı

Şekil 4.12'de mevcut, fabrika üretimi ve BAK numunelerin eğilmede çekme dayanım değerleri sunulmuştur.

Harman tuğlası numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerleri katkı yüzdeleri yönünden değerlendirildiğinde; mevcut numunenin eğilmede çekme dayanımının diğer numunelere oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Fabrika üretimi ve referans numuneye ait eğilmede çekme dayanım değerleri neredeyse aynı olduğu görülmüştür.

Eğilmede çekme dayanım değerlerinde, %8'e kadar BAK ilavesi ile düşüş meydana gelmiştir. Sonuçların böyle bir seyir izlemesi incelemeye açık bir konudur. Tez sonrası bunun nedeninin araştırılması konusu çalışma takvimine eklenebileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.12. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

Fındık (2007) çalışmasında %3, %5 ve %10 oranında bor atığı katkısıyla üretilen sıva harcı numunelerinin eğilmede çekme dayanım değerlerinin bor atığı katkı oranıyla ters orantılı bir şekilde ilerlediğini tespit etmiştir.

Literatürde yer alan diğer çalışmalara bakıldığında; Yaman (1997) çalışmasında bor atıklarının döşeme tuğlası, yer karosu ve fayans hamuruna %6'ya kadar ilave edilebileceğini tespit etmiştir.

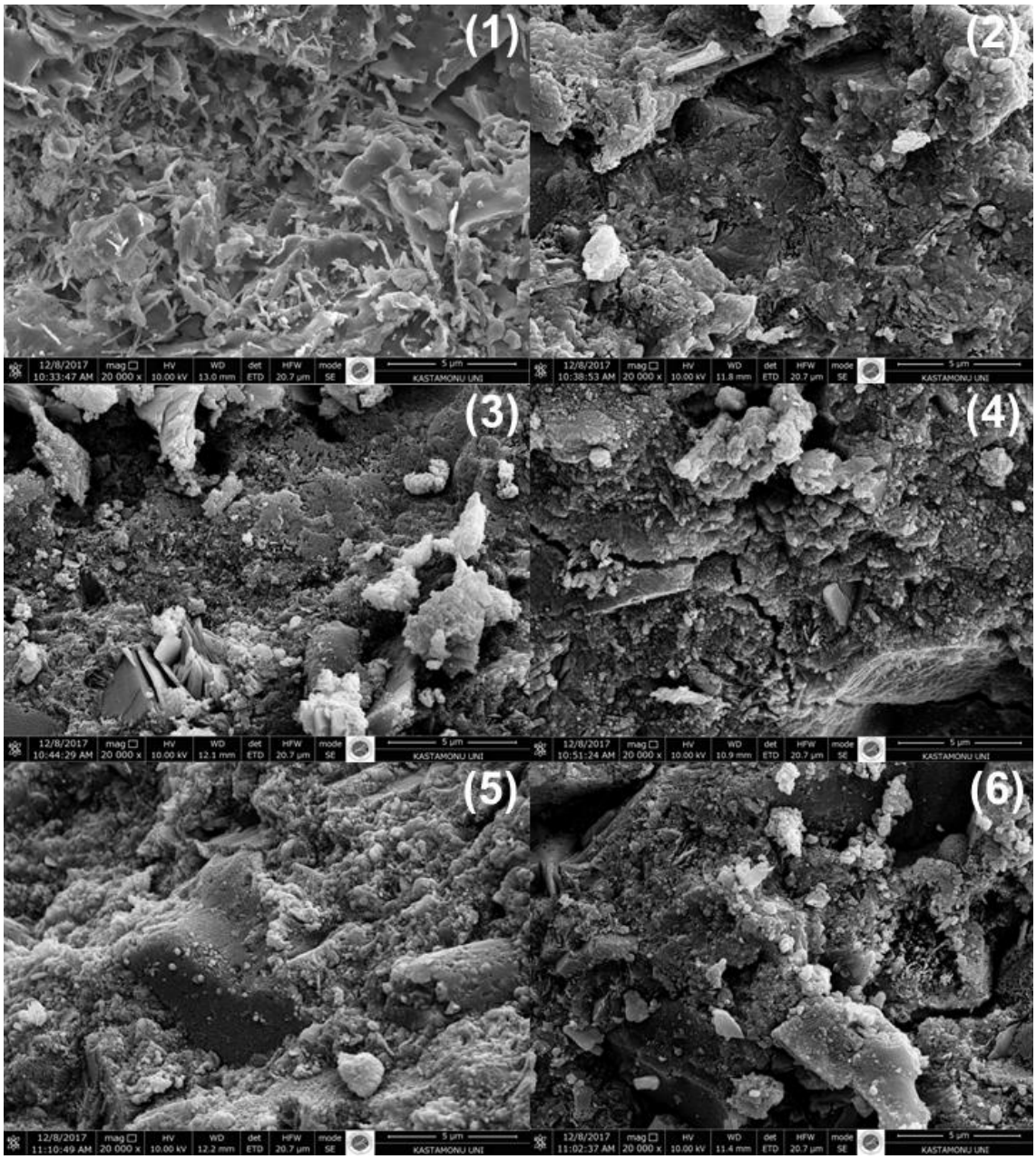
Sönmez ve Yorulmaz (1995) çalışmalarında kırka bor atıklarının uygun oranlarda tuğla ham maddesine katılmasıyla standartlara uygun tuğla üretiminin mümkün olacağını belirlemişlerdir.

4.5.3. SEM, XRD ve BET değerlerinin karşılaştırılması

Mevcut, fabrikasyon yöntemi kullanılarak, referans ve bor atığı katkılı üretilen harman tuğlaların yapısal karakterizasyonunun tespiti için yapılan deney sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır.

4.5.3.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Görüntüleri

Şekil 4.13'de referans (1), %2 oranında BAK numune (2), %4 oranında BAK numune (3), %6 oranında BAK numune (4), %8 oranında BAK numune (5), %10 oranında BAK numunenin (6) yapısal karakterizasyonunun tespiti için Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılan SEM görüntüleri verilmiştir.



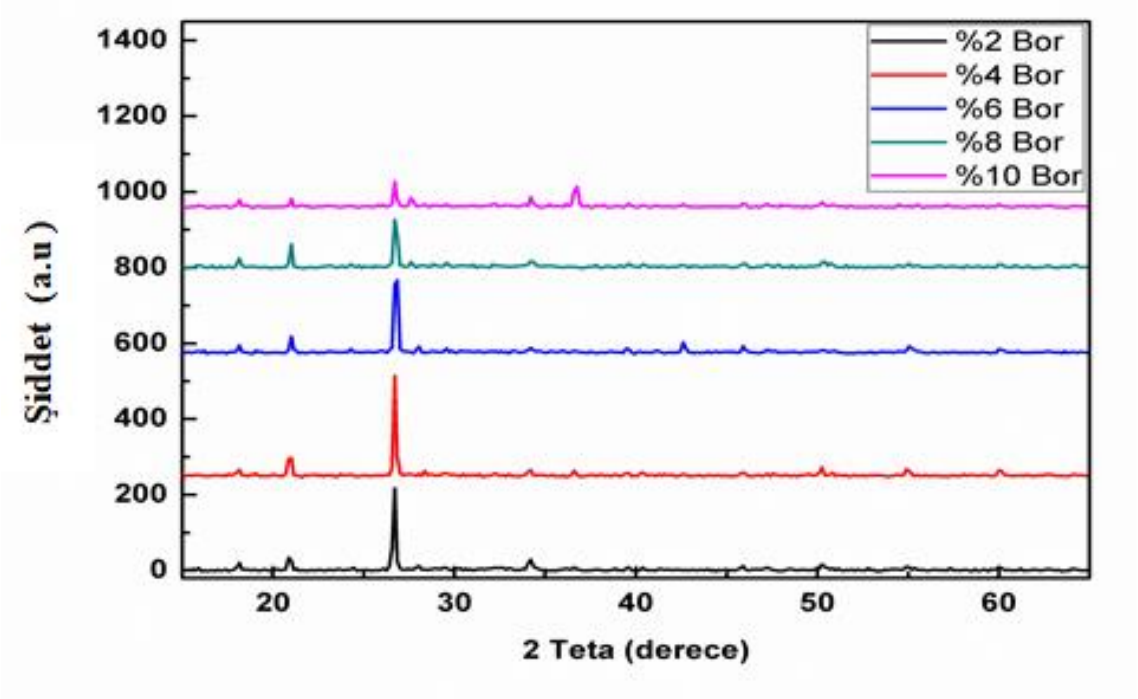
Şekil 4.13. Numunelerin SEM görüntüleri

Referans numunelerin SEM görüntülerinde kristal yapı çok nadir görünmekte ve yine amorf yapıların yoğunluğu fazla olarak gözlemlenmektedir. Amorf yapıların yoğun olması kristal yapıların da amorf yapıya dönüşümünü zaman içinde hızlandırabilir. BAK numunelere bakıldığında ise genellikle kristal yapıların bor katkısı arttıkça arttığı saptanmıştır. Ancak bu artış %2 katkılı numuneden %8 katkılı numuneye kadar gerçekleşmiş, bor katkısı %8'den %10'a çıktığında yine yer yer amorfluklar tespit edilmiştir. Çınar ve ark., (2014)'e göre bor katkısının belirli katkı miktarına kadar kristal yapıya destek sağlarken, belirli bir katkı miktarından sonra malzemeyi amorflaştırdığı

ifade edilmiştir. Bu sebeple bor katkısının optimum çalışma miktarı bu çalışmada %8 olarak belirlenmiştir. Ayrıca bor katkısı ile meydana gelen birden fazla kristal yapı örneği %8 bor katkılı numunede tek kristal yapı örneğine dönüşmüştür. Özellikle %2 ve %4 bor katkılı numunelerde tabakamsı kristal yapı ile birlikte kürecikli kristal yapılar mevcutken, bor artışı ile bu yapılar sadece kürecikli yapılara dönüşmüştür. Böylece bor katkısının malzemenin stabilizasyonunu sağlandığı görülmüştür (Çınar ve ark., 2014). Buradan görüldüğü üzere, %8 bor katkılı numunenin diğer numuneler oranla daha üstün özellikler gösterdiği malzemenin yapı özelliklerinde de belirtilmiş olup, SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir.

4.5.3.2. XRD (X-Işını Kırınımı) Grafikleri

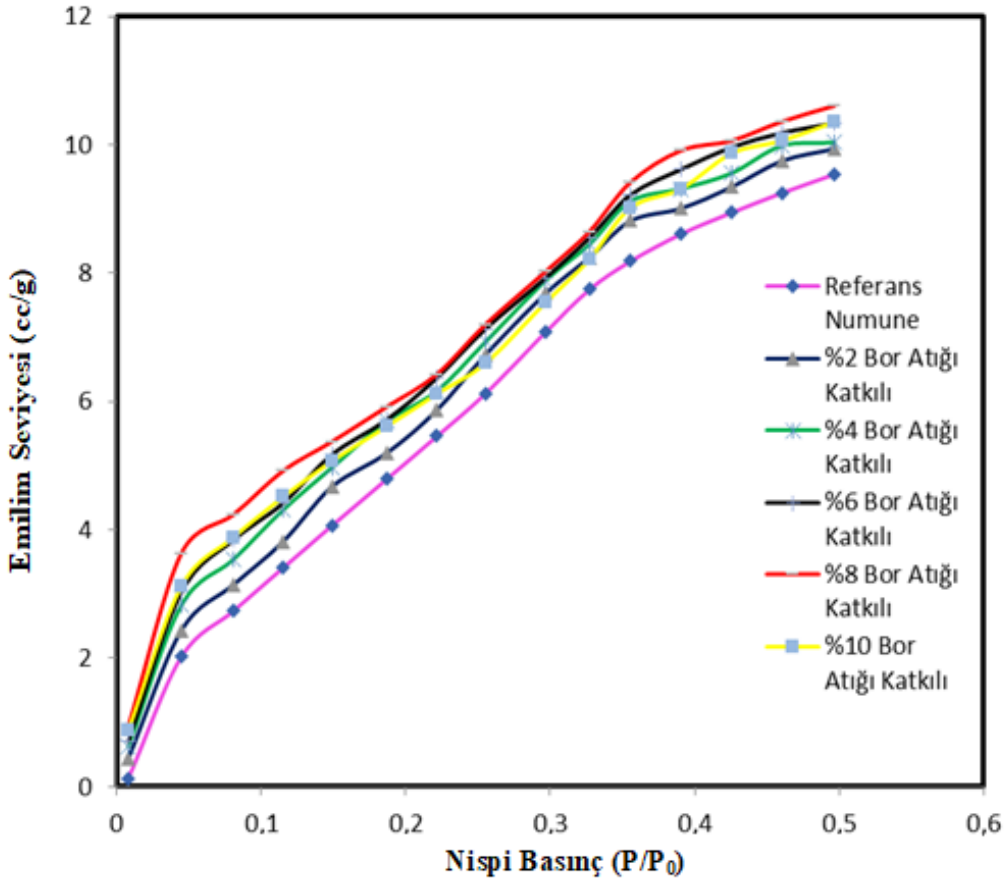
Şekil 4.14'de verilen bor katkılı numunelerin XRD grafiğine bakıldığında; %2, %4, %6, %8 ve %10 bor atığına sahip numunelerde ana pik geleneksel olarak üretilen mevcut ve fabrika numunelerinden bir miktar kaymış ve 26.83 değerine gerilemiştir. Bu durum bor katkılı malzemelerde beklenen bir durumdur. Numunelerin katkı oranı sırasına göre 209.28, 270.57, 196.95, 139.51 ve 69.75 birim şiddet değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Yine grafiğe baktığımızda sadece %10 oranında bor atığına sahip numunenin ana pik şiddeti geleneksel olarak üretilen mevcut ve fabrikasyon üretimi numunelerinden düşük, diğerlerinin pik şiddeti mevcut ve fabrika üretimi numunelerinden daha yüksektir. Bu durum %10'luk numune hariç diğerlerinin daha fazla kristal yapıya sahip olduğunu göstermektedir. SEM görüntüleriyle de kıyaslandığında en iyi kristal düzenin %8'lik numunede saptandığı, %4'lük numunede en yüksek pik şiddeti olmasına rağmen fazlaca kristal yapı olmasının en düzenli kristal yapıya sahip olduğunu net olarak ifade etmemektedir. Bu sebeple SEM görüntüleriyle herhangi bir çatışma söz konusu değildir. Ayrıca 18.14 derecedeki 2 Teta değeri mevcut ve fabrika numunelerinde görülmemekte olup bu piklerin bor kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu derecede bor katkısız numunelerde (geleneksel olarak elle üretilen mevcut numune, fabrikasyon üretimi numune ve referans numunesinde) herhangi bir pike rastlanmamıştır.



Şekil 4.14. Bor atığı katkılı numunelerin XRD grafiği

4.5.3.3. BET (Brunauer-Emmett-Teller) Analizi

Absorbsiyon olayı için absorblanan madde miktarı, belirli bir konsantrasyondaki harman tuğlası numunesi için absorblanan maddenin (bor atığının) kapasitesini belirleyebilen önemli bir etkendir (Ghaedi ve ark., 2012). Bor atığının, tuğla numunesine tutundurulması (absorblanması) farklı miktarlarda bor atığı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve şekilde gösterildiği gibi BET grafiği elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Bor atığı miktarının artmasıyla tuğla numunesinin adsorpsiyon hacminin artığı gözlenmiştir. Bu olay tuğla numunesinin yüzey alanındaki artışına yorumlanabilmektedir (%2-8 aralığı için geçerli). Fakat %10 bor atığı ile gerçekleştirilen adsorpsiyon olayında adsorpsiyon hacminin azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi, yüksek bor atığı miktarı tuğla numunesinin yüzeyine zayıf şekilde tutunmuş bor atığının bir kısmının desorbe edilmesi olabilmektedir. Bunun sonucunda, %8 bor atığı ve tuğla numunesi ile gerçekleştirilen adsorpsiyon olayında tuğla numunesinin doygunluğa ulaştığının söylenebilmektedir.



Şekil 4.14. Bor atığı katkılı numunelerin BET analiz grafiği

4.6. Tartışma

Bu tez çalışmasında, ana hammadde olarak Kastamonu ili Taşköprü ilçesinde bulunan killi toprak, bağlayıcı olarak da Eskişehir ili Kırka bölgesi tinkal cevheri atığının farklı oranlarda kullanılmasıyla harman tuğlası üretimi yapılmıştır. Üretilen harman tuğlası numunelerine fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon tespiti için deneyler yapılmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.18'de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Deney Adı		Durum				
		%2BAK	%4BAK	%6BAK	%8BAK	%10BAK
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık	-	-	-	-	-
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık	-	-	-	-	-
	Kılcal Su Emme	-	-	-	-	*
	Porozite	-	-	-	-	*
	Donma-Çözünme Sonrası Basınç Dayanımı	-	-	-	-	x
	Aşınma	-	-	-	-	*
	Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayısı Tayini	-	-	-	-	*
Mekanik Deneyler	Basınç Dayanım	+	+	+	+	x
	Eğilmede Çekme Dayanımı	+	+	+	+	x
Yapısal Karakterizasyon	SEM XRD BET	Bor atığı miktarı arttıkça malzeme iç yapısının daha düzenli mikro porlu yapıya sahip olduğu görülmüştür. En iyi sonuç %8 oranında bor atığı katkısıyla sağlanmıştır.				

NOT: "-": Referans numuneye göre azalmış, "+": Referans numuneye göre artmış, "*": %8 bor atığı katkı oranından sonra artmış, "x": %8 bor atığı katkı oranından sonra azalmış

- Fiziksel deneylerden olan özgül ağırlık deneyinde, fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlasının özgül ağırlığının referans tuğlalar ile neredeyse aynı değerde olduğu görülmüştür. Harman tuğlası içerisine bor atığının ilavesi ile artan katkı oranına paralel olarak özgül ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Üretilen numunelerin suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde, bor atığı katkısının artmasıyla azalma meydana gelmiş, %10 oranında bor atığı katkısının en iyi sonucu verdiği görülmüştür.
- Bor atığı ilavesinin harman tuğlası numunelerinde kılcal su emme miktarında azalma olduğu görülmüş, en iyi sonucu %8 oranında bor atığı katkısı sağlamıştır. %8 bor atığı katkısına kadar kılcal su emme miktarında azalma görülürken, %10 oranında artış meydana gelmiştir.
- %8 bor katkılı harman tuğlası numunelerine kadar tüm numunelerin porozite değerleri azalmıştır. Fakat %10 oranında bor katkılı numunelerde porozite değeri

artmış, buna paralel olarak bünyesindeki gözenek yapısında da artış meydana getirmiştir.

- Harman tuğlası bünyesine tinkal bor atığının ilavesiyle 900 ^{0}C sıcaklıkta sinterleme için yeterli sıvı fazın oluşturulabileceği görülmüştür.
- Katkı miktarının artması donma-çözünme sonrası basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Bor atığı miktarının artmasına paralel olarak donma-çözünme sonrası basınç dayanım değeri de azalma olduğu tespit edilmiştir.
- Fiziksel özelliklerden biri olan aşınma miktarı incelendiğinde; bor atığı katkısının %2, %4, %6 ve %8 oranında bor atığı katkılı harman tuğlası numunelerinde aşınma miktarının azaldığı, %10 katkı oranına sahip numunelerde ise arttığı gözlenmiştir. Deney sonunda en iyi sonucun %8 oranında bor atığı katkısıyla elde edilebileceği görülmüştür.
- Üretilen harman tuğlası numunelerinin ısıl özelliklerini belirlemek için yapılan katı cisimlerin ısı iletim katsayısı tayini deney sonucuna bakıldığında ise; %2, %4, %6 ve %8 oranında bor atığı katkılı harman tuğlaların ısı iletim katsayısının azaldığı görülmüştür. Yani bor atığı katkı oranı arttıkça ısı iletim katsayısı azalmıştır. Fakat %10 bor atığı ikameli numunelerde ısı iletim katsayısının arttığı tespit edilmiştir.
- Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan deneyler sonucunda bu çalışma için optimum katkı oranının %8 olduğu tespit edilmiştir.
- Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan deneyler sonucunda; basınç dayanımının %2, %4, %6 ve %8 oranında bor atığı katkısı ile arttığını, %10 bor katkı oranında ise azalma olduğu görülmüştür.
- Harman tuğlası numunelerinin eğilmede çekme dayanımına bakıldığında ise %8 bor atığı katkısına kadar azalmanın olduğu, %10 katkı oranında ise artış olduğu gözlenmiştir.
- Mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarına göre bu çalışma için optimum katkı oranının %8 olduğu tespit edilmiştir.
- Yapısal karakterizasyonunun tespiti için uygulanan yöntemlerden biri olan SEM görüntülerine baktığımızda; geleneksel yöntemle üretilen numunenin yüksek poroziteli, makro porlu ve düzensiz kristal yapısında olduğu görülmüştür. Fabrika üretimi numunelerinde kristal yapının nadir, amorf yapının ise yoğun olduğu

görülmektedir. %2, %4, %6 ve %8 bor atığı katkılı numunelerde bor atığı miktarının artmasıyla kristal yapısında da artış olduğu, bu artış ile birlikte numunelerin tabakamsı olan numune iç yapısının kürecikli yapıya dönüştüğü görülmüştür. Bor atığı katkısının %8'den %10'a çıkması halinde kristal yapının bozulduğu ve amorf yapının arttığı tespit edilmiştir.

- SEM görüntüleri sonucunda %8 oranında bor atığı katkısına sahip harman tuğlası numunelerinin diğer numunelere oranla daha üstün yapısal özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir.
- Üretilen harman tuğlaların XRD analizlerine göre; Bor atığı katkılı numunelerin pik noktalarının, referans, mevcut ve fabrikasyon yöntemiyle üretilen harman tuğlaların pik noktalarına göre kayma olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre %10 bor atığı katkılı numune hariç diğer tüm numunelerin daha fazla kristal yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez Kapsamında yapılan deneyler doğrultusunda elde edilen sonuç ve öneriler maddeler halinde sunulmuştur.

- Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgulara göre bor atığının harman tuğlası özelliklerini iyileştirdiği ve uygun oranlarda ikame edilmesi durumunda kullanımında herhangi bir sakınca olmayacağı sonucuna varılmıştır.
- Dış duvar dolgu malzemesi olarak kullanılan harman tuğlası atmosfer şartlarına maruz kalacağı için aşınma, kılcal su emme, donma-çözünmeye karşı dayanım, basınç dayanımı gibi özelliklerinin üstün olması, bor atığı katkılı üretilen harman tuğlanın kullanılabileceğini göstermektedir.
- Bor atıklarının harman tuğlası üretiminde kullanılması, atıkların bertaraf edilerek çevreyi korumakla kalmayacak, ayrıca atık depolama maliyetini düşürecektir.
- Atıkların değerlendirilmesiyle, atık içerisinde bulunan B_2O_3 geri kazanılmış ve doğaya bırakılan bu atıkların su ve toprak kirliliğinin önlenmesinde önemli bir yol kat edilmiş olacaktır.
- Bor atığı kullanılarak üretilen harman tuğlalar ile inşa edilen binalar mukavemet açısından daha dayanıklı olacaktır. Özellikle Kastamonu gibi 1. Derece deprem kuşağında yer alan bölgelerde kullanılması, deprem gibi ilave dayanım gereken durumlarda bu olumlu etki sağlayacaktır.
- Bor atığı miktarı oldukça fazla olan ülkemizde atıklar; cam, seramik, sağlık vb. sektörlerin yanısıra inşaat sektörüne de girmelidir. Sadece çimento sektöründe değil diğer yapı malzemelerinin geliştirilmesinde de kullanılmalıdır.
- Borun direkt olarak kullanılmasının yanısıra işlenmesi sonucu açığa çıkan bor atıkları da inşaat sektöründe kullanılmalı, böylece çevreye atılan bor atıkları geri dönüştürülerek sürdürülebilirlik açısından katkıda bulunulmalıdır.
- Bor atığının değerlendirilmesine yönelik ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmaların sayısı arttırılmalı ve bu alanda yapılacak çalışmalar sadece üniversitelerle kalmayıp sanayi ile iş birliği içerisinde yürütülmelidir.
- Harman tuğlası üretiminde uygulanabilir bir katkı maddesi olarak bor atıkların kullanılması için, bu çalışmanın bulgularının daha ayrıntılı bir araştırılmasının yanı sıra, endüstriyel ölçekte değerlendirilmelidir.
- Tez çalışmasında elde edilen harman tuğlası numunelerinin sülfat etkisi, geçirimlilik, yangın dayanımı gibi deneylere tabi tutularak etkileşimleri

irdelenebilir. Değişik bölgelerden alınan killi toprak ve bor atıkları ile de çalışmalar yapılarak deneyler tekrarlanabilir. Ayrıca farklı puzolanik malzemelerle Kastamonu bölgesi toprağıyla elde edilecek harman tuğlaların fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon açısından özellikleri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Web iletisi 1, http://merlab.kastamonu.edu.tr/cihaz/bet-yuzey-alani-olcum-cihazi/: (Erişim tarihi: 03.07.2017)

Web iletisi 2, https://www.google.com.tr/search?q=d%C3%BCnya+bor+rezervi&safe (Erişim tarihi: 03.04.2018)

Web iletisi 3, https://earth.google.com/web/ (Erişim tarihi: 15.01.2018)

Web iletisi 4, http://www.boren.gov.tr/tr: (Erişim tarihi: 13.11.2017)

Web iletisi 5, http://www.etimaden.gov.tr/ (Erişim tarihi: 10.12.2017)

Web iletisi 6, https://www.google.com.tr/search?q=t%C3%BCrkiyede+bor+yataklar (Erişim tarihi: 24.05.2018)

Web iletisi 7, https://www.google.com.tr/search?safe=strict&rlz=1C1CHZL_trTR765T =tinkal+bor (Erişim tarihi: 24.05.2018)

TS 704, 1979, Harman Tuğlası (Duvarlar İçin), Ankara.

TS EN 771-1+A1, 2015, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler, Ankara.

TS EN 772-1, 2012, Kâgir Birimler - Deney Yöntemleri - Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, Ankara.

TS EN 772-4, 2000, Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz Ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini. Ankara.

TS EN 772-6, 2004, Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 6: Beton Kâgir Birimlerin Eğilmede Çekme Dayanımının Tayini, Ankara.

TS EN 772-11, 2012, Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini. Ankara.

TS 2824 EN 1338, 2005, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları- Gerekli Şartlar ve Deney Metotları. Ankara.

TSE CEN/TS 12390-9, 2017, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 9: Buz Çözücü Tuzlarla Donma-Çözünme Direnci – Ölçeklendirme. Ankara.

Abalı, Y., Yurdusev, M. A., Zeybek, M. S. ve Kumanlıoğlu, A. A., 2007, Using Phosphogypsume and Boron Concentrator Wastes In Light Brick Production, *Construction and Building Materials*, 21 (1), 52-56.

Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S. M. S. ve Munir, M. J., 2017, Production Of Sustainable Clay Bricks Using Waste Fly Ash: Mechanical And Durability Properties, *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14.

Ak, M., 2011, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Ve Espey Konsantratör Atıklarının Mikrodalga Enerjisi Yardımıyla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi*, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 50-65.

Akyıldız, A., 2012, Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 56-70,

Akyıldız, S., 2015, Kırka Boraks Madeni Killerinin Ve İşletme Atıklarının Lityum İçeriği Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 18-19.

Alp, I. ve Özdağ, H., 2000, Investigation Of The Processing Of Colemanite Tailings By Ultrasonic Sound Waves, *Mineral Processing on the Verge of the 21s t Century, Balkema, Rotterdam*, 693-696.

Altun, F., 2005, Bor, *Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü*, 1, 80.

Anonim, 2003, TÜBİTAK Bor Raporu.

Anonim, 2013a, Yeni Atık Göleti Ve Malzeme Ocakları ÇED Başvuru Dosyası, 3-4.

Anonim, 2013b, Espey Yeni Atık Barajı (Maden Atıığı Düzenlii Depolama Sahası) Ve Malzeme Ocakları Projesi ÇED Başvuru Dosyası, 6-7.

Ata, C., 2009, Erişkin Erkek Sıçanlarda Deneysel Olarak Oluşturulmuş Bor Toksisitesi Üzerinde E Vitamininin Rolü, *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 52-54.

Avcı, F. F., 2004, Ondokuzuncu Yüzyıl Kastamonu Konutları Değişim Süreci, *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 45-48.

Aydın, Ü., 2009, Kolemanit Atığının Beton Dayanımına Olan Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi*, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 32-37.

Aykul, Ö., 2008, Eti Bor Emet-Hisarcık Kolemanit Artıklarının Dekrepitasyon Yöntemi ile Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kütahya, 17-20.

Aytekin, Y. ve Badruk, M., 1992, Emet Kolemanit Cevherinin Dekrepitasyon Yoluyla Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması, *4th International Mineral Processing Symposium Proceeding*, 549-561.

Bakırdere, S., Orenay, S. ve Korkmaz, M., 2010, Effect Of Boron On Human Health, *The Open Mineral Processing Journal*, 3 (1).

Batar, T., Bayça, S., Solak, Ö., Sayın, E., Can, E. ve Kahraman, B., 2007, Bor Cevheri ve Atıklarının Seramik Duvar Karosu Yapısına Etkileri, *6. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 328-333.

Batar, T. ve Köksal, N. S., 2009, Atık Bor, Atık Kâğıt ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu, *Ekoloji Dergisi*, 18 (72).

Bayar, D., 2001, Sulu Çözeltiden Adsorbsiyonla Bor Giderimi ve Deney Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 25-27.

Biçer, Y. M., 2008, Chrıstopher Alexander's Concept of "Living Structure": Theories of "Centers" And "Wholeness" And Its Applıcatıon To Tradıtıonal Kastamonu Houses, Yüksek Lisans Tezi, *Middle East Technical University*, Ankara, 15-16.

Bideci, Ö. S., 2013, Bor Kaplı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Edirne, 52-74.

Binici, H., Sevinç, A. H. ve Durgun, M. Y., 2011, Pomza, Barit, Kolemanit Ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı Ve Sülfat Direnci, *Electronic Journal of ConstructionTechnologies*, 7 (1), 39-51.

Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M. M., Tosunoğlu, V. ve Yilmaz, M. T., 2002, Utilization Of Trommel Sieve Waste As An Additive In Portland Cement Production, *Cement and Concrete Research*, 32 (1), 35-39.

Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. ve Uğurlu, E., 2006, Characteristics Of Brick Used As Aggregate In Historic Brick-Lime Mortars And Plasters, *Cement and Concrete Research*, 36 (6), 1115-1122.

Buluttekin, M. B., 2008, Bor Maden Ekonomsi Türkye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yeri, 2, *Ulusal iktisat Kongresi. İzmir-Türkiye*, 20-22.

Bütüner, R., 2011, Emet Bölgesi Düşük Tenörlü Kolemanit Stoklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi*, Kütahya, 5-8.

Chatterjee, A. K., 1996, High Belite Cements—Present Status And Future Technological Options: Part I, *Cement and Concrete Research*, 26 (8), 1213-1225.

Chescoe , D. ve Goodhew, P., J, 1990, The Operation Of Transmission And Scanning Electron Microscopes In: Microscopy Hanbooks, *Oxford Science*, England.

Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y. ve Angelopoulos, G. N., 2009, Use Of Boron Wastes In The Production Of Heavy Clay Ceramics, *Ceramics International*, 35 (1), 447-452.

Coşar, Ş., 2006, Demir Konsantrelerinin Peletlenmesinde Bor Mineralleri Ve Atıklarının Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 12-17.

Çağlar, H., 2016, Radyoaktiviteden Kaynaklanan Çevresel Etkileri Azaltmak İçin Borik Asit Ve Polivinil Alkol Katkılı Çimento Hamurunun Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 24-27.

Çelik, A. G., 2010, Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi Ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana, 58-62.

Çınar, E., Koçyiğit, S., Aytimur, A., Uslu, İ. ve Akdemir, A., 2014, Synthesis, Characterization, And Thermoelectric Properties Of Electrospun Boron-Doped Barium-Stabilized Bismuth-Cobalt Oxide Nanoceramics, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45 (9), 3929-3937.

Demir, C., 2006, Bor Minerallerinin Enerji Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 33-37.

Demir, İ. ve Orhan, M., 2002, Bor Atıklarının Yapı Malzemesi Üretiminde Değerlendirilmesi, *I. Uluslararası Bor Sempozyumu,* 235-239.

Demirel, B. ve Nasıroğlu, S., 2017, Bor Mineralleri ve Atıklarının Çimentoda Kullanılma Stratejileri, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* (29) 1, 95-100.

Dengiz, E., 2009, Değirmisaz Kömür Üstü Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans, *Dumlupınar Üniversitesi*, Kütahya, 15-20.

Dırak, S., 2011, Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi*, Kütahya, 78-82.

Doğan, M. Z., Kaylaz, Y., Ona, G. ve Perek, K. T., 1997, Bigadiç ve Kestelek Bor Atıklarının Isıl İşlem, Elektrostatik Ayırma ve Flotasyon İle Zenginleştirme Olanaklarının Araştınlması, *I. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu,* 76-85.

Döndüren, S. M., 2008, Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya, 41-43.

DPT, 2001, Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayi Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu, *Ankara*, 179.

DPT, 2008, Bor, Soda Külü, Krom Kimyasalları Çalışma Grubu Raporu, *Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu, Ankara*, 138.

Elbeyli, Y., Kalpaklı, Y., Gülen, J., Pişkin, M. ve Pişkin, M., 2004, Utilization Of Borax Waste As An Additive In Building Brick Production, *Proceedings of the Uluslararasi Bor Sempozyumu, Eskisehir, Turkey*, 23-25.

Emrullahoğlu, Ö. F., 1985, Etibank Bigadiç Kolemanit Cevheri -3 mm Fraksiyonunun Laboratuvar Çapta Zenginleştirilmesi, *Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3 (2), 53-60.

Endüstriyel Hammaddeler Komisyonu, 2001, Kimya Sanayi Hammaddeleri, *Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Ankara*, 12.

Er, A. C., 2013, Geleneksel Harman Tuğlası Ve Üretimi, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 2 (2), 61-70.

Erdoğan, Y., 2016, Halı Ve Bor Atıklarından İzolasyon Malzemesi Üretimi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 152 (152).

Erdoğan, T., 2010, Beton, *ODTÜ Yayıncılık,* Ankara

Erdoğmuş, E., 2006, Çimentoya Bor Katkısı, Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu İlavesiyle Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

Ergün, G. ve Yenisey, M., 2006, Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit (FGK) Sabit Protezlerin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İle Değerlendirilmesi ve İçeriklerinin Element Analizlerinin (EDS) Yapılması, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 7 (2).

Erkan, Z. E., Akar, A. ve Savaş, M., 2016, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Baraj Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 161-174.

Ertuğrul, E., 2004, Bor ve Toryum Madenleri Sektörü, *Türkiye Kalkınma Bankası AŞ*.

Eyüpgiller, K., 1999, Bir kent tarihi: Kastamonu, *Eren Yayınevi*, İstanbul.

Eyyüboğlu, S., 2013, Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi,* Balıkesir, 57-65.

Fındık, A., 2007, Kolemanit Konsantratör Atığının Beton ve Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi*, Hatay, 41-45.

Gelb, L. D. ve Gubbins, K., 1998, Characterization of Porous Glasses: Simulation Models, Adsorption Isotherms, And The Brunauer− Emmett− Teller Analysis Method, *Langmuir*, 14 (8), 2097-2111.

Ghaedi, M., Sadeghian, B., Pebdani, A. A., Sahraei, R., Daneshfar, A. ve Duran, C., 2012, Kinetics, Thermodynamics And Equilibrium Evaluation Of Direct Yellow 12 Removal By Adsorption Onto Silver Nanoparticles Loaded Activated Carbon, *Chemical Engineering Journal*, 187, 133-141.

Gimenez, V., Mantecon, A. ve Cadiz, V. J., 1996, The Chemistry Of The Dicalcium Silicate Mineral, *Appl Polym Sci*, 59, 425.

Gonzalez, A., Peters, U., Lampe, J. W. ve White, E., 2007, Boron Intake And Prostate Cancer Risk, *Cancer Causes & Control*, 18 (10), 1131.

Görhan, G., 2011, Çeltik Kavuzunun Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara, 35-37.

Görhan, G., 2012, Bor Oksit Ve Borik Asit Katkısının Kil Tuğlası Özelliklerine Etkisi, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 11 (3), 96-109.

Griffin, T. S. ve Downing, T. L., 2001, Rio Tinto Borax's Pond Reprocessing And Sustainable Development, *9. Balkan Mineral Processing Congress*, İstanbul, 319-324.

Gülgönül, L., Çelik, M. S. ve M., Ç., 1997, Üleksit Fiolasyonunda Şlamın Etki Mekanizması, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 70-75.

Gündüz, M., Cebi, H., Bilici, M. S. U., Akçin, H., Karakoç, G. ve A., D., 2001, Kestelek Konsantratör Tesisi Ara Ürün Stoklan B_2O İçeriklerinin İyileştirilmesi Çalışmaları, *Türkiye 17. Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 125-131.

Gür, N. V., Deniz, Ö. Ş. ve Ekinci, S., 2012, Kagir Yığma Duvarlarda Taşıyıcı Malzeme Ve Bileşenler, *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu* Bursa, 1-10.

Güyagüler, T., 2001, Türkiye Bor Potansiyeli, *4. Endüstrıyel Hammaddeler Sempozyumu*.

Güzel, A. G., 1993, Ponza Katkılı Tuğla Üretimi Ve Bu Tuğlaların Mekanik Ve Boşluk Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 41-45.

Hamer, K. ve Karius, V., 2002, Brick Production With Dredged Harbour Sediments. An Industrial-Scale Experiment, *Waste management*, 22 (5), 521-530.

Helvacı, C. ve Ortí, F., 2004, Zoning In The Kirka Borate Deposit, Western Turkey: Primary Evaporitic Fractionation Or Diagenetic Modifications?, *The Canadian Mineralogist*, 42 (4), 1179-1204.

Helvacı, C., 2001, Türkiye Borat Yatakları Jeolojik Konumu, Minerolojisi Ve Depolama Ortamları, Türkiye Borat Yatakları, *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi*, 5-7.

Helvacı, C., 2005, Borates, *Encyclopedia Geology*, 510-522.

Irmak, P., 2006, Türkiye' de Bor Madeni Ve Ekonomik İncelemesi: Eskişehir-Kırka İşletmesi Örneği, Yüksek Lisans, *Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Eskişehir, 24-25.

Işık, İ., 2004, Tuğla Ve Kiremit Üretim Teknoljisi, *Dumlupınar Üniversitesi, Lisans Ders Notları, Kütahya*, 1-5.

Işık, M., 2017, Sera Koşullarında Farklı Bor Uygulamalarının Patates Bitkisinde Büyüme Ve Yeşil Aksam Bor Konsantrasyonuna Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana, 6-8.

İspir, M., 2010, A Comprehensive Experimental Research On The Behavior Of Historical Brick Masonry Walls Of 19th Century Buildings, Doktora Tezi, *Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology* İstanbul, 47-48.

Kalafatoğlu, İ. E. ve Örs, S. N., 2016, 21. Yüzyılda Bor Teknolojileri Ve Uygulamaları, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1), 59-71.

Kamarlı, E., 2008, Kastamonu Tarihi Dokusunda Yer Alan Geleneksel Konut Yapılarının Cephe Mimarisi Üzerine Tipolojik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,İzmir,* 55-62.

Karabulut, N., 2006, Besi Bıldırcını Yemlerine Bor İlavesinin Performans Ve Bazı Kan Parametrelerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,* Kayseri, 23-31.

Kavas, T. ve Emrullahoğlu, Ö. F., 1999, Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıklarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanımı, *I. Batı Anadolu Hammadde Kaynaklaıi Sempozyumu*, 216-225.

Kavas, T., 2006, Use Of Boron Waste As A Fluxing Agent In Production Of Red Mud Brick, *Building and Environment*, 41 (12), 1779-1783.

Kaya, Ç., 2010, Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-26.

Kaytaz, Y., Önal, G. ve Güney, A., 1986, Bigadiç Kolemanit Artıklarının Değerlendirilmesi, *I. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu*, 237-249.

Keleş, G., Kocakerim, M. ve Boncukoğlu, R., 2005, Borojips Ve Kolemanit Konsantrasyon Atığının Çimentoda Kullanılması, *I.Ulusal Bor Çalıştayı* Ankara, 105-112.

Kibar, H., 2009, Cam Atık Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, *Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyon, 9-13.

Kibici, Y., 2002, Seramik Hammaddeleri Ve Teknolojik Özellikleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları*, Afyon.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Aktaş, H., Çankıran, O., Ürgüp, M. N. ve Uzun, İ., 2007, Yalvaç Pisidia Antiocheia Kentinde Kullanılan Tuğla Ve Bağlayıcı Malzemelerin Kimyasal, Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 1-6.

Kiraz, E., 2010, Puzolanik Malzemelerin Hafif Duvar Malzemesi Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kocaeli, 51-59.

Kula, I., Olgun, A., Sevinc, V. ve Erdogan, Y., 2002, An İnvestigation On The Use Of Tincal Ore Waste, Fly Ash, And Coal Bottom Ash As Portland Cement Replacement Materials, *Cement and Concrete Research*, 32 (2), 227-232.

Kula, İ., 2000, Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya, 25-27.

Kurama, S., Kara, A. ve Kurama, H., 2006, The Effect Of Boron Waste In Phase And Microstructural Development Of A Terracotta Body During Firing, *Journal of the European Ceramic Society*, 26 (4-5), 755-760.

Kurttepeli, Y., 2006, Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Sakarya, 53-62.

Mobbs, P. M., 2004, The Mineral Industry Of Turkey, *US Geological Survey Minerals Yearbook*, 3.

Nielsen, F. H., 2008, Is Boron Nutritionally Relevant?, *Nutrition reviews*, 66 (4), 183-191.

Olgun, A., Erdogan, Y., Ayhan, Y. ve Zeybek, B., 2005, Development Of Ceramic Tiles From Coal Fly Ash And Tincal Ore Waste, *Ceramics International*, 31 (1), 153-158.

Ören, Y., Linder, C., Daltrophe, N., Mirsky, Y., Skorka, J. ve Kedem, O., 2006, Boron Removal From Desalinated Seawater And Brackish Water By İmproved Electrodialysis, *Desalination*, 199 (1-3), 52-54.

Özbayoğlu, G., Şener, S. ve Özdemir, Z., 2001, Toz Üleksite Boyut Kazandırma. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir**,** 288-291.

Özdağ, H., Bozkurt, R. ve Uçar, A., 1988, Kestelek Bor Yıkama Atıklarından Borun Kazanılması, *Proceeding of the II. International Mineral Processing Symposium*, 4-6.

Özdemir, M. ve Öztürk, N. U., 2003, Utilization Of Clay Wastes Containing Boron As Cement Additives, *Cement and Concrete Research*, 33 (10), 1659-1661.

Özdemir, M. ve Uğurlu, A., 2007, Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimentoda Değerlendirilmesi, 2, *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 12-13.

Özen, P., 2015, Sert Porselen Gövdelerde Bor Atiği Kullanimi Ve KarakterİzasyonuYüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi* Bilecik, 56-58.

Özkan, İ., 2017, Utilization Of Bigadiç Boron Works Waste Clay In Wall Tile Production, *Acta Physica Polonica A*, 132 (3), 427-429.

Özorak, C., 2014, Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon, 46-53.

Öztürk, A. Ç., 2001, Tuğla Üretiminde Termik Santral Atığı Puzolanik Uçucu Küllerin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, *Mimar Sinan Üniversitesi*, İstanbul, 10-17.

Radivojević, A. ve Dervissis, D., 2001, Production and Testing of Bricks for Repair Work, *2nd International Congress in Studies in Ancient Structures, Istanbul*, 581-588.

Rahman, M. E., Ong, P. J., Nabinejad, O., Islam, S., Khandoker, N. A. N., Pakrashi, V. ve Shorowordi, K. M., 2018, Utilization Of Blended Waste Materials In Bricks, *Technologies*, 6 (1), 20.

Sabah, E. ve Yeşilkaya, L., 2000, Farklı Tipte Polimerlerle Kırka Boraks İşletmesi Tınkal Konsantratörü Atıklannın Çökelme Davranışlarının İncelenmesi, *Cevher Hazırlama Ve Zenginleştirme Derneği Yayını* (3), 1-12.

Saçlı, İ. H., 2015, Ordu İli Fındık Bahçelerinin Bor Beslenme Durumunun Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, *Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ordu, 53-55.

Sağdıç, T., 2001, Kastamonu Geleneksel Kent Dokusunda Sosyo-Kültürel Değişmenin Konut Mekanına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 4-15.

Sağlık, A., Sümer, O., Tunç, E., Kocabeyler, M. F. ve Çelik, R. S., 2009, Borlu Aktif Belit (BAB) Çimentosu Ve DSİ Projelerinde Uygulanabilirliği, *DSİ Teknik Bülteni* (105), 1-22.

Sallıo, N., 2005, Mevcut Yığma Yapıların Deprem Bakımından İncelenmesi Ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Denizli, 32-39.

Sarıağaç, G., 2012, Kırka Tinkal Bor Atıklarından Gözenekli Agrega Üretimi Ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon 56-58.

Sayın, E., Baran, T., Solak, Ö., Yamık, A., Batar, T., 2007, Tinkal Cevheri Ve Bor Atıklarının Seramik Yapıştırıcısı Ve Su Yalıtım Harcında Kullanımı, *6. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 428-437.

Sevgilioğlu, A., 2017, Kastamonu İli, Merkez İlçesi, Boyacızade Konağının Restorasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul, 10-15.

Sivrikaya, H. ve Saraçbaşı, A., 2004, Bor Madeninin Ahşap Koruma Endüstrisinde Değerlendirilmesi, *II. Uluslararası Bor Sempozyumu,* Eskişehir.

Skoog, D. A., West, D. M. ve Holler, F. J., 1996, Chemical Methods Of Analysis, Fundamentals Of Analytical Chemistry, *Saunders Publishing*, Orlando, Florida, 640–664.

Soya, E., 2016, Bor Türevlerinin Benign Prostat Hiperplazisi (Bph) Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans, *Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,* Manisa, 11-12.

Sömer, S., 2014, Antik Yapılarda Kullanılan Tuğla Malzemelerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta, 32-58.

Sönmez, E. ve Yorulmaz, S., 1995, Kırka Boraks İşletmesi Artık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 163-165.

Sürül, O., 2015, Yüksek Fırın Cürufu Ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans, *Bülent Ecevit*, Zonguldak, 6-8.

Sütçü, M., Alptekin, H., Erdogmus, E., Er, Y. ve Gencel, O., 2015, Characteristics Of Fired Clay Bricks With Waste Marble Powder Addition As Building Materials, *Construction and Building Materials*, 82, 1-8.

Şahin, M., 2009, Borik Asit Katkılı Tuğla Üretiminin Araştırılması, Yüksek Lisans, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,* 42-63.

Şahin, Ş. E., 2008, Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi,* Kütahya, 3-4.

Şimşek, A., Korkmaz, D., Velioğlu, Y. S. ve Ataman, O. Y., 2003, Determination Of Boron In Hazelnut (Corylus Avellana L.) Varieties By İnductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry And Spectrophotometry, *Food chemistry,* 83 (2), 293-296.

Targan, Ş., Erdoğan, Y. ve Olgun, A., 2002, Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Termik Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi, *1. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Kütahya, 259-266.

Topçu, İ. B. ve Boğa, A. R., 2005, Bor Atıklı Çimento Harçlarının Dayanıklılığı, *I. Ulusal Bor Çalıştayı,* 28-29.

Topçuoğlu, G., 2017, Kastamonu İli, Merkez İlçesindeki Barutçu Konutunun Restorasyon Önerisi, Yüksek Lisans, *Gazi Üniversitesi,* Ankara, 3-7.

Türköz, M., 2007, Yüksek Plastisiteli Killerin Şişme Potansiyelinin Direkt Deneylerle Belirlenmesi ve Karşılaştırmalı Analiz, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi,* Eskişehir, 6-14.

Uğurlu, A., Özdemir, M. ve Topçu, İ., 2004, Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi, *2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir*.

Ulusoy, H., 2012, Eskişehir Kırka Yöresinde Bor Madeni Çevresinde Yaşayan İlköğretim Çağındaki Çocuklarda Kan Bor Düzeyinin Ölçülmesi, Tıpta Uzmanlık Tezi, *Osmangazi Üniversitesi, Tıp Fakültesi,* Eskişehir, 11-30.

Uslu, T. ve Arol, A. İ., 2004, Use Of Boron Waste As An Additive In Red Bricks, *Waste Management*, 24 (2), 217-220.

WHO, 1996, Trace Elements In Human Nutrition And Health, World Health Organization.

Viswanath, P., 2007, Development Of Polymer Cement Composites Doctor Of Philosophy, *Cochin University Of Science And Technology*, Kerala, Indıa.

Yaman, C., 1997, Bor Minerali Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanılabilirliği, *VIII. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı,* Kütahya, 345-352.

Yamık, A., Tosun, İ. Y., Güneş, N. ve Topal, E., 1995, Kırka Boraks Atıklarının Soda Liçi, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, İzmir, 43-48.

Yanez, M. J. ve Barbosa, S. E., 2003, Changes In Particle Area Measurements Due To SEM Accelerating Voltage And Magnification, *Microscopy Research And Technique,* 61 (5), 463-468.

Yerel, S., Özbay, S. ve Gence, N., 2005, Bor Madeni Ve Önemi, *Teknik Bilimler Dergisi Soma*, 3, 22-36.

Yıldırım, H., 2014, Kronik Bor Etkisinde Kalan Ve Kalmayan Kadınların Eksfoliye Serviks Hücrelerinde Mikronükleus Sıklığının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 4.

Yıldız, A., 1999, Seramik Killeri ve Özellikleri, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-30.

Yıldız, S., 2008, Emet Bor İşletmesi Hisarcık Konsantratör Atıklarının Portland Çimentosu Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 26-28.

Yılmaz, A., Koçu, N. ve Demircan, H., 2015, Örnek Konutlar Geleneksel Kastamonu Evlerinin Enerji Verimliliği Açısından Üzerinden İncelenmesi, *2. Ulusal Meslek Yüksekokullari Sosyal Ve Teknik Bilimler Kongresi*, Erzincan, 225.

Yılmaz, A. ve Korkmaz, S. Z., 2016, Geleneksel Abana Evlerinde Kullanılan Dış Cephe Malzemeleri, *1. Uluslararası Abana Sempozyumu*, Kastamonu, 217-223.

Yılmaz, T. M., Boncukoğlu, R., Yılmaz, A. E. ve Kocakerim, M. M., 2006, Bor Endüstrisi Atık Sularından Bulanıklığın Koagülasyonla Giderilmesi, *III. Uluslararası Bor Sempozyumu*, Ankara, 533.

Zal, B., 2010, Zeolit, Tras Ve Uçucu Kül İle Tuğla Üretimi Ve Standard Tuğla İle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans, *Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 11-15.

Zambi, O., 2015, Arpacık İriliği Ve Bor Uygulamalarının Yeşil Soğanda Verim Ve Kaliteye Etkisi, Yüksek Lisans, *Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ordu, 7-8.

Zor, A., 2012, Geleneksel Konut Yapılarının Korunmasının Ekolojik Dengeye Sağladığı Katkılar Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 24-25.

Zorer, Ö. S., Ceylan, H. ve Doğru, M., 2008, Assessment Of Some Trace Heavy Metals And Radioactivity Concentration In Water Of Bendimahi River Basin (Van, Turkey), *Environmental monitoring and assessment*, 147 (1-3), 183-190.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Arzu ÇAĞLAR
Uyruğu	**:**	TC.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Erzincan ve 1985
Telefon	**:**	
Faks	**:**	
e-mail	**:**	arzucaglar2471@gmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Anadolu Ticaret Meslek Lisesi, Merkez, Erzincan**	**2003**
Üniversite	:	**Fırat Üniversitesi, Merkez, Elazığ**	**2009**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2012**
Doktora	:	**Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya**	**2018**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2011-2012	**Erzincan Fatih Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi**	**Öğretmen**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

1. **Yılmaz, A.,** Korkmaz S.Z, Korur S. (2011). "Depremler ve Sonrasında Yaşanan Çevre Sorunları", *e-journal of New World Sciences Academy,* Vol:6, Num:4, ss: 1212-1223.
2. Korkmaz, S.Z, Aydın D., **Yılmaz A.,** Korkmaz H.H (2013). "Evaluation Of Earthquake Consciousness In Architectural Education", *Uluslararası Van Deprem Sempozyumu, Van.*
3. **Yılmaz, A.,** Koçu, N, Demircan H. (2015). "Örnek Konutlar Üzerinden Geleneksel Kastamonu Evlerinin Yapı Fiziği Açısından İncelenmesi", *II. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi, Erzincan.*

4. **Yılmaz A.,** Korkmaz S.Z, (2016). "Geleneksel Abana Evlerinde Kullanılan Dış Cephe Malzemeleri", *I. Uluslararası Abana Sempozyumu, Kastamonu.*
5. **Yılmaz A.,** Tuğla R., (2016). "Kamu Binalarında Mantolama Sisteminin Enerji Tasarrufuna Etkisi: Abana Örneği", *I.Uluslararası Abana Sempozyumu, Kastamonu.*
6. Bayraktar O. Y.,Sağlam Çitoğlu G., Çağlar H., **Yılmaz A.,** (2016). "Abana İlçesindeki Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Tespiti ve Güçlendirme Önerileri", *1.Uluslararası Abana Sempozyumu, Kastamonu.*
7. **Çağlar A.,** Çağlar H., Koçu N., (2017). "IV. Derece İklim Bölgelerinde Bulunan Üç Farklı Duvar Tipindeki Konutların Yalıtım Sonrası enerji Tasarrufunun Karşılaştırılması", *Uluslararası Taşköprü Pompeipolis Bilim Kültür Sanat Araştırmaları Sempozyumu, Kastamonu. (Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.)*
8. **Çağlar A.,** Çağlar H., Koçu N., (2017). "Üç Farklı Duvar Tipine Uygulanan Isı Yalıtımının Termal Kamera Yöntemiyle Incelenmesi", *Uluslararası Tasköprü Pompeiopolis Bilim Kültür Sanat Araştırmaları Sempozyumu, Kastamonu. (Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.)*
9. Çağlar H., Yazıcıoğlu S., Uslu İ., **Çağlar A.,** Aksu M. L. (2017). "*An Investigation Of The Effect Of PVA And Boric Acid On Concrete Mixtures" 3rd International Sustainable Buildings Symposium, Dubai.*
10. **Çağlar A.,** Çağlar H., Koçu N., Yazıcıoğlu S. (2017). "*Investigation Of The Mantle System Applied To Outer Shell Of Apartment Buildings In Terms Of Energy Efficiency (Erzıncan Case). 3rd International Sustainable Buildings Symposium, Dubai. (Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.)*
11. Çağlar H., **Çağlar A.,** Bayraktar O.Y., Sağlam Çitoğlu G., (2017). *"Yapı Dış Kabuğunda Çift Kabuk Cam Cephe Sistemleri", 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya.*
12. **Çağlar A.,** Çağlar H, Sağlam Çitoğlu G., Bayraktar O.Y., (2017). *"Geridönüştürülmüş Agregaların İnşaat Sektöründe Yeniden Kullanımı", 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya.*
13. **Çağlar A.,** Çağlar A., Uslu İ., *"Ateş Tuğlasının Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Karakterizasyonu",* (2017). *1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya.*
14. **Çağlar A.,** Korkmaz S.Z., Demirel B., Çağlar H., (2017). *"Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Mevcut ve Fabrika Üretimi Harman Tuğlaların Fiziksel ve*

Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması", 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya. (Doktora Tezinden üretilmiştir.)

15. Sağlam Çitoğlu G., Bayraktar O.Y., **Çağlar A.,** Çağlar H., (2017). "Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Basınç Dayanımına Etkileri", *1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya*.

16. Bayraktar O.Y., Sağlam Çitoğlu G., Çağlar H., **Çağlar A.,** (2017). "Yapılarda Termal Kamera İle Isı Yalıtım Tespitlerinin Yapılmasi", *1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya*.

17. Çağlar H., **Çağlar A.,** Korkmaz S.Z., Demirel B., Bayraktar O.Y., 2018. "Geleneksel Kastamonu Evlerinin İnşasında Kullanilan El İle Üretilmiş Harman Tuğla İle Fabrikasyon Olarak Üretilen Tuğlanin Fiziksel, Mekanik Ve Yapisal Karakterizasyon Özelliklerinin Karşilaştirilmasi", *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (Baskıda)((Doktora Tezinden üretilmiştir.)*.

18. Şahin A., Çağlar H., **Çağlar A.,** Yazıcıoğlu S., Bayraktar O.Y., Çetin M. "Effect of Project Types on Business Health and Safety Practices in the Construction Sector: Focusing on Ankara Province", *International Journal of Scientific and Technological Research*, Vol.: 4, Num.: 3, ss: 11-18.

19. Bayraktar O.Y., Çitoğlu G.S., Çağlar H., **Çağlar A.,** Aslan M., Çetin M., 2018. "The Mechanical Properties of the Different Cooling Requirements of High Temperature Applied Plaster" *Fresenius Environmental Bulletin (in press).*