

**KIRKA TINKAL BOR ATIKLARINDAN
GÖZENEKLİ AGREGA
ÜRETİMİ VE UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülşah SARIAĞAÇ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
HAZİRAN, 2012

Bu tez çalışması 10.MUH.09 numaralı proje ile AKÜ Bilimsel Araştırmalar Projelerler Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRKA TİNKAL BOR ATIKLARINDAN GÖZENEKLİ AGREGA
ÜRETİMİ VE UYGULAMALARI

Gülşah SARIAĞAÇ

DANIşMAN

Doç. Dr. Taner KAVAS

MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2012

TEZ ONAY SAYFASI

Gülşah Sariağaç tarafından hazırlanan “Bor Atıklarından Hafif Agregası Üretimi ve Uygulamaları” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ... /.../2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Taner KAVAS

Başkan : Prof. Dr. Ömer Faruk EMRULLAHOĞLU
Afyon Kocatepe Üniv. Müh. Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. İsmail DEMİR
Afyon Kocatepe Üniv. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Taner KAVAS
Afyon Kocatepe Üniv. Müh. Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim
Kurulu’nun

...../...../.....
tarih ve

.....
sayılı kararıyla
onaylanmıştır.

.....
Enstitü
Müdürü

Prof. Dr. Mevlüt
DOĞAN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24/07/2012

İmza

Gülşah SARIAĞAÇ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIRKA TİNKAL BOR ATIKLARINDAN GÖZENEKLİ AGREGA ÜRETİMİ VE UYGULAMALARI

Gülşah SARIAĞAÇ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD

Danışman: Doç. Dr. Taner KAVAS

Bu çalışmada, Kırka Tinkal bor atıklarının endüstriyel alanda değerlendirilmesi ve bu atıklardan farklı çaplarda hafif agrega üreterek hafif beton üretiminde kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmada ilk olarak; Eskişehir Kırka Tinkal konsantratör bor atığı çeşitleri olan Pestil ve Dekanter atıklarına kurutma, kırma, öğütme ve eleme işlemleri uygulanmıştır. Kimyasal analizi bilinen hammaddelere, minerolojik özelliklerinin incelenmesi ve hedeflenen hafif agrega üretimini gerçekleştirebilmek amacıyla, XRD (X-ray difraksiyon) analizi yapılmıştır. Granül haline getirilen agregalara uygun sıcaklık rejiminin bulunması amacıyla DSC-TG analizleri uygulanmıştır. Agregalar döner fırında 750°C sıcaklıkta 15 dak. süre ile sinterlenmiştir. Üretilen agregalara XRD, SEM ve yoğunluk analizleri yapılmıştır. Hafif beton üretimi için gereken beton hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Üretilen hafif agregalı beton numuneleri 28 gün boyunca kürlenmiş ve sonrasında 7 ve 28 günlük, 3 nokta eğme ve basma dayanım testleri uygulanmıştır. Hafif beton numunelerine ayrıca su emme ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, atıklardan hafif agrega üretiminin mümkün olduğu ve bu agregaların hafif beton üretiminde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

2012, xi + 72 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor atığı, hafif agrega, Eskişehir Kırka Tinkal, hafif beton

ABSTRACT
M.Sc Thesis

**PRODUCTION OF PROUS LIGHT WEIGHT AGREGATE FROM KIRKA BORON
WASTE AND APLICATIONS**

Gülşah SARIAĞAÇ

Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Taner KAVAS

In tis study, evaluation of Kirka tincal boron wastes in different industrial areas by producing aggregates in different sizes and using them in production of concrete. Eskişehir Kirka DBW and SBW boron wastes dried crushed grounded and sieved. XRD analyses performed to ground wastes which's chemical composition known before and by these information appropriate receipt content designed. Granuled aggregates performed to DSC-TG analyse to determine suitable heating condition. Agregates fired at 750°C for 15 min. XRD, SEM analyses and density experiments applied to sintered aggregates. Appropriate concrete design calculations done for producing leight weight concrete. Concretes cured for 28 days. 7 and 28 day 3 point bending and compression strength of concrete determined. Water absorbtion and density measuremen tests performed to hardened LW concretes. As result of study the boron wastes are suitable for producing light-weight aggregates and these aggragates are compatible for leight-weight concrete production

2012, xi + 72 pages

Key words: Boron waste, Leight Weight Concrete, Leight Weight Aggregates

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 10.MUH.09 numaralı proje kapsamında gerçekleŐtirilmiŐ olup maddi desteklerinden dolayı ilgili birimlere, değerli bilgilerini benimle paylaŐan tez danıŐmanım Doç. Dr. Taner KAVAS'a, laboratuvar çalıŐmalarımnda hep desteğini yanımda hissettiğim çok değerli arkadaŐım ArŐ. Grv. Hasan SATILMIŐ'a teŐekkÖrlerimi sunarım. Ayrıca lisans ve yÖksek lisans eğitimimi aldığım sÖre içinde kendimi yetiŐtirmeme yardımcı olan tÖm hocalarıma da teŐekkÖrler ederim.

Son olarak hayatım boyunca her zaman maddi manevi desteklerini yanımda hissettiğim ailem ve sevgili eŐim Hamdi SARIAğA'a çok değerli dostum Nesli ŐAHİN'e sonsuz teŐekkÖr ediyorum.

GÖlŐah SARIAğA

AFYONKARAHİSAR, Haziran 2012

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1. Bor Minerali.....	3
2.1.1 Tarihçe.....	3
2.1.2 Borun Tanımı ve Özellikleri.....	4
2.1.3 Borun Oluşumu.....	5
2.1.4 Bor Mineralleri ve Bileşimleri.....	5
2.1.4.1 Kolemanit.....	7
2.1.4.2 Probertit.....	7
2.1.4.3 Pandermit.....	8
2.1.4.4 Hidroborasit.....	8
2.1.4.5 Tinkal (Boraks).....	9
2.1.4.6 Kernit (Razorit).....	9
2.1.4.7 Üleksit.....	10
2.1.5 Kullanım alanları.....	10
2.1.6 Bor Ürün Çeşitleri.....	11
2.1.6.1 Ham Bor Ürünleri.....	11
2.1.6.2 Rafine Bor Ürünleri.....	12

2.1.6.3	Uç Ürünleri.....	13
2.1.7	Bor Atıkları.....	14
2.1.7.1	Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri.....	14
2.1.7.2	Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri.....	15
2.1.7.3	Kırka Bor İşletmeleri Atıkları.....	16
2.1.7.3.1	Kırka Bor İşletmeleri.....	17
2.1.7.3.2	Konsantratör Tesisi.....	17
2.1.8	Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri.....	18
2.1.8.1	Dünya Bor Rezervleri.....	19
2.2	Hafif Yapı Malzemeleri.....	21
2.2.1	Perlit.....	22
2.2.2	Pomza.....	23
2.2.3	Gazbeton (Ytong).....	23
2.2.4	Diyatomit.....	24
2.3	Agrega Tanımı.....	26
2.3.1	Hafif Agregaların Sınıflandırılması.....	27
2.3.1.1	Doğal Hafif Agregalar.....	27
2.3.1.2	Yapay Hafif Agregalar.....	27
2.3.1.3	İşlenmiş Doğal Hafif Agregalar.....	27
2.3.1.4	İşlenmiş Yapay Agregalar.....	28
2.3.1.5	Organik Hafif Agregalar.....	28
2.4	Beton Nedir.....	28
2.4.1	Betonun Avantajları.....	29
2.4.2	Betonun Dezavantajları.....	30
2.4.3	Betonun Özellikleri.....	31
2.4.3.1	İşlenebilirlik.....	31
2.4.3.2	Dayanıklılık (Durabilite).....	32
2.4.4	Hafif Beton.....	33
2.4.4.1	Hafif Betonların Geleneksel Betonlara Göre Başlıca Üstünlükleri.....	33
2.4.4.2	Hafif Betonların Geleneksel Betonlara Göre Başlıca Dezavantajları.....	34

3	MATERYAL ve METOT.....	35
3.1	Amaç.....	35
3.2	Deney Programı.....	35
3.3	Deneyde Kullanılan Hammaddeler ve Hazırlanması.....	36
3.3.1	Dekanter ve Pestil Atığı.....	36
3.3.2	Kil.....	38
3.3.3	Kuvarz.....	38
3.3.4	Dolomit.....	38
3.3.5	Çimento.....	38
3.3.6	Su.....	40
3.3.7	Pomza.....	40
3.3.8	Diatomit.....	41
3.3.9	Zeolit.....	41
3.4	Reçetelerin Oluşturulması ve Deneysel Çalışmalar.....	42
3.4.1	Agrega Reçetelerinin Hazırlanması.....	42
3.4.2	Beton Reçetelerinin Hazırlanması.....	45
3.5	Aregalara Uygulanan Analizleri.....	48
3.5.1	Gevşek ve Sıkı Birim Ağırlık Hesaplaması.....	48
3.5.2	Görünür Porozite Hesaplanması.....	48
3.5.3	Görünür Yoğunluk Hesaplanması.....	48
3.5.4	Bulk Yoğunluk Hesaplaması.....	48
3.5.5	Kapalı Gözeneklilik Hesaplaması.....	48
3.5.6	Toplam Porozite Hesaplaması.....	49
3.5.7	Minerolojik Analiz (XRD).....	49
3.5.8	Termal Analizler (DSC-TG).....	50
3.5.9	Mikro Yapı Analizi (SEM).....	51
3.6	Sertleşmiş Betona Yapılan Deneyler.....	52
3.6.1	Sertleşmiş Hafif Betona Yapılan Mukavemet Deneyleri.....	52
3.6.2	Sertleşmiş Betona yapılan Su Emme Deneyi.....	53
3.6.3	Sertleşmiş Hafif Betonun Görünür Porozite Hesaplaması.....	53

3.6.4 Sertleşmiş Hafif Betonun Görünür Yoğunluk Hesaplaması.....	53
3.6.5 Sertleşmiş Hafif Betonun Bulk Yoğunluk Hesaplaması.....	54
3.6.6 Sertleşmiş Hafif Betonun Kapalı Gözeneklilik Hesaplaması.....	54
3.6.7 Sertleşmiş Hafif Betonun Toplam Porozite Hesaplaması.....	54
4.BULGULAR.....	55
4.1 Agrega Numunelerine Uygulanan Analizlerin Sonuçları ve İrdelenmesi..	56
4.1.1 M2 Agrega Numunelerinin Minerolojik Analiz (XRD) Desenleri..	55
4.1.2 M2 Agrega Numunelerinin Termal Analiz (DSC-TG) desenleri...	56
4.1.3 M2 Agrega Numunelerinin Mikro Yapı (SEM) Analizleri.....	57
4.1.4 Agrega Numunelerinin Yoğunluk Değerleri.....	61
4.2 Beton Numunelerine Uygulanan Deneyler.....	61
4.2.1 Beton Numunelerinin Su emme Değerleri.....	61
4.2.2 Beton Numunelerinin Mukavemet Değerleri.....	62
5 . TARTIŞMA ve SONUÇ.....	64
6 . KAYNAKLAR.....	65
7 . ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Σ	Basınç dayanımı
cal	Kalori
cm	Santimetre
dak	Dakika
m ²	Metrekare
°C	Derece Santigrat
gr.	Gram
Kg	Kilogram
Mpa	Megapaskal
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
mm ²	Milimetrekare
s	Saniye

Kısaltmalar

A1	Sertleşmiş betonun kuru ağırlığı
A	Numunenin yüzey alanı
A2	Sertleşmiş betonunu doymun kuru yüzey ağırlığı
F _c	Numunenin yenilme yük değeri
HA	Hafif agrega
HB	Hafif beton
M2	Agrega üretimi için hazırlanan hammadde reçetesi
M2-a	1 mm ve 2 mm boyut aralığındaki numuneler
M2- b	2 mm ve 3 mm boyut aralığındaki numuneler
M2- c	3 mm ve 4 mm boyut aralığındaki numuneler
TS	Türk standartları
TSE	Türk standartları ensitüsü
W _{kuru}	Etüv kurusu ağırlık
W _{suda}	Sudaki ağırlık
W _{dky}	Doymun kuru yüzey ağırlık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bor Atıklarının Değerlendirilmesinde Mevcut Seçenekler.....	15
Şekil 2.2 Kırka Boraks Tesisi Atık Göletlerinin Şematik Gösterimi.....	16
Şekil 2.3 Ham Bor Ürünleri ve Buldukları Yerler.....	18
Şekil 2.4 Dünya Bor Rezervinin Ülkelere Göre Dağılımı.....	20
Şekil 2.5 Hafif Agreganın Genel Görünümü.....	26
Şekil 3.1 Pestil Atığına Ait Temsili Numunenin XRD Desenleri.....	37
Şekil 3.2 Dekanter atığına ait temsili numunenin XRD Desenleri.....	38
Şekil 4.1 M2 Reçetesine Ait XRD Desenleri.....	55
Şekil 4.2 M2 Reçetesine Ait DSC Analizi Desenleri.....	56
Şekil 4.3 M2 Reçetesine Ait TG Analizi Desenleri.....	57
Şekil 4.4 M2 Agregası Numunelerinin Dış Yüzey SEM Analizi Sonucu (a).....	58
Şekil 4.5 M2 Agregası Numunelerinin Dış Yüzey SEM Analizi Sonucu (b).....	58
Şekil 4.6 M2 Agregası Numunelerinin Dış Yüzey SEM Analizi Sonucu (c).....	59
Şekil 4.7 M2 Agregası Numunelerinin Kırık Yüzey SEM Analizi Sonucu (a).....	59
Şekil 4.8 M2 Agregası Numunelerinin Kırık Yüzey SEM Analizi Sonucu (b).....	60
Şekil 4.9 M2 Agregası Numunelerinin Kırık Yüzey SEM Analizi Sonucu (c).....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Ticari Önemi Olan Bor Mineralleri.....	6
Çizelge 2.2 Bor Cevheri ve Kullanım Alanları.....	11
Çizelge 2.3 Ham Bor Ürünleri ve Buldukları Yerler.....	12
Çizelge 2.4 Rafine Bor Ürünleri ve Buldukları Yerler.....	13
Çizelge 2.5 Dünya Bor Rezervleri (Milyon Ton B ₂ O ₃).....	21
Çizelge 3.1 Pestil ve Dekanter Atığına Ait Kimyasal Kompozisyonlar.....	37
Çizelge 3.2 Pomza' nın Genel Kimyasal Bileşimi.....	39
Çizelge 3.3 Diyatomit'in Genel Kimyasal Bileşimi.....	40
Çizelge 3.4 Zeolit'in Genel Kimyasal Bileşimi.....	40
Çizelge 3.5 Örnek Agrega Sisteminin Bileşimi.....	41
Çizelge 3.6 M2 reçetesine Ait Numune Kodları ve Boyut Aralıkları.....	41
Çizelge 3.7 Beton Karışım Oranları.....	41
Çizelge 3.8 Örnek Agrega Sisteminin Bileşimi.....	43
Çizelge 3.9 M2 Reçetesine Ait Numune Kodları ve Boyut Aralıkları.....	45
Çizelge 3.10 Beton Karışım Oranları.....	46
Çizelge 4.1 Agrega Numunelerine Ait Yoğunluk Değerleri.....	61
Çizelge 4.2 Beton Numunelerinin Su Emme Değerleri.....	62
Çizelge 4.3 Beton Numunelerinin Mukavemet Değerleri.....	63

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Borun Kristal Yapısı.....	4
Resim 2.2 Kolemanitin Genel Görünümü.....	7
Resim 2.3 Probertitin Genel Görünümü.....	7
Resim 2.4 Pandemitin Genel Görünümü.....	8
Resim 2.5 Hidroborasitin Genel Görünümü.....	8
Resim 2.6 Tinkal (boraks) in Genel Görünümü.....	9
Resim 2.7 Kernit (razorit) in Genel Görünümü.....	9
Resim 2.8 Üleksitin Genel Görünümü.....	10
Resim 2.9 Perlitin Genel Görünümü.....	23
Resim 2.10 Bazik Pomzanın Genel Görünümü.....	24
Resim 2.11 Asidik Pomzanın Genel Görünümü.....	24
Resim 2.12 Gazbetonun Genel Görünümü.....	25
Resim 2.13 Diatomitin Genel Görünümü.....	25
Resim 3.1 Memmert Marka UNB 400 Model Laboratuar Tipi Etüv.....	42
Resim 3.2 M2 Reçetesine Ait Ham Pelet Numuneleri.....	43
Resim 3.3 Döner Fırının Görüntüsü.....	44
Resim 3.4 750° C de Sinterlenen M2 Pelet Numuneleri.....	44
Resim 3.5 Beton Mikseri.....	46
Resim 3.6 4x4x16 cm Boyutlarındaki Şok Tablası.....	47
Resim 3.7 Kür Dolabı.....	47
Resim 3.8 XRD Cihazına Ait Görüntü.....	49
Resim 3.9 DSC-TG Cihazına Ait Görüntü.....	51
Resim 3.10 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	51
Resim 3.11 Termodinamik Emme ve Basma Test Cihazı.....	52

1. GİRİŞ

Ülkelerin endüstriyel ve ekonomik gelişmelerinde önemli yer tutan doğal kaynaklar tarih boyunca güncelliğini hiç yitirmeden, insanlığın uğraşısına büyük çapta konu olmuşlardır. Doğal kaynaklarını en üst düzeyde değerlendirebilen ülkeler ileri bir gelişme aşamasına gelmişlerdir. Sadece hammadde üreticisi olarak kalan ülkeler ise bu alanda yeterince gelişmemişlerdir.

Türkiye’de genel olarak bilinen ve maden denilince kömürden sonra ilk akla gelen bor madenleridir. Türkiye’nin bor madenlerinden başka dünya çapında söz sahibi olduğu ikinci bir maden yoktur. Türkiye’nin geniş bor rezervlerinin yanı sıra üretim açısından da avantajları bulunmaktadır. Bor cevherlerimiz nispeten belirli alanlarda büyük yataklar halinde bulunmakta ve açık ocak yöntemiyle üretim yapılabilir. Ayrıca bor madenlerinin zenginleştirilmesi de oldukça kolaydır. Dünyadaki yıllık bor tüketiminin yaklaşık % 75’i Avrupa ve Kuzey Amerika’da gerçekleşirken, Türkiye’nin tüketimi dünya tüketiminin %3,6’sı düzeyinde kalmaktadır. Türkiye’nin yıllık konsantre ve rafine bor üretiminin ortalama % 8’i yurt içinde tüketilmektedir (Eti Maden 2006).

Dünyadaki benzerlerinin içerisinde en büyük rezerve sahip olan tıncal yatağı ülkemizde bulunmaktadır. Dolayısıyla, bor ürünlerinin üretiminde söz sahibi olması beklenmelidir. Bu güne kadar üretim esnasında açığa çıkan atık miktarı oldukça fazladır ve gün geçtikçe sorun oluşturmaktadır (Kavas 1997). Doğal olarak, bu güne kadar atıklar oldukça büyük miktarlara ulaşmışlardır. Bu atıklar gün geçtikçe sorun teşkil etmektedir. Ayrıca, doğal çevre bu ve bunun gibi her türlü sanayi ve üretim atığından zarar görmekte, sonuçta doğada tamiri zor hasarlar ortaya çıkmaktadır. Söz konusu zararların önüne geçmenin bir yolu da böylesi endüstriyel atıkların diğer sektörlerde kullanım olanaklarının bulunmasıdır. Bu sayede, ülkemiz hammadde sorununun bir kısmı da aşılabilecektir. Etibor Kırka Boraks İşletmesi konsantratör atıkları iki tip olup birisi konsantratör şlam diğeri ise konsantratör kil pestili atığıdır (Kavas 1997). Her iki türde bileşiminde yüksek sayılabilecek oranda B_2O_3 ün yanı sıra, sırasıyla MgO , CaO , S_1O_2 ve Na_2O ile birlikte eser miktarda SrO , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 bulundurmaktadır (Kartal 1998).

Beton başlıca agrega, su, çimento ve diğer katkı maddelerinden oluşan bir bileşimdir. Bu maddeler birbirleriyle uygun oranda karıştırıldığı zaman kalıplara dökülebilir ve bu kalıpların kolayca seklini alırlar. Çimentonun su ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu belli bir zaman süresi içinde bu bileşim sertleşir ve mukavemet kazanır.

Günümüzde hafif betonun üretimi çeşitli malzeme ve yapım yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla doğal veya yapay agregalar kullanılmaktadır. Bu malzemeler ülkemizde arzu edilen ölçüde kullanılmamakla birlikte yine de uygulama alanı bulunmaktadır (Uysal 1999).

Hafif beton, bağlayıcı çimento hamurunun geliştirilmesi suretiyle ya da sadece geleneksel iri agrega kullanarak (kumsuz) elde edilebildiği gibi beton bileşiminde, geleneksel agrega yerine, hafif agrega kullanılarak da elde edilebilir. Bağlayıcı çimento hamurunun geliştirme tekniği, bu hamur içinde gaz kabarcıkları oluşturmaktan ibarettir. Bu amaçla karma suyu miktarını artırmadan taze betonun işlenebilirliğini artıran, plastikleştirici maddeler kullanılmaktadır. Ancak özellikle yapı betonu için tek başına kullanılan teknik, hafif agrega kullanmaktan ibarettir. Kullanılabilecek agregalar; pomza, volkanik tüf, volkanif cüruf gibi doğal malzemeler veya geliştirilmiş kil, geliştirilmiş şist, geliştirilmiş perlit, ucucu kül, yüksek fırın cürufu gibi yapay hafif agregalar ve tahıl taneleri gibi bazı organik malzemelerde kullanılmaktadır. Taşıyıcı elemanlara gelen yüklerin fazlalığından dolayı yapının önemli derecede depremden etkilendiği bilinen bir gerçektir. Bu sebeple taşıyıcı elemanlara gelen yükleri azaltmak için daha hafif malzemeler kullanılmalıdır (Yalçınalp 2000).

Bu çalışmanın amacı; bor atıklarından agrega üretimi gerçekleştirerek bu agregaları hafif beton sistemlerinde kullanmaktır. Böylece bor atıklarına endüstriyel alanda farklı kullanım alanları sağlanmış ve ülke ekonomisine uzun vadede büyük faydalar sağlanmış olacaktır.

2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Bor Minerali

2.1.1 Tarihçe

İnsanlar element borla bu yüzyılın başlarında tanışmış olmalarına rağmen bileşiklerinden binlerce yıldır yararlanmaktadır. Arapça Buraq/baurach terimi ile ifade edilen bor bileşikleri yaklaşık 4000 yıl öncesinden beri, yani Babilliler döneminden bu yana bilinmekte ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Mısır ve Mezopotamya uygarlıkları yara tedavisinde ve ölümlerin mumyalanmasında, eski Yunanlılar ve Romalılar ise temizlik maddesi olarak bor bileşiklerini kullanmışlardır. Eski Çin uygarlığında porselen sırası olarak kullanılan bor bileşikleri Himalaya topluluklarında da değerli metalleri eritmek amacıyla kullanılmıştır (Smith vd. 2002).

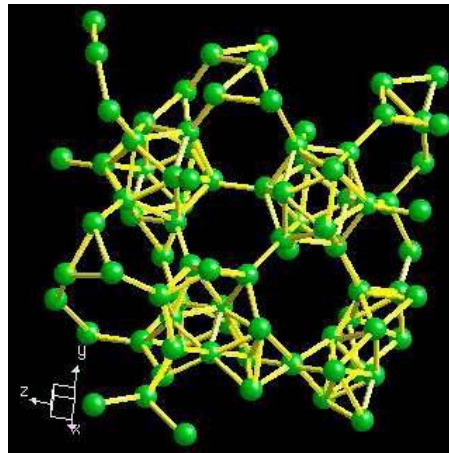
Avrupa'ya 13. yüzyılda Marko Polo tarafından getirilmiş, Avrupa' daki ilk bor oluşumuna ise 1827 yılında İtalya'da rastlanmıştır. Güney Amerika'da bor minerallerinin keşfi 1850'li yıllara rastlamaktadır. Türk bor yatakları ise ilk çağlardan bu yana bilinmelerine rağmen ilk olarak 19. yüzyılın ortalarından sonra ciddi olarak ele alınmışlardır. Fakat bu yataklar çok uzun yıllar yabancı şirketler tarafından işletilmiş ve ancak 1935 yılında MTA ve Etibank'ın kurulmasından sonra kıymetleri ve büyüklükleri anlaşılmaya başlanmıştır. Daha sonraları 1950'de Bigadiç'de ve 1956' da Emet'de kolemanit yatakları bulunmuş, 1958'de Emet'deki, 1968'de de eskiden beri bilinen Kırka-Sarıkaya' daki yataklar Etibank'a devredilmiştir. 1979'daki devletleştirme ile tüm bor yataklarının işletme imtiyazı Etibank'a verilmiştir. ABD'nde bor mineralleri ilk olarak 1864'de San Fransisko'daki kuru göllerden üretilmeye başlanmış, ilk tinkal oluşumuna 1872'de Nevada'da rastlanmıştır. 1887 de Calico dağında kolemanit bulunmuş ve 1925'de Kaliforniya'nın Kern ilinde ABD'ndeki en büyük boraks oluşumu olan Kramer (Boron) yatağı keşfedilmiştir. ABD ve Türkiye bugün bu yataklardan yaptıkları üretimlerle toplam dünya üretiminin % 90'ını karşılamakta ve dünya bor pazarında rekabet etmektedirler (Polat vd. 1987).

2.1.2 Bor Tanımı ve Özellikleri

Periyodik sistemin üçüncü grubunun basında yer alan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olmak üzere iki kararlı izotopa sahiptir. Atom ağırlığı 10.81 g/mol, erime noktası 2200°C, kaynama noktası 2500°C ve yoğunluğu 2.33 g/cm³'tür. Kristal yapılı elementel bor fiziksel görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzer ve hemen hemen elmas kadar serttir. Elementel bor yapay olarak amorf ve kristal formda elde edilebilir. Amorf bor siyah ve kahve renkli toz şeklinde, kristal yapılı bor ise siyah, sert ve kırılğan parçalar halinde bulunur (int. Kyn. 1).

Bor elementinin kimyasal özellikleri kristal yapısına ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Mikron düzeyindeki amorf bor kolaylıkla ve bazen şiddetli olarak reaksiyona girerken, kristal yapılı bor kolayca reaksiyona girmez. Bor yüksek sıcaklıkta su ile reaksiyona girerek borik asit (H₃BO₃) ve diğer ürünleri oluşturur. (int. Kyn. 2).

Bor elementi doğada serbest olarak bulunmaz. Çoğu zaman yüzeye yakın yerküre katmanlarında kolemanit, üleksit ve hidroborasit gibi borat mineralleri formunda yada volkanik kökenli kaynak sularında çözülmüş ortoborik asit formunda bulunur. Silikatlar yada oksijen molekülü ile birleşmiş bor tuzları halinde de bulunur. Sodyum, kalsiyum ve magnezyum ile oluşturduğu bileşikler doğada bulunan en yaygın türlerdir. Bilinen Na-borat, Na-Ca-borat, Mg-borat, Mg-Ca-borat, Sr-borat minerallerinin sayısı yüzü (100) aşmaktadır (Yılmaz vd. 2003).



Resim 2.1 Bor' un kristal yapısı (Bilim ve Ütopya Dergisi 2002)

2.1.3 Borun Oluşumu

Litosferi meydana getiren kayalarda bir miktar bor mevcuttur. Kayaların jeolojik kökeni ve kimyasal bileşimlerine göre bor içeriklerinin değiştiği bilinen bir gerçektir. Granitik ve magmatik kayalar için 0,9-50 ppm, Turmalinli granitler için 310 ppm 'e kadar bor içerdiği saptanmıştır. Bazı magmatik ve volkanik kayaların bor içerikleri farklıdır. Metamorfik kayalar ilksel kayalardaki bor içeriklerini genellikle muhafaza ederler.

Denizsel çökel kayalardan killi şeylerin bor içeriği oldukça yüksek olup, 110-120 ppm'e kadar çıkmaktadır. Ortalama olarak granit 3.0-9.0, ultrabazikler 31.0, Liparit (Asidik volkanik) 31.0, metaşist (Al'ca zengin) 9.0-9.3, karbonatlar (kalker ve dolomit) 3.0-9.0, grovak 35.0, şeyl killi şist 100.0, kil 310.0 ve boksit 3.0 ppm veya gr/ton bor içerirler. Deniz suyunun ortalama bor içeriği 4.6 ppm dir.

İntrüzif magmatiklerde, kontakt metasomatik kayalarda bor silikat mineralleri meydana gelerek yeryüzüne çıkmaktadır. Sıcak su kaynaklarında yapılan incelemelerde bor içeriklerinin 3-30 ppm arasında olduğu görülmüştür.

Bor tuzu yataklarının oluşumu genel olarak üç ayrı şekilde oluşmaktadır. Bu oluşumların dışında kalan yataklar ise "Diğer Tip Bor Yatakları" olarak gruplandırılmaktadır (Sönmez 1991).

2.1.4 Bor Mineralleri ve Bileşimleri

Doğadaki yaklaşık 150 mineralin bor elementi içerdiği bilinmesine rağmen, ticari açıdan değerlendirilen bor mineralleri sınırlı sayıdadır. Bor mineralleri içerdikleri B_2O_3 (bor tri oksit) yüzdelerine göre endüstride pazarlanırlar. Bor minerallerine bazı özel isimler verilmemiş, bunun yerine birleştikleri yani kimyasal olarak içerdikleri katyon veya katyonların adlarıyla adlandırılmıştır (sodyum borat, kalsiyum borat, kalsiyum-magnezyum borat vb).

Bor mineralleri çeşitli cins ve özelliklerde doğada varolmaktadırlar. Bu çeşitlerden ilki olan kristal suyu içeren boratlar kernit, tinkalkonit, tinkal, sorgit, ekawrit, probertit,

üleksit, nobleit, gowerit, florovit, kolemanit, meyerhofferit, iyonit, pandemit, tercit, ginorit, pinnoit, kaliborit, kurnakovit, nderit, predorazhenskit, hidroborasit nderborit, laderellit çeşitlerinden oluşmaktadır. Bunların arasından bizleri ticari anlamda ilgilendirenler ise bir kaçıdır. Bor mineralleri bileşik boratlar, borik asitler, susuz boratlar, borofluoritler, borosilikat mineralleri, turmalin grubu minerallerinden oluşmaktadır (Madencilik Maden Mühendisleri Odası Dergisi 1970).

Yer kabuğundan çeşitli yöntemler ile (delme, patlatma, gevşetme gibi) çıkartılan bor cevherlerine bazı zenginleştirme işlemleri (yıkama, eleme, flotasyon gibi) uygulanmaktadır. Elde edilen zenginleştirilmiş mineraller daha ileri bir ilsem uygulanmaksızın tüketilebildiği gibi daha ileri kimyasal işlemler uygulanarak rafine ve uç ürünlere de dönüştürülmektedir.

Çizelge 2.1 Ticari önemi olan bor mineralleri (Madencilik Maden Mühendisleri Odası Dergisi 1970).

Mineralin Adı	Basit Formülü	% B₂O₃	Bulunduğu Yer
Boraks (Tinkal)	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razolit)	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0	Kırka, A.B.D, Arjantin
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0	Bigadiç, Kırka, Emet, Arjantin
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8	Bigadiç, Emet, Küçükler A.B.D
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	Kestelek, Emet, A.B.D
Pandemit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8	Bigadiç, Sultançayır
Borasit	Mg ₃ B ₇ O ₁₃ Cl	62.2	Almanya
Szaybelit	MgBO ₂ (OH)	41.4	Çin, Kazakistan
Hidroborasit	CaMgBO ₁₁ .6H ₂ O	50.5	Emet

2.1.4.1 Kolemanit

Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) mono klinik sistemde kristallenir. Sertliği 4-4,5 özgül ağırlığı 2,42'dir. B_2O_3 içeriği % 50'dir. Suda yavaş, HCl' de hızlı özünür. Bor bileşikleri içinde en yaygın olanıdır. Killer içinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller halinde bulunur. Türkiye'de Emet, Bigadiç, Kestelek yataklarında ve dünya' da A.B.D' de bulunur (Eti Maden İşletmeleri katalogları).



Resim 2.2 Kolemanitin genel görünümü

2.1.4.2 Probertit

Probertit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) kirlı beyaz, açık sarımsı renklere olup ısınal ve lifsi şekilli kristaller halinde bulunur. Kristal boyutları 5 mm ile 5 cm arasında değişir, B_2O_3 içeriği % 49,6'dir. Kestelek yataklarında üleksit'in yanında ikincil mineral olarak gözlenir. Ancak Emet'te üniform tabakalı birincil olarak, Doğanlar-İgdeköy bölgesinde kalın tabakalı olarak bulunur (Eti Maden İşletmeleri katalogları).



Resim 2.3 Probertitin genel görünümü

2.1.4.3 Pandermit (Priseit)

Pandermit ($\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19}\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) beyaz renkte ve yekpare olarak gözükmekte, kireçtaşına benzemektedir. Sultançayırı ve Bigadiç yataklarında gözlenmektedir. Kolemanit ve kalsite dönüşmektedir. B_2O_3 içeriği % 49,8'dir (Eti Maden İşletmeleri katalogları).



Resim 2.4 Pandermitin genel görünümü

2.1.4.4 Hidroborasit

Hidroborasit ($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$); Bir merkezden ırsinal ve iğne şeklindeki kristallerin rastgele yönlenmiş ve birbirini kesen kümeleri halinde bulunur. Lifsi bir dokuya sahiptir. B_2O_3 içeriği % 50,5'dir. Beyaz renkte, bazen içerisindeki safsızlıklara bağlı olarak sarı veya kırmızımsı renklere (arsenik içeriğine göre) ve kolemanit, üleksit, probertit, tunelit ile birlikte bulunur. Türkiye'de en çok Emet-Doğanlar- İğdeköy sahasında ve Kestelek' te rastlanır (Eti Maden İşletmeleri katalogları).



Resim 2.5 Hidroborasitin genel görünümü

2.1.4.5 Tinkal (Boraks)

Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) renksiz ve saydam olmasına rağmen, bileşimindeki çeşitli safsızlıklar nedeniyle pembe, sarımsı, gri renklerde bulunabilir. Sertliği 2-2.5, özgül ağırlığı 1,7'dir. B_2O_3 içeriği %36,5'dir. Tinkal çabuk bozunarak suyunu kaybederek tinkalkonit' e dönüşebilir. Kille ara katkılı tinkalkonit ve üleksit ile birlikte bulunur. Türkiye'de Eskişehir-Kırka yatağında bulunmaktadır (Eti Maden İşletmeleri katalogları).



Resim 2.6 Tinkal (boraks) in genel görünümü

2.1.4.6 Kernit (Razorit)

Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) renksiz, saydam beyaz, uzunlamasına bireysel iğne şeklinde küme kristaller halinde bulunur. Sertliği 3, özgül ağırlığı 1,95'dir. Atmosferik koşullarda tinkalkonit' e dönüşür. Soğuk suda yavaş çözünür. B_2O_3 içeriği % 51,0'dir. Kırka' da Na-borat kütesinin derin kısımlarında bulunur. Dünya' da ise Arjantin ve A.B.D.'de bulunur.



Resim 2.7 Kernit (razorit) in genel görünümü

2.1.4.7 Üleksit

Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) masif, karnabahar, lifsi ve sütun şeklinde bulunur. Saf olanı beyaz olup gri renk tonlarında da bulunabilir, ipek parlaklığında olanları da vardır. Kolemanit, hidroborasit ve probertitle birlikte bulunur. B_2O_3 içeriği %43,0'dir. Türkiye'de Kırka, Bigadiç ve Emet'te, dünyada Arjantin'de bulunmaktadır.



Resim 2.8 Üleksitin genel görünümü

2.1.5 Kullanım Alanları

Hafifliği, gerilmeye olan direnci ve kimyasal etkilere dayanıklılığı sebebiyle; plastiklerde, sanayi elyafı üretiminde, lastik ve kağıt endüstrisinde, tarımda, nükleer enerji santrallerinde, roket yakıtlarında da kullanılmaktadır. Bu konuyla ilgili bilgi aşağıdaki Çizelge 2.2'de verilmiştir. Camın ısıyla genişmesini önemli ölçüde indirgediği, camı asite ve çizilmeye karşı koruduğu, titreşim, yüksek ısı ve ısı şoklarına karşı dayanıklılığı sağladığı için ısıya dayanıklı cam gereçleri ve elektronik ve uzay araştırmalarında kullanılacak üstün nitelikli camların üretiminde de önemli yeri vardır (Sarıhan 2006).

Çizelge 2.2 Bor cevheri ve kullanım alanları (Sarıhan 2006)

Kalsiyum Borat Cevheri	Kalsiyum Sodyum Borat Cevherleri	Sodyum Borat Cevheri	Borlu Göl Suları	
<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Metalurji • Nükleer • Tekstil Türü • Fiberglas 	<ul style="list-style-type: none"> • Selülozik • İzolasyon • Fiberglas • Metalurji • Nükleer • Cam 	Rafine boraks pentahidrat ve boraks dekahidrat, susuz boraks		
Boraks penta- ve dekahidrat, Susuz Boraks	Sodyum Borik Asit	Sodyum Perborat	Borik Asit	
<ul style="list-style-type: none"> • Gübre • Fiberglas • İzolasyon • Metalurji • Cam Ağartıcı • Cam • Yapıştırıcılar • Kozmetik ve ilaç • Tarım • Fotoğraf • Tekstil Boyaları • Dericilik • Yün Koruyucu • Emaye, Frit, Sır 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik • Kozmetik • Yangın Söndürücü • Deri • Tekstil Boyaları • Metalurji • Naylon • Tekstil Sanayi • Sabun ve Deterjanlar • Sır • Kaplama • Fotoğraf 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterjan ve Ağartıcılar • Dezenfektan • Tekstil Boyaları • Cam Boyaları 	<ul style="list-style-type: none"> • Cam • Zirai Mücadele • Böcek Öldürücü • Tekstil Boyaları • Fotoğraf • Sabun ve Deterjanlar • Naylon • Balmumu Yumuşatıcı • Ağaç Koruyucu • Sır Kaplama 	<ul style="list-style-type: none"> • Antiseptik • Kozmetik • Yangın Söndürücü • Sır • Kaplama • Metalurji • Nükleer • Sabun ve Deterjanlar • Tekstil • Tekstil-Fiberglas

2.1.6 Bor Ürün Çeşitleri

Endüstride kullanılan bor ürünleri, Üretim aşamaları ve prosesleri ile kullanım alanları dikkate alınarak, ham bor, rafine bor ürünleri ve uç ürünler şeklinde üç gruba ayrılmıştır.

2.1.6.1 Ham bor ürünleri

Dünyada üretilen bor cevherlerinin hemen hemen tamamı bir zenginleştirme İşleminde sonra, ya parça ya da öğütülmüş konsantre halinde pazarlanır ve kullanılır.

Bu tür ürünler ham bor olarak tanımlanabilmektedir. Ham bor ürünleri % 90 dolayında borik asit, boraks penta ve dekahidrat gibi rafine bor ürünleri üretiminde kullanılmaktadır (Güyağüler 2001). Bunun yanı sıra, çeşitli amaçlara yönelik cam elyafı (fiberglas), borosilikat cam, nükleer uygulamalar ve metalürjide kullanılmaktadır. Özellikle, borlu çelik yapımında kolemanit, çelik üretiminde fluorit yerine üleksit ve kolemanit tercih edilmeye başlanmıştır. Bu ürünler ve buldukları yerler aşağıda Çizelge 2.3’de verilmiştir.

Türkiye tinkal, üleksit ve kolemanit konsantreleri üretilir, Dünya’ya satılmaktadır. Türkiye bu satışlar ile Dünya konsantre satışlarının yaklaşık % 80’nini karşılamaktadır. Diğer bir ifadeyle, Dünya üleksit ve kolemanit konsantresi talebinin hemen hemen tamamını Türkiye karşılamaktadır ve bu satışlar ile 85-90 milyon US \$ gelir elde edilmektedir (Sapmaz 2001).

Çizelge 2.3 Ham bor ürünleri ve buldukları yerler (Güyağüler 2001)

Ürünün adı	Formülü	Bulduğu Yer
Tinkal	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin
Üleksit	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin
Kolemanit	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Türkiye, ABD, Arjantin, Şili
Hidroborasit	$\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Türkiye Arjantin
Szaybelit	$\text{MgBO}_2 (\text{OH})$	Kazakistan, Çin

2.1.6.2 Rafine Bor Ürünleri

Ticari boyutta Dünya’da üretilen rafine bor ürünleri Çizelge 2.4’de verilmiştir. Rafine bor ürünlerinin temel kullanım alanları olarak, cam ve cam elyafı, sabun ve deterjan, seramik, yangın geciktirici gereçler, taran, nükleer uygulamalar, metalürji, ilaç ve kozmetik, elektronik ve bilgisayar sanayi dalları sayılabilir. Rafine bor ürünleri borun

en çok tüketilen türevlerini oluşturmaktadır. Hem ham bor, hem de rafine bor ürünlerinin kullanım alanları daha detaylı bir şekilde Çizelge 2,4'te verilmiştir. Rafine boraks ürünleri (Boraks penta ve dekahidrat, susuz boraks) üretim tesislerinin toplam Dünya kurulu kapasitesi 1.600.000 ton dolayında olup, bunun 452.000 tonu Türkiye'de bulunmaktadır. Türkiye'nin boraks penta ve dekahidrat üretimi ise yıllık 135.000 ton B_2O_3 düzeyindedir; bu üretim düzeyi Dünya üretiminin %23'ünü oluşturmaktadır. Dünya borik asit üretim kapasitesi ise 800.000 ton dolayındadır. Kurulu kapasitenin % 25'i US Boraks' a, % 1 ' i Eti Holding AŞ'ye aittir. Türkiye'nin borik asit üretimi 30.000 ton B_2O_3 dolayında olup, Dünya üretiminin, ancak, %11'ini oluşturmaktadır (Güler 2001, Sapmaz 2001, Roskül 1999).

Çizelge 2.4 Rafine bor ürünleri ve buldukları yerler (Güler 2001, Sapmaz 2001, Roskül 1999)

Bileşik	Kimyasal Formülü	% B_2O_3	Bulduğu Yer
Boraks (Tinkal)	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	36.5	Kırka, Emet, Bigadiç, A.B.D
Kernit (Razolit)	$Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$	51.0	Kırka, A.B.D, Arjantin
Üleksit	$NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$	43.0	Kırka, A.B.D, Arjantin
Kolemanit	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	50.8	Bigadiç, Emet, Küçükler A.B.D
Probertit	$NaCaB_5O_9 \cdot 5H_2O$	49.6	Kestelek, Emet, A.B.D
Pandermit	$Ca_4B_{10}O_{19} \cdot 7H_2O$	49.8	Bigadiç, Sultançayır
Borasit	$Mg_3B_7O_{13}Cl$	62.2	Almanya
Szaybelit	$MgBO_2(OH)$	41.4	Çin, Kazakistan
Hidroborasit	$CaMgBO_{11} \cdot 6H_2O$	50.5	Emet

2.1.6.3 Uç Ürünler

Uç ürünler, daha önce belirtilen ham ve rafine ürünlerden üretilirler. En Önemli özelliklerini ileri teknoloji gerektiren yöntemler ile üretilmeleri oluşturmaktadır. Ham ve rafine bor ürünlerine göre üretilen uç ürün sayısı daha fazladır. Burada, nispeten, daha büyük oranda üretilip, tüketilen uç ürünlere yer verilmiştir. Belli başlı uç ürünler arasında elementer bor, bor karbür, bor nitür ve bor alaşımları (demirli, nikelli ve kobalt) sayılabilir (Güyağüler 2001, Addemir 2001).

2.1.7 Bor Atıkları

Bor atığı olarak nitelendirdiğimiz sodyum borat kökenli mineraller su ile birlikte bir slam oluşturacak şekilde tesisler içerisindeki göletlerde depolanırlar. Bir kısım TSW (the solid waste) ise tekrardan cevher zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmak üzere buldukları göletten tekrardan üretim çevrimine dahil olurlar. Burada ki atıkların B_2O_3 muhtevisyatları % 20-25 gibi son derece yüksek değerlerdedir. Bu atıklar büyük oranda montmorillonite, illit ve vermicullit gibi başlıca kil mineralleri atıklarından oluşmaktadır (Evrin 1982).

Konsantratör tesisi katı atığının çoğunluğunu kil boyutundaki mineraller oluşturmakta ve ortalama % 13-15 B_2O_3 içermektedir. Koyulaştırıcılarından elde edilen ve göletlere gönderilen slam miktarı her bir bor türevi tesisi için 450.000 ton/yıl dolayındadır. Bu slamın yaklaşık % 20'sini, % 20-25 içerikli katı atık oluşturmaktadır. Reaktörlerden ve filtrelerin yıkanmasından gelen boraks çamurları bir koyulaştırıcıdan geçtikten sonra karışım tankına verilmektedir (Evrin 1982).

2.1.7.1 Bor Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevreye Etkileri

Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı veya pülp halindedir. Çevre bilinci gelişmeden önce bu atıklar maden alanlarının yakınındaki sahalara, artık barajlarına, denizlere, göllere veya nehirlere boşaltılmaktaydı.

Günümüzde ise zenginleştirme tesis atıklarından yararlanmak veya eğer bu mümkün değilse un uygun biçimde bertaraf etme yoluna gidilmektedir. Gelişmiş ülkeler başta olmak üzere, Dünya'nın birçok ülkesinde araştırmacılar ve işletmeler bu konuda yoğun çaba harcamaktadır. Yapılan araştırmalar daha çok yapı malzemeleri üretimine, cam ve seramik endüstrilerine hammadde hazırlamaya yöneliktir.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak yeni yöntem ve ekipmanların geliştirilmesi ile cevherlerin ekonomik tenörleri aşağılara çekilmekte, artık konumundaki birçok depolanmış yığın da bu sayede değerlendirilmektedir. Buna göre atıkların atılmasında gelecekte muhtemel değerlendirilme olanakları göz önünde bulundurulmalıdır. Bor atıkları bu konumda belki de en önde gelen atıklardan biridir. Bu nedenlerden dolayı bor

atıklarının depolanmasına azami önem göstermek gereklidir. Atıkların uygun bir şekilde değerlendirilmesinde elde edilecek avantajları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Karadeniz 1996) :

- Atıkların stoklamadan doğan sorunları ve stoklama maliyeti azalacaktır.
- Stoklama maliyeti azalacaktır.
- Çevre kirliliği en az seviyeye inecektir.

2.1.7.2 Bor Atıklarının Değerlendirilme Yöntemleri

Bor atıklarının değerlendirme şekillerini üç sınıfa ayırmak mümkündür. Bu sınıflandırma şu ana kadar bor atıkları ile yapılan çalışmalar dikkate alınarak ilk defa tarafımızdan yapılmıştır. Ancak bu sınıflandırma ayrı ayrı değil de birbirlerinin devamı olarak da düşünülebilir. Çünkü bizce en ideal değerlendirme şekli atıkların tamamının değerlendirilmesidir. Atıkların değerlendirilme yöntemleri detaylı olarak Şekil 2.1’de verilmiştir (Ediz 1995).

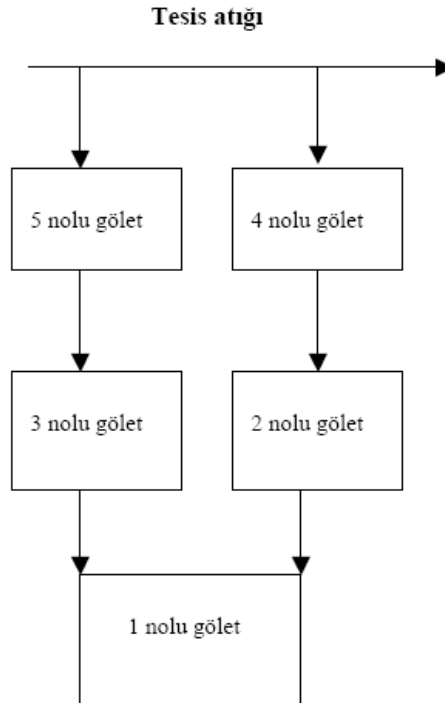


Şekil 2.1 Bor atıklarının değerlendirilmesinde mevcut seçenekler (Ediz 1995)

2.1.7.3 Kırka Bor İşletmeleri Atıkları

Eti Bor A.Ş' ye bağlı olan Kırka Bor İşletmesi'nde boraks cevheri üretilmekte ve tesislerde 1.150.000 ton/yıl cevher açık işletme yöntemiyle üretilmekte ve % 25-26 B₂O₃ içeren ham konsantratör de zenginleştirilmektedir. Yılda 350.000 ton dolayında katı atık işletme sahasında bulunan atık göletlerinde depolanmaktadır. Göletlere gönderilen atıkları zenginleştirme ve iki adet bor türevleri tesislerinden çıkan atıklar oluşturmaktadır (Kökkılıç 2003).

İşletmede konsantratöre ilaveten, boraks pentahidrat üreten 160.000 ton/yıl kapasiteli iki adet tesis mevcut bulunmaktadır. Bor türevleri tesislerinde, nemli kil ile slam halinde katı atık elde edilmekte ve slam atığıda konsantratör atığı gibi atık göletlerinde depolanmaktadır. Koyulaştırıcılardan elde edilen ve göletlere gönderilen slam miktarı her bir bor türevi tesisi için 450.000 ton/yıl dolaylarındadır. Atık göletine gönderilen slamın çözeltisi ise %4-5 düzeylerinde B₂O₃ içermektedir (Kökkılıç 2003). Konsantratör tesisine ait atık göletlerinin şematik gösterimi Şekil 2.2' de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Kırka Boraks Tesisi atık göletlerinin şematik gösterimi (Kökkılıç 2003)

2.1.7.3.1 Kırka Bor İşletmeleri

Kırka Boraks İşletmesi, Eskişehir ilinin 70 km güneyindeki Kırka ilçesinin 4,5 km batısında kurulmuştur. Müessesenin kuruluşu; amacı bor cevherlerini aramak, işletmek, zenginleştirmek ve bunlardan kimyasal işleme bor bileşiklerini üretmektir. Dünya'nın en büyük Boraks yatağı ve rezervinin önemli bir bölümünü oluşturan Kırka Sarıkaya Boraks yatağı, 1950–1960 yılları arasında Türk vatandaşları tarafından arama ruhsatı alınarak, yapılan aramalar neticesinde bulunmuştur. 1962 yılında tüm ruhsatlar Türkiye'deki boraks yataklarına sahip olan, İngiliz Boraks Consolidated Ltd. Şirketinin eline geçmiştir.

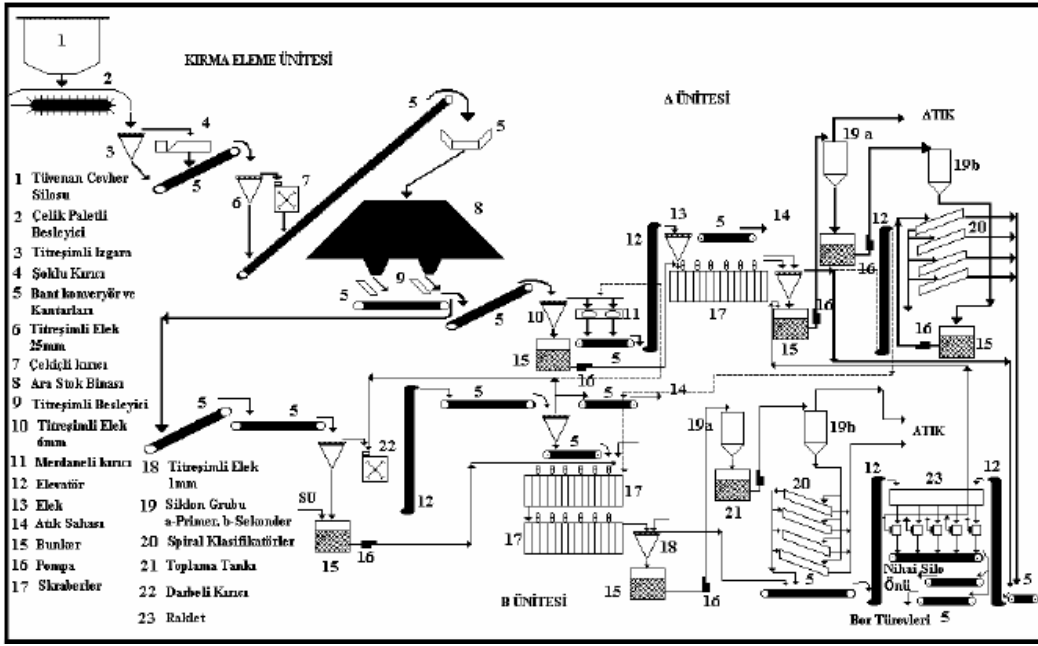
Kırka sodyum tuzu yataklarını ele geçiren Türk Borax adı altındaki İngiliz şirketinin, saha devri işlemlerinde kanuni eksiklerin bulunmasından dolayı ruhsatları iptal edilmiş, imtiyazları düşen Kırka Sodyum Tuzu yataklarından üç tanesinin işletme imtiyazı, 1968 yılından itibaren çeşitli tarihlerde Etibank'a geçirilmiştir. 1968 yılında M.T.A. tarafından yapılan arama sondajlarından, Kırka sodyum tuzu cevherinin Californiya' da bulunan Tinkal-Razorit-Kernit cevherinin benzeri olduğu saptanmıştır.

Dünya piyasasında aranmakta olan bu tip bor minerallerinin Kırka' daki zengin yataklarını işletmek üzere, gerekli proje çalışmalarına 1969 yılında başlanmış ve 1970 yılında da tesislerin kurulması safhasına geçilmiştir. 1970 yılında şantiye teşkilatı ile başlanılan kuruluş 1972 yılında konsantratörün devreye alınması ile tesis statüsüne kavuşmuş 1975 yılında işletme statüsünde faaliyet göstermeye başlamıştır. Kırka bölgesinde bulunan doğal boraks (Tinkal) açık işletme yöntemiyle üretilmektedir (Aytekin vd., 1992).

2.1.7.3.2 Konsantratör Tesisi

Kırka konsantratör tesisi de Türkiye'deki diğer bor konsantratör tesisleri gibi bir yıkama tesisidir. Tesiste ana amaç; cevheri kilden ayırmak ve rafinasyon tesisine istenilen tenörde ve boyutta besleme malı sağlanmaktadır. Konsantratör 1975 yılında faaliyete geçmiştir ve % 80 B₂O₃ kurtarma randımanı ile % 33-34.5 B₂O₃ tenörlü tinkal konsantresi üretecek şekilde projelendirilmiştir. Proje değerlerine göre konsantratör tesisi yılda 600.000 ton tüvenan tinkal cevheri işleyerek 400.000 ton konsantre

üretecektir. 1986 yılında yapılan ek tevsi ile kapasitenin 650.000 ton/yıl'a yükseltilmesinin yanı sıra konsantrasyon tenörü de % 1–2 B₂O₃ kadar arttırılmıştır. Şu an ki konsantratör kapasitesi 800.000 ton/yıl olup konsantrasyon tenörü % 32-33 B₂O₃'tür (Aytekin vd. Tübitak Projesi-MAG 838). Kırka konsantratör tesisine ait akım şeması aşağıda Şekil 2.3' de gösterilmiştir



Şekil 2.3 Kırka Konsantratör Tesisi Akım Şeması (Aytekin vd. Tübitak Projesi-MAG 838)

2.1.7.4 Borun Önemi ve Gelecekteki Yeri

Bor ve borlu yakıtlar, 1950' li yılların başında ABD Savunma Programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve. Nükleer silahlanma dışında ikinci önemli stratejik malzeme olarak nitelendirilmiştir (Taşçı 1993). 1958-1961 yılları arasında ABD ve NATO tarafından bor, stratejik bir maden olarak ilan edilmiş, pazarlaması kontrol altına alınmış ve COCOM olarak nitelendirilen tedbirler kapsamında Varşova Paketi ülkelerine ihracı yasaklanmıştır.

Bor madeninin önemi, ülkeleri bu konuda çıkarlarını düşünmeye ve planlı davranmaya sevk etmektedir. Bor hakkında sürdürülen araştırmaların, bor bileşiklerinin yüksek

teknolojili ürünlerdeki yeni kullanım alanlarını keşfetmesi, bu madeni gelecekte, petrol gibi üzerinde uluslararası mücadelelerinin yaşandığı bir ürün konumuna getirebilecektir. Bor madeninin kullanım miktarındaki asıl önemli artış, bor' un yakıt taşıyıcısı olarak kullanılmasyla sağlanabilecektir

Dünya bor piyasasında büyük gelir sağlayan uluslararası şirketler, bu gelirini Türkiye' den bor alarak yapmaktadırlar. Türkiye sanayileşmesini tamamlayamadığından, ne yazık ki nihai ürünün eldesini sağlayacak teknolojileri de gerçekleştirememiştir. Gelecekte ihtiyacımız olacak cevherleri, bugün, hammadde olarak ihraç ettiğimiz bir gerçektir. Hammadde ihracı ile yeterli katma değer sağlanamamaktadır. Katma değer in yurt içinde kalması için Ar-Ge' ye ve teknolojik yatırımlara önem verilmesi bir gerekliliktir. Dünya bor üretimi % 100 B₂O₃ bazında 1,5 milyon ton civarındadır. Bu üretimin % 42' si ABD sermayeli US Borax (ya da diğer adıyla Rio Tinto), % 33.4' ü Eti Holding A.Ş. tarafından gerçekleştirilmektedir. Değer olarak ise dünyada yaklaşık yıllık 1.2 milyar ABD doları kadar Bas pazarı bulunmaktadır. Eti Holding bu pazarın parasal olarak % 20-23 'üne, US Borax ise % 65- 70'ine sahiptir.

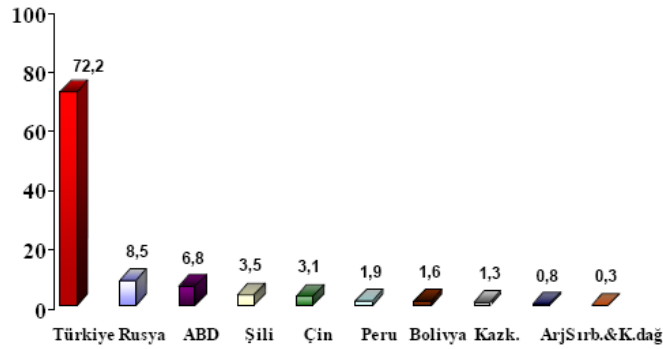
Bor gibi 21. Yüzyılın petrolü olarak adlandırılan bir madenin en büyük rezerv kaynağı olan Türkiye'nin, bor ihracatından yılda yalnızca 102 milyon dolar, bor ürünleri ihracatından ise 106 milyon dolar kazanıyor olması, önemli bir kapasitenin israf edildiğine işaret etmektedir (Taşçı, 1993).

Dünya piyasası yıllık 80-90 milyar dolar civarında olan bor uç ürünlerinde Türkiye' nin pazar payı % 1' i bile bulamamaktadır. Oysa Türkiye'de hali hazırda bor'un sanayideki çeşitli kullanım alanlarına ilişkin teknolojik bilgi birikimi oluşmaktadır. Türkiye en büyük rezerv sahibi olarak bor dünya piyasasını ve fiyatlarını belirleyebilecek konumda olma imkânına sahiptir. Ancak, dünyadaki örnekler maden zengini gelişmekte olan ülkelerin bu madenlerden yeterince yararlanamadığını, ham madene sahip olan ülkelere ziyade, bu madenle ilgili teknolojiye sahip olan gelişmiş ülkelerin piyasaları kontrol ettiğini göstermektedir.

2.1.7.5 Dünya Bor Rezervleri

Günümüzde dünyada 10 ülkede bor madenciliği yapılmaktadır. Ekonomik boyutlu bor yatakları Türkiye, ABD, Rusya, Çin, Dran, Kazakistan ve Güney Amerika'dadır (Arjantin, Bolivya, Sili). Türkiye bor kaynakları bakımından dünyanın en büyük rezervlerine sahiptir.

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen; Eskişehir-Kırka, Kütahya-Emet, Balıkesir-Bigadiç, Bursa-Kestelek bor yataklarında % 24,4–35,0 B₂O₃ içerikli yaklaşık 3,000 milyar ton bor rezervi mevcut olduğu yapılan 2004 yılı master arama çalışmalarıyla tespit edilmiştir. B₂O₃ bazında toplam 1176 milyon ton olan dünya bor rezervlerinin % 72,2 si yani 851 milyon tonu Türkiye'de bulunmaktadır. Ülkemizden sonra dünyanın bilinen en önemli bor yatakları ABD'nin Kaliforniya eyaletindeki Mojave Çölündedir. Yine aynı bölgede Searles Gölünde önemli borat yatakları mevcuttur. Ayrıca, Sırbistan'da bor yatakları bulunmuş olup, savaş dolayısıyla arama işlemleri tamamlanamamıştır (İnt.Kyn.3). Dünya bor rezervlerinin ülkelere göre dağılımı grafik olarak aşağıda Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4 Dünya bor rezervinin ülkelere göre dağılımı (İnt.Kyn.3)

ABD ve Rusya rezerv bakımından Türkiye'den sonra gelmektedir. Dünya ülkelerine ait bor rezervleri Çizelge 2.5' te açıkça gösterilmiştir. ABD rezervlerini uzun süredir endüstrinin çeşitli alanlarında kullanmakta olduğundan, yakın gelecekte bor rezervlerinin tükenmesi tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu sebeple ABD, kalan bor madenlerinin bir kısmını "stratejik rezerv" ilan ederek çıkarılmasını durdurmuştur. Türkiye'deki bor madenlerinin kalitesi ABD' dekinden yüksektir. ABD Türkiye'den yılda 350 – 400 bin ton ham ve rafine bor ithal etmektedir. Türkiye'nin aslında dünya

rezervlerinin daha da büyük bir kısmını elinde tutuyor olabileceği tahmin edilmektedir. Türkiye'deki yeni bor rezervlerinin yerlerini ve miktarlarını belirleyecek kapsamlı bir araştırmanın yapılması durumunda, Türkiye'nin bor rezervlerinin iki katına çıkabileceği düşünülmektedir (İnt. Kyn. 3).

Çizelge 2.5 Dünya bor rezervleri (Milyon ton B₂O₃) (İnt. Kyn. 3)

Ülke	Görünür ekonomik rezerv	Muhtemel mümkün rezerv	Toplam rezerv	Toplam rezervdeki pay (%)
Türkiye	227	624	851	72,2
Rusya	40	60	100	8,5
ABD	40	40	80	6,8
Şili	8	33	41	3,5
Çin	27	9	36	3,1
Peru	4	18	22	1,9
Bolivya	4	15	19	1,6
Kazakistan	14	1	15	1,3
Arjantin	2	7	9	0,8
Sırbistan&Karadağ	3	0	3	0,3
TOPLAM	369	807	1.176	100

2.2. Hafif Yapı Malzemeleri

Hafif yapı malzemeleri kullanılan binaların ısıtma ve soğutma giderlerinde %50 lere varan enerji tasarrufu sağlamaktadır. Pomza, perlit, ytong, gazbeton, vermikülit, diatomit vb. hafif yapı malzemelerini ithal ederek kullanan İsveç, Norveç gibi soğuk ülkelerde bile bir konutun ısıtma maliyeti Türkiye'deki eşdeğer konutun ısıtma maliyetinin yarısından azdır. Bu çarpıcı örnek ısı ve enerji tasarrufu yönüyle de konunun önemini ortaya koymaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplam enerjinin önemli bir kısmı konut ve binaların ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılmaktadır. Türkiye' de elektrik kullanan 25,000.000 civarında konut vardır. Bu konutların tamamında yalıtımlı hafif yapı malzemeleri kullanılmış ve iyi bir yalıtım

yapılmış olsaydı ülkemizin ısınma ve soğutma nedeniyle her yıl yapacağı enerji tasarrufu 10 milyar dolar civarında olacaktı. Bu rakam enerjiyi verim siz kullanmamız nedeniyle kaybettiğimiz önemli bir kaynaktır. Rezervlerimizin büyüklüğünü bir başka şekilde ifade edersek: Türkiye'nin bütün binalarını pomza agregalı malzemedan yapmamız durumunda pomza kaynaklarımız yeterdi. Pomza yerine perlit agregalı çimento kullanmamız durumunda perlit rezervlerimizin sadece 1/24' ini kullanmış olurduk (Doğan 2004).

Hafif yapı malzemeleri kullanarak binaların ölü yükünü % 67 oranında azaltmak mümkündür. Yapı malzemelerinin ısı iletkenliği, enerji tasarrufu yönünden çok önemlidir.

Hafif yalıtımlı yapı malzemeleri kullanarak binaların ısınma (soğutma) maliyetleri % 50 oranında azaltabilmektedir. Hafif yapı malzemelerinin kullanıldığı binalarda işçilik maliyetleri düşüktür. Hafif yapı malzemeleri kullanılarak birim zamanda örülen duvar ve yapılan sıva miktarları fazla olduğundan işçilik maliyetleri düşüktür. Gelişmiş ülkelerde İnşaatlarda kullanılan tuğla miktarlar çok düşük olup sadece restorasyonlarda ve dekoratif amaçlarla kullanılmaktadır, Tuğla yapımında kullanılan topraklar milyonlarca yılda oluşan tarımsal kaynaklarımızdır. Hafif yapı malzemeleri kullanarak % 50 den fazla yakıt tasarrufu yapılması çevre kirliliğinin aynı oranda önlenmesidir (Şener 2004).

Hafif yapı malzemeleri çevre dostu malzemelerdir. Son yıllarda hafif yapı malzemeleri konusunda önemli gelişmeler olmuş, yeni tesisler kurulmuş üretim artmıştır. Ancak gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında ve çok büyük rezervlere sahip olduğumuz düşünüldüğünde henüz yolun başında olduğumuz anlaşılır (Doğan 2004).

2.2.1 Perlit

Perlit asidik bir volkanik camdır. Perlit ismi bazı perlit tiplerinin kırıldığı zaman inci parlaklığında küçük küreler elde edilmesi nedeni ile inci anlamına gelen “ perle ” kelimesinden türetilmiştir (Coope 1992).

Perlit, ısıyla genleşme özelliği olan, geliştirildiğinde çok hafif ve gözenekli bir hale geçen bir kayadır. Perlit kelimesi hem ham perlit için hem de geliştirilmiş perlit için kullanılmaktadır. Çeşitli perlit kayalarının renkleri ve yapıları birbirinden çok farklı olabilir. Bu bakımdan perlit göze tanımak oldukça zordur (Howell 1992).

Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişmekte olup, geliştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Perlitte en önemli özellik % 2 ile 6 oranında değişen içeriğindeki sudur ve bu su perlitin kararlılığını sağlamaktadır (Coope 1992).



Resim 2.9 Perlitin genel görünümü

2.2.3 Pomza

Pomza oldukça gözenekli, köpüksü, % 60-70 oranında silis içeren düşük yoğunluklu doğal bir camdır (Cifçi 2003). En büyük yataklar A.B.D.'de bulunmaktadır. Diğer başlıca üreticiler İtalya, Yunanistan, İspanya, Türkiye, A.B.D, Fransa, Yugoslavya ve Almanya'dır. Türkiye toplam pomza rezervleri bakımından dünyada ikinci sıradadır. Önemli yataklar Tatvan ve Ahlat, Niğde Nevşehir civarı, Iğdır ve Kars, Mollakasım (Van), Ercis (Van), Gudul (Ankara), Doğubeyazıt (Ağrı) ve Cumaovası' (İzmir) nda bulunmaktadır (Cifçi 2003).

Öğütülmüş pomza, taşlama ve parlatma amacıyla kullanıldığı gibi kibrit fabrikalarında ateşleme malzemesi ve dolgu maddesi, sabun ve kozmetik sanayinde de aynı amaçlarla kullanılabilir (Reyhanoğlu 1988).

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde iki tür pomza oluşmaktadır. Bunlar asidik pomza ve bazik pomzadır. Bazik pomza, koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı olabilmektedir. Özgül ağırlığı 1-2 civarındadır. Asidik pomza, beyaz, kirli görünümde ve grimsi beyaz renkte olup yoğunluğu bazik pomzadan hafif özgül ağırlığı 0,5-1 civarındadır. Silisyum, Alüminyum, Potasyum ve Sodyum ihtiva eder ve bu bileşimler nedeniyle açık renkli görünüm sergilemektedirler. Asidik ve bazik özellikler taşıyan pomzaların tipik kimyasal bileşimleri aşağıda verilmiştir



Resim 2.10 Bazik pomzanın genel görünümü



Resim 2.11 Asidik pomzanın genel görünümü

2.2.4 Gazbeton (ytong)

Ytong silisli kum (kuvarsit), çimento, kireç, alüminyum tozu ve suyun karışımıyla oluşturulan harcın, basınçlı buhar altında sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli bir yapı malzeme ve elemanıdır. Yapısının % 84'ü, içinde durgun hava bulunan gözeneklerden oluşur. İşte bu gözenekli yapısı; Ytong'a en iyi "Isı yalıtıcı", en hafif, en kullanışlı ve yanmayan yapı malzeme ve elemanı olma özelliklerini sağlar.

Gözenekli bir yapıda olan gazbetonun en önemli ve üstün özelliklerinden birisi düşük ısı iletkenliğidir. Malzemenin gözenekli yapısı içerisindeki makro ve mikro düzeydeki gözeneklerin tüm yapı içerisindeki oranı % 60 – 85 arasında değişmektedir (Mendes vd. 2001).



Resim 2.12 Gazbetonun genel görünümü

2.2.5 Diatomit

Diatomit, su yosunları sınıfında tek hücreli mikroskopik alglerin fosilleşmiş silisli kavrıklarından oluşmuş bir çökeldir (Köktürk 1991, Özbey 1987). Ayrıca volkanik faaliyet bölgelerine yakın, tatlı ve tuzlu göl veya tuzlu sularında yaşayan tek hücreli, mikroskopik, silis yapı ılı çift karapaslı esmer bir yosun çeşidi olan diyatomerlerin ölmesi ve silis kabuklarının bir araya toplanması sonucunda meydana gelen bir mineral olarak tanımlanır (Türkiye Diatomit Envanteri 1968).



Resim 2.13 Diatomitin genel görünümü

2.3 Agregada Tanımı

Agregada; doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle 100 mm' ye kadar çeşitli büyüklükteki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin bir yığındır. Başka bir deyişle agregada, kum, çakıl, kırmataş, cüruf vb. mineral kökenli taneler olup, bir bağlayıcı yardımıyla beton, asfalt gibi sağlam bir kitle oluşturan çeşitli büyüklükteki kırılmamış veya kırılmış tanelerdir. Agregayı oluşturan tanelerin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemeye ise beton denir. Agregada beton hacminin yaklaşık % 60-80' ini oluşturur. Agregada çimento ile genellikle kimyasal etkileşmeye girmez (Ekmekyapan ve Örüng 1997).

Yeni yapım yöntemleri ile hafif agregaların, beton üretiminde kullanılması yapıya olumlu etkiler sağlamaktadır. Düşük birim ağırlıklı agregalar ile yapı ağırlığı önemli ölçüde azalmakta ve daha büyük açıklıkta yapılar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yapı ağırlığının azalması, kesitlerin küçülmesine, donatının, maliyetin ve işçiliğın azalmasına neden olmaktadır. Taşıyıcı hafif beton üretiminde en yaygın yöntem de hafif agregada kullanılmasıdır (Çelik ve Gürdal 2005). Hafif agregalar boşluklu yapıları nedeniyle düşük birim ağırlığa sahiptirler. Boşluklar artıkça su emme ile birlikte ısı ve ses yalıtım özellikleri de artar, buna karşılık dayanımları azalır. Hafif agregaların genel görünümü Şekil 2.14' de verilmiştir.



Şekil 2.14 Hafif agreganın genel görüntüsü

2.3.1 Hafif Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar genel olarak kaynağına göre, tane şekline göre, özgül ağırlığına göre ve tane büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadırlar. Ama bunların dışında çok değişik özellikleri ile de sınıflandırılabilirler. Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları kullanılacakları alana göre daha doğru tarzda kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Agregalar günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Beton malzemesi dışında, dolgu ve ıslah malzemesi, yol inşaatlarında asfalt ve temel malzemesi, demiryolu balastı olarak da kullanılmaktadır. (Çavuşoğlu vd. 2004).

2.3.1.1 Doğal Hafif Agregalar

Genellikle volkanik ve tortul kökenli olan agregalardır. Meydana gelişleri sırasında gözenekli bir yapı kazanmış bulunan tüf, volkanik cüruf, bims (pomza), süngertaşı, diatomit gibi kayalardan elde edilirler. Hacim özgül ağırlıkları 0,5–1,5 arasında değişir (Ağırdır 1989).

2.3.1.2 Yapay Hafif Agregalar

Çeşitli endüstriyel fırınlardan elde edilen, ergiyerek topak haline gelmiş cüruflar genellikle gözenekli olduklarından hafif agrega olarak kullanılabilirler.

2.3.1.3 İşlenmiş Doğal Hafif Agregalar

Kil, şeyl, perlit, vermikulit gibi kayalar döner fırınlarda veya hareketli ızgaralarda 1000°C ye kadar ısıtılırlar. Kapalı gözenekler içinde oluşan gazlar veya su buharı genişleyerek yumuşamış olan taşın hacmini büyütür. Vermikulit de genişleme plakalı yapıdaki değişikten dolayıdır. Genleşmiş killerde hacim özgül ağırlıkları 0,6–0,9 arasında değişir. Genleşmiş perlit veya vermikulitin hacimlerinde 20–30 kat artış meydana gelir, hacim özgül ağırlıkları 0,24'ün altındadır (Alyıldız 2003).

2.3.1.4 İşlenmiş Yapay Hafif Agregalar

Yüksek fırından çıkan kızgın cürufun üzerine su püskürtülerek veya cüruf su ile hızla karıştırılarak oluşan su buharının gözenekli bir yapı meydana getirmesi sağlanır. Genleşmiş yüksek fırın cürufunun hacim özgül ağırlığı 0,3–1,1 arasındadır. Kömür yakan termik santrallerden elde edilen uçucu kül ıslatılıp toprak halinde fırınladığında içindeki karbon yanar ve yuvarlak taneli sinterleşmiş uçucu kül elde edilir. Hacim özgül ağırlığı 1,0–1,2 arasında değişir.

2.3.1.5 Organik Hafif Agregalar

Genellikle doğal veya yapay polimer kökenli maddeler, ahşap ve plastikler hafif agrega olarak kullanılabilir (Yeğinobalı 1997). Hafif agregaları birim ağırlıkları bakımından kullanım alanlarına göre üç grupta sınıflandırılır (TS 1114 EN 13055–1, 2004).

- a. Birim hacim ağırlığı 6.50 KN/m³ den büyük olan hafif agregalar; bunlarla taşıyıcı hafif betonlar elde edilebilmektedir.
- b. Birim hacim ağırlığı 4–6 KN/m³ arasında olan hafif agregalar; bunlarla yalıtım betonları ve orta dayamalı hafif betonlar üretilebilmektedir.

2.4 Beton Nedir

Betonun evrensel olarak kabul edilen bir tanımı bulunmamaktadır. Literatürde birbirine yakın olmakla birlikte, geçmişten günümüze betonla ilgili pek çok tanım mevcuttur. Tanımlamalardan bazıları aşağıda verilmiştir:

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşmış, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Neville 2000, Şimşek 2004).

Değişik boyuttaki agrega adı verilen mineral dolgu malzemesinin çimento ve su karışımından oluşan çimento hamuru ile bileşimi sonucu zamanla sertleşip dayanım kazanan yapı malzemesine beton denir (Balık ve Kamanlı 2003).

Beton; kum ve çakıl ya da kırma taşın çimento ile karıştırılıp su ile karılan, bir süre sonra katılaşıp sertleşen bir yapı gerecidir (Milli Eğitim Bakanlığı 2006).

2.4.1 Betonun Avantajları

- Taze betonun plastik özelliği nedeniyle istenilen şekil ve boyutlardaki elemanların kolayca üretilebilmesi yani şekil verebilme kolaylığı. (Taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Böylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları vb. yapmak mümkün olur)
- Fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı (Çevrede oluşan yıpratıcı etkilere karşı diğer yapı malzemelerine göre daha dayanıklıdır)
- Üretimde daha az enerji tüketilmesi (1 m³ alüminyum, çelik ve cam üretimi için, sırasıyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktardaki bir beton için yaklaşık 3,5 GJ enerjiye gereksinim vardır) (Özkul, Taşdemir, Tokyay ve Uyan, 2004)
- Ekonomik oluşu (Betonu oluşturan malzemeler arasında enerji harcanarak fabrikada önceden üretilmiş tek malzeme çimentodur. Beton hacminin yaklaşık dörtte üçünü oluşturan agregalar, çimentoya oranla daha ucuzdur. Ayrıca, agregalar, su ve gerektiğinde beton yapımında kullanılan mineral katkıları, yapının bulunduğu bölgeden temin edilebilir. Ayrıca, beton üretiminde ve kullanımında yeterli bilgiye ve deneyime sahip mühendis veya teknik adamlara ihtiyaç olmakla beraber, is hacminin büyük bir bölümü kalfalar veya düz işçiler tarafından yürütülmektedir)
- Kullanımı (Yapının bulunduğu yerdeki erişilmesi güç noktalara pompalanarak taşınabilmesi veya değişik eğimli yüzeylere püskürtülerek yerleştirilebilmesinin mümkün olması)
- Üretimindeki pratikliği (Sertleşmiş beton elemanlar yerinde üretildiği gibi, bir fabrikada önceden üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş beton eleman olarak getirilip kullanılabilir)
- Betonun çelik donatılarla çok iyi aderans (kenetlenme) gösterebilecek özellikte olması (Betonun çekme ve eğilme dayanımları düşük olduğundan, yapıda, beton

elemanların çekme ve eğilmeye maruz kalacak bölgelerine çelik çubuklar yerleştirilerek, bu tür yükler çelik tarafından taşınmaktadır. Beton ve çelik çubuklar arasında çok iyi bir aderans olması, bu iki malzemenin tek malzemeymiş gibi davranmasını sağlamaktadır. Ayrıca beton ve çeliğin ısıl genleşme katsayılarının çok farklı olmaması, sıcaklık değişiklikleri nedeniyle bu iki malzemenin çok farklı davranmasını önlemektedir)

- Estetiklik (Beton elemanlara istenilen şekil ve yüzey dokusu verilebilmekte, renklendirici katkı maddelerinin yardımıyla istenilen renkte beton üretilebilmektedir)

2.4.2 Betonun Dezavantajları

- Sertleşmiş beton, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir (Beton, çekme ve eğilme yükleri altında kolayca çatlayabilmektedir. Bu bakımdan, beton elemanların çekmeye veya eğilmeye maruz kalabilecek bölgelerine çelik donatıların yerleştirilmesi ve bu elemanların betonarme veya öngerilmeli beton elemanlar olarak kullanılması gerekmektedir)
- Sertleşmiş beton gevrek özelliğe sahiptir (Betonun gevrek bir malzeme olması, darbe yükleri karşısına yeterince dayanıklı olmamasına yol açmaktadır. Metallerle karşılaştırıldığında, betonun darbe dayanımı ve tokluk kapasitesi oldukça düşüktür)
- Beton, çevreden maruz kalabileceği ıslanma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği gösterebilmektedir (Taze beton, kuruma nedeniyle büzülme göstermektedir. Sertleşmiş beton, ıslandığı takdirde, az da olsa genleşmektedir. Çevre sıcaklığının artması ve içerisindeki suyun bir bölümünü kaybetmesi (kuruması) ile de, zamanla betonda büzülme yer alabilmektedir. Bu nedenle, yol, otopark, havaalanı vb. yapılara, beton bloklar arasına derz denilen kısa bir aralık bırakmak çatlamların kontrol altına alınmasını sağlamaktadır)
- Birçok yapı malzemesi gibi, sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir (Normal servis koşullarında beton, taşımakta olduğu sabit yüklerin etkisiyle bir miktar kalıcı deformasyon (sünme) gösterebilmektedir. Bu nedenle, proje hesaplarının betonun büzülme ve sünme özellikleri göz önüne alınarak hazırlanması gerekmektedir)

- Mükemmel bir geçirimsizliğe sahip değildir, içerisine bir miktar su veya zararlı maddeler içeren sular sızabilmekte ve betonun dayanıklılığını azaltabilecek olaylara neden olabilmektedir (Betonun içerisine su sızması ve bu suyun donması, betonda çatlamalara sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca, betonun içerisine sülfatlı veya asitli suların sızması durumunda, genleşme meydana gelmekte ve sertleşmiş betonun çatlamasına neden olabilmektedir. Betonun su geçirimsizliğini arttırmak için beton karışımının hazırlanmasında su/çimento oranının düşük tutulmasına dikkat edilmelidir. Sık sık ıslanma ve donma koşullarına maruz kalacak betonlar hava sürüklenmiş beton olarak yapılmaktadır)
- Betonlardaki “dayanım/ağırlık” oranı, metallerde olduğu kadar yüksek değildir. Yüksek değerdeki yüklerin taşınabilmesi için, metallere göre, daha büyük boyutlarda beton elemanların kullanılması gerekmektedir. (Erdoğan, 2002)
- Betona sonradan yamanın güç olması, geniş açıklıkların geçilmesinde sorun yaşanabilmesi, betonun döküleceği yerdeki kalıp ve kalıp işçiliğinin uygun olmayabilmesi gibi hususlarda dezavantajlar arasında sayılabilir. (Şimşek, 2004a)

2.4.3 Betonun Özellikleri

Hangi amaçla üretilirse üretilsin betonda bulunması gereken üç ana nitelik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş halde iken dayanım ve dayanıklılıktır (Akman 1977).

2.4.3.1 İşlenebilirlik

Betonun taze haldeyken sahip olması gereken en önemli özellik işlenebilirliktir. İşlenebilirlik; taze betonun ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve sonlanması işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliği olarak tanımlanabilir (Neville 1981). İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve yüzey düzeltilmesinin kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimumu enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışımda ayrışma olmaz ve beton kalıplara en az boşluk kalacak biçimde yerleşir (Gülşahin ve Akkaya 2006).

2.4.3.2 Dayanıklılık (Durabilite)

Betonun dayanıklılığı (durabilitesi), başlangıçtaki özelliklerini ve tasarlandığı fonksiyonunu çevre ve hizmet koşulları altında koruyarak devam ettirebilmesi şeklinde tanımlanabilir. Beton bu koşullar altında yıpranarak devam ettirebilmesi şeklinde tanımlanabilir. Beton bu koşullar altında yıpranarak özelliklerini yitirir, daha fazla kullanımı artık ekonomik olmaz ve güvenli kabul edilmezse faydalı ömrünü tamamlamış olur (Yeginbogalı 1999).

Dayanıklılıktan bahsedildiğinde zaman faktörü isin içine girmektedir. İşlenebilirlik ve basınç dayanımı kısa sürede belirlenirken, dayanıklılık özelliği uzun zaman içinde belirlenir. Bunun sağlanabilmesi için yapının ömrü boyunca karşılaşılabilecek dış etkilerin bilinmesi ve bu koşullara dayanabilecek şekilde önceden tasarlanmış olması gerekmektedir.

Betonun yapısını oluşturan malzemelerin (çimento, agrega, su, mineral ve kimyasal katkıları) özellikleri, karışım oranları, betonun üretimi ve korunması sırasında betonla ilgili etkenler sayılır.

2.4.3.3 Dayanım

Beton dayanımı;“üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnç” olarak tanımlanmaktadır (ACI Committee 116 1994). Betonun mekanik dayanımları basınç, eğilme ve çekme dayanımı olarak sıralanabilir. Bu dayanımlar arasında çekme dayanımı çok düşük mertebelere sahiptir ve genellikle göz önüne alınmaz. Beton gevrek bir malzeme olduğu için, basınç dayanımı çekme dayanımından yaklaşık on kat daha fazladır. Bu nedenle betonun basınç dayanımı diğer mekanik özelliklerinden öncelikli önem taşımaktadır.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler; iç ve dış faktörler olarak iki grupta incelenebilir. İç faktörler betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, su/çimento oranı, agrega özellikleri, kimyasal veya

mineral katkıları, betonun boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir (Mehta & Monteiro 1997).

2.4.4 Hafif Beton

Hafif betonlar; çimento hamurunun genişletilmesi (havalı ve hücreli gibi) ya da sadece iri agrega kullanılarak üretilebileceği gibi beton bileşiminde, geleneksel agrega yerine hafif agregalar kullanılarak da üretilen betonlardır. Özellikle taşıyıcı hafif betonların üretiminde hafif agregaların kullanımı tercih edilmektedir. Üretimlerinde kullanılan başlıca agrega türleri; pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi doğal agregalar ya da genişletilmiş kil, şist, perlit, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi yapay hafif agregalardır. Ayrıca tahıl taneleri ve bazı meyve çekirdekleri gibi organik maddeler de bu maksatla kullanılmaktadır (Durmuş vd. 1996).

2.4.4.1 Hafif Betonların Geleneksel Betonlara Göre Başlıca Üstünlükleri

- Isı iletkenlik katsayıları daha düşüktür ($\lambda = 0.30$ kcal/m/h/°C civarında). Örneğin, 2 cm kalınlığındaki perlit bir sıvanın ısı yalıtımı, yaklaşık 15 cm kalınlığındaki tuğla duvarinkine eşdeğer olmaktadır.
- Genellikle yük azaldığından boyutlar küçültülerek ekonomi de sağlanabilmektedir.
- Ağırlık azaldığında yapıya etkiyen deprem yükleri de azalmaktadır.
- Yangına dayanıklılık yönünden geleneksel betonlara göre daha güvenilirlerdir.
- Toplam ağırlık azaldığında, betonun kalıba uygulayacağı basınç da düşer.
- Çekme dayanımının basınç dayanımına oranı geleneksel betonlara göre yüksek olduğundan bu betonlarda rötre çatlakları azalmaktadır.

2.4.4.2 Hafif Betonların Geleneksel Betonlara Göre Başlıca Dezavantajları

- Boşluklu bir yapıya sahip oldukları için dayanımları geleneksel betonlara göre daha düşüktür. Bu bakımdan yüksek dayanım gerektiren durumlarda kullanılmaları uygun olmamaktadır.
- Aşınmaya karşı geleneksel betonlara göre daha dayanıksızdırlar.
- Üretim ve yerleştirilmelerinde bunlar daha fazla özen istemektedir.
- Genellikle neme karşı yalıtılmaları gerekmektedir.
- Hafif agregaların dayanımı sertleşmiş çimento hamurununkinden genellikle daha düşük olması, bu betonların dayanımlarının belli bir düzeyin üzerine çıkılmasına imkân vermemektedir (Durmuş ve ark. 1996 ; Sönmez, Demir ve Ekim, 2004)

3. MATERYAL VE METHOD

3.1 Amaç

Bu yüksek lisans çalışmasının temel amacı; Kırka Bor İşletmesi konsantratör atıklarının, kaliteli yapı malzemesi olarak değerlendirilme imkanlarının araştırılması, ekonomiye ve doğaya katkıda bulunulması amacıyla, bu atıklardan hafif agrega üretimi gerçekleştirilmesi esasına dayanmaktadır.

Bor atıkları; içerdikleri oksitler sayesinde, düşük sıcaklıklarda ergitici ve sıvı faz arttırıcı olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu sayede istenilen çapta, deforme olmamış, boşluksuz, donatıya zarar verebilecek gazları agreganın içinde tutabilen, demir donatıyla reaksiyona girmeyen, camsı yüzeyli, gözenekli bir yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bor atığı içeren reçeteler oluşturularak, farklı sıcaklık rejimlerinde sinterlenmesi sağlanmıştır. Üretilen hafif agregalarla (HA) TS EN 196 standartlarına uygun olarak hafif beton (HB) üretimi hedeflenmiştir.

Hafif yapı malzemeleri olan; pomza, diatomit ve zeolit doğal agregaları ile hazırlanan hafif beton numunelerinin su emme ve basınç değerleriyle, hafif agregalar (HA) ile üretimi gerçekleşen hafif beton (HB) numunelerinin su emme ve basınç değerleri arasında karşılaştırma yapılarak, sonuçların değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3.2 Deney Programı

DeneySEL çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Aşama: Eskişehir Kırka tıncal bor atığı çeşitleri olan Dekanter ve Pestil atıklarının, hafif yapı malzemeleri olan; diatomit, pomza ve zeolit temini sağlanmıştır.
2. Aşama: Kimyasal kompozisyonu bilinen Pestil ve Dekanter bor atıklarına minerolojik analiz testi uygulanmıştır. Analiz sonuçları ve literatür verilerinin ışığı altında; kırma, öğütme ve kurutma işlemlerinden geçen; dekanter ve pestil,

dolomit, kuvarz ve kil gibi hammaddelerden oluşan farklı oranlarda reçeteler hazırlanmıştır. Bilyalı değirmenlerde homojen bir karışım elde edildikten sonra nemlendirilerek; 1 mm, 2 mm, 3 mm ve 500 μ ' luk elekler yardımıyla farklı boyut aralıklarında granüller elde edilmiştir. Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarı' nda bulunan döner fırında 750° C de sinterleme işlemi uygulanmıştır. Hafif yapı malzemesi diatomit, pomza ve zeolit havanda gözenekliliğini kaybetmeyecek şekilde öğütülmüş, 500 μ ve 1 mm' lik elekler kullanılarak, 1 mm-500 μ arasında kalan numunelerden ve hedeflenen sonuçların elde edildiği sinterlenmiş üretilen hafif agrega numunelerinden, TS EN 196 standartlarına uygun olarak hafif beton (HB) numuneleri hazırlanmıştır.

3. Aşama: Hafif yapı elemanları ve üretilen hafif agrega (HA) numunelerinden üretilen hafif beton (HB) numunelerinin basınç ve su emme değerleri incelenmiştir.

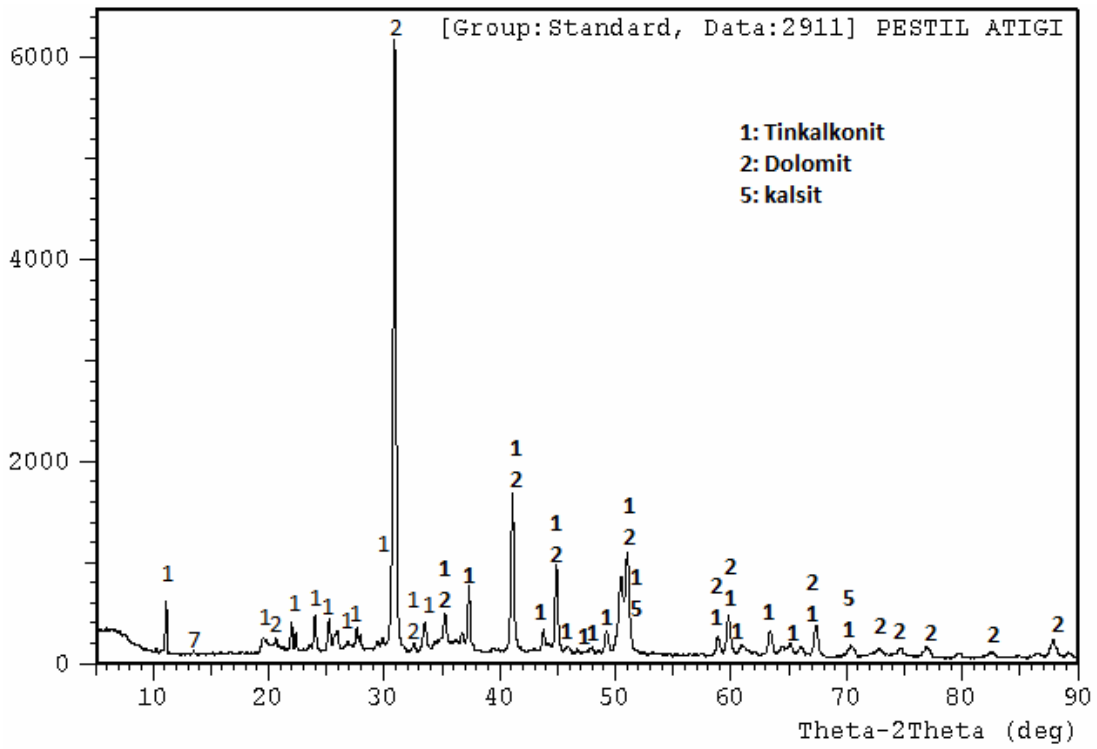
3.3 Deneide Kullanılan Hammaddeler ve Hazırlanması

3.3.1 Dekanter ve Pestil Atığı

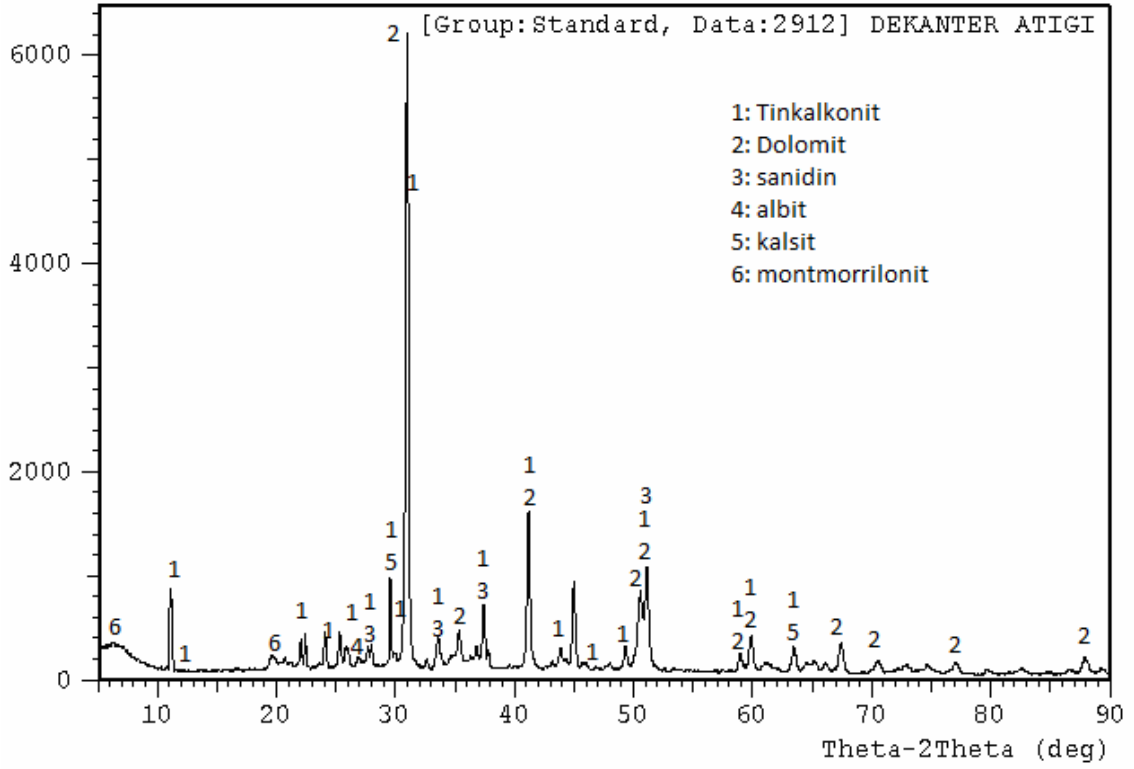
Eskişehir Kırka Tinkal bor üretimi tesislerinde üretilen, konsantratör bor atığı olan ve kimyasal analizi bilinen Pestil ve Dekanter atıkları temin edilmiştir. Kırka Tinkal konsantratör bor atığı olan Dekanter, Pestil atıkları 24 saat süreyle etüvde sabit tartıma gelene kadar bekletildikten sonra bilyalı değirmenlerde 2' şer saat süreyle öğütülmüştür. Bor atıklarına mineralojik karakterizasyon (XRD) çalışması yapılması amacıyla porselen havanda 90 μ altına öğütülerek numuneler hazırlanmış, analiz sonuçları sırasıyla aşağıda Şekil 3.1 ve 3.2 verilmiştir. Atıklara ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.1' de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Dekanter ve pestil atığına ait kimyasal analiz değerleri

İn. wt. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SrO	K ₂ O	Na ₂ O	B ₂ O ₃	Other	LOI
Dekanter	17.42	2.89	0.76	13.62	11.03	1.94	2.00	5.19	14.85	0.70	29.60
Pestil	10.44	1.65	0.59	10.63	7.17	2.08	0.83	9.24	25.17	0.71	31.50



Şekil 3.1 Pestil atığına ait temsili numunenin XRD desenleri



Şekil 3.2 Dekanter atığına ait temsili numunenin XRD desenleri

XRD analizleri sonucundan elde edilen verilere göre en yüksek pik 2θ 'da yaklaşık 32° de Dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ve tinkalkonittir. ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Kalsit, albit, sanidin, montmorillonit fazlarının varlığı küçük pikler halinde görülmüştür (Kavas vd. 2010). Dolomit hammaddesinin yüksek pik olarak görülmesi, bünyede gözenek oluşumunun hedeflenen miktarda olması açısından önemlidir.

3.3.2 Kil

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Seramik Araştırma laboratuvarından temin edilen Sörhaz kili kullanılmış ve çalışmada kullanılmak üzere kırma, öğütme, eleme işlemlerinden geçirilerek hazır hale getirilmiştir.

3.3.3 Kuvarz Kumu

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı laboratuvarından temin edilen maça silika kumu kullanılmıştır. Maça silika bilyalı değirmende homojen hale gelene kadar öğütülmüş ve ardından elenerek çalışmada kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

3.3.4 Dolomit

Bu çalışmada Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Seramik laboratuvarından temin edilen dolomit kullanılmış ve çalışmada kullanılmak üzere öğütme ve eleme işlemlerinden geçirilerek hazır hale getirilmiştir.

3.3.5 Çimento

Deneilerin tamamında, Afyon Set Çimento fabrikasında üretilmiş olan CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’ Dde, kimyasal özellikleri Çizelge 3.3’ te ve basınç dayanımları da Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.2 Çimentonun fiziksel özellikleri (Bozkır 2012)

Fiziksel Özellikleri		Analiz Sonuçları	Standart: TS EN 197-1	
			Minimum	Maksimum
Özgül ağırlık	g/cm ³	3,10	-	-
Özgül yüzey alanı	cm ² /g	2950	2800	-
90µ elek kalıntısı	%	0,91	-	-
200µ elek kalıntısı	%	0,00	-	-
Hacim genleşmesi	mm	1,27	-	10
Priz başlangıcı	dak	156	60	-
Priz sonu	dak	194	-	600

Çizelge 3.3 Çimentonun kimyasal özellikleri (Bozkır 2012)

Kimyasal Özellikleri		Analiz Sonuçları	Standart: TS EN 197-1
			Maksimum
SiO ₂	%	19,57	-
Al ₂ O ₃	%	5,58	-
Fe ₂ O ₃	%	2,91	-
CaO	%	63,14	-
MgO	%	1,95	-
Çözünmeyen kalıntı	%	0,35	1,5
Kızdırma kaybı	%	1,40	5
SO ₃	%	2,31	3,5
Cl	%	0,05	0,1

Çizelge 3.4 Çimentonun basma dayanımları özellikleri (Bozkır 2012)

Basınç Dayanımı N/mm ²		Standart: TS EN 197-1 Minimum
2 gün	26,1	20
7 gün	40,5	31,5
28 gün	53,4	42,5

3.3.6 Su

Yapılan deneysel çalışmalarda, Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı Malzemeleri laboratuvarında bulunan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.3.7 Pomza

Deneyleerde Afyon Kocatepe Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan pomza kullanılmıştır. Pomzanın kimyasal analizi aşağıdaki Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Pomzanın genel kimyasal bileşimi (Özkan & Tuncer 2011)

Bileşen	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O+K₂O	TiO₂	SO₂	Cl
İçerik (%)	60-75	13-15	1-3	1-2	1-2	7-8	Eser	Eser	Eser

3.3.8 Diatomit

Deneyleerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümüne ait yapı laboratuvarında bulunan Diatomit kullanılmıştır. Diatomitin kimyasal analizi aşağıda Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.6 Diatomitin genel kimyasal kompozisyonu (Yılmaz 2003)

Oksitler (%)	SiO₂	Al₂O₃	K₂O	Na₂O	MgO	CaO	Fe₂O₃	TiO₂	KK
Doğal diatomit	88,32	3,47	0,28	0,17	0,26	0,42	0,48	0,18	5,84

3.3.9 Zeolit

Deneyleerde Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Yapı laboratuvarında bulunan Zeolit kullanılmıştır. Zeolitin kimyasal analizi aşağıda Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Zeolitin genel kimyasal kompozisyonu

Oksitler (%)	SiO₂	Al₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O	Fe₂O₃	SO₃	KK
Zeolit	63,01	10,72	3,87	1,07	0,23	3,80	2,68	0,22	14,00

3.4 Reçetelerin Oluşturulması ve Deneysel Çalışmalar

3.4.1 Agregatın Hazırlanması

Çalışmada kullanılan Pestil, Dekanter, dolomit, kil, maça silika hammaddeleri deneysel çalışmaların 1. ve 2. aşamasında belirtildiği şekilde Çizelge 3.8’ de verilen oranlarda karıştırılarak reçete hazırlanmıştır. Dekanter ve Pestil bor atıkları 48 saat süreyle $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ ’de etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Resim 3.1’ de numunelerin kurutulması için kullanılan Memmert marka UNB 400 model laboratuvar tipi etüv gösterilmiştir.



Resim 3.1 Memmert marka UNB 400 model laboratuvar tipi etüv

Sabit tartıma getirilen Pestil ve Dekanter hammaddeleri, bilyalı değirmenlerde 2 saat süreyle öğütülmüş ve 125μ altına elenmiştir.

Dolomit, maça silika kumu ve sörhaz kili hammaddeleri 2’ şer saat süreyle bilyalı değirmenlerde öğütülmüş ve 90μ altına elenmiştir. Hazırlanan hammaddeler ile literatür bilgileri ışığında reçete oluşturulmuştur (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 Örnek agrega sisteminin bileşimi

	Dekanter (%)	Pestil (%)	Kil (%)	Kuvarz (%)	Dolomit (%)
M2	35	35	20	10	10

Hazırlanan hammaddeler homojen bir halde karışması amacıyla bilyalı değirmenlerde 30 dak. öğütülmüştür. Püskürtme yöntemiyle nemlendirilmiştir. 500 µ ve 1mm, 2mm, 3mm' lik elekler kullanılarak üç farklı tane boyut aralığında peletler elde edilmiştir. 48 saat süreyle 100°C de etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Sabit tartıma gelen agrega numunlerine ait görüntü Resim 3.2' de verilmiştir.



Resim 3.2 M2 reçetesine ait ham pelet numuneleri

Kurutulan peletlere; sinterleme sıcaklık rejimini belirlemek amacıyla DSC-TG termal analizleri uygulanmıştır. Elde edilen grafikler aşağıda 4.1.2 başlıklı konuda açıkça belirtilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlara göre hazırlanan agrega numuneleri 750° C' de Anadolu Üniversitesi Seramik Araştırma Merkezi (SAM) laboratuvarında bulunan döner fırında orta derece eğimde 15 dak. boyunca sinterlenmiştir. Döner fırına ait görüntü ve sinterlenen peletlere ait görüntü sırasıyla Resim 3.3 ve Resim 3.4' de belirtilmiştir.



Resim 3.3 Döner Fırının Görüntüsü



Resim 3.4 750° C de sinterlenen M2 pelet numuneleri

Sinterlenen M2 reçetesine ait agrega numuneleri; sinterleme sırasında oluşan genişmeden dolayı boyutlarında değişme gerçekleşmiştir. M2 reçetesine ait hafif agrega numuneleri ve pomza, zeolit ve diatomit hammaddeleri; Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı laboratuvarlarında bulunan 1mm, 2mm, 3mm ve 5mm' lik elekler yardımıyla tekrar üç farklı tane boyut aralığına ayrılmıştır (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9 M2 Reçetesine Ait Numune Kodları ve Boyut Aralıkları

Numune Kodları	M2 reçetesine ait agrega boyut aralıkları
M2-a	1-2 mm aralığı
M2-b	2-3 mm aralığı
M2-c	3-5 mm aralığı

3.4.2 Beton Reçetelerinin Hazırlanması

Hafif beton karışım hesapları normal betonlarınkinden oldukça zordur, çünkü hafif beton üretiminde kullanılan agregaların su emmeleri, özgül ağırlıkları, nem ve karışım içerisindeki ince malzeme miktarı oldukça değişkendir. Bu sebepten dolayı bu betonların dizaynında normal betonlardaki gibi minimum su-çimento oranı ile başlamak mümkün değildir. Hafif betonların dizaynındaki en önemli zorluk, karışımda kullanılan hafif agregaların çok ve hızlı bir şekilde su emmeleridir. Bazı araştırmacılar karışımda nemli agregaların veya karıştırma işleminden önce bir miktar su emdirilmiş kısmını emecek, bunun sonucunda da çimento ve hidrasyonu için gerekli suyu bulamadığı için beton mukavemeti beklenen değer altında olacaktır (Ulus 1998).

Betonda hafif agregaların kapladığı etkili hacim, kullanıldığında nem içeriği bilinen agregaların ağırlıklarına ve agrega nem içeriklerinin bir fonksiyonu olan özgül ağırlık faktörüne göre hesaplanır. Agregaların 10 dakikalık özgül ağırlık faktörü (Agregaların 10 dakika su içinde kalmasından sonra elde edilen özgül ağırlık faktörü) karışım oranları için uygundur (TS 802 1985).

Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar çok hızlı ve uzun süre su emdikleri için bu tür betonların karışımında sabit su miktarı belirlemek oldukça zordur. Bu sebepten dolayı denemelerde doğal agregalar ve hazırlanan yapay M2 reçetesine ait agregalar $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde kurutulmuştur. Böylece bünyesinde bulundurduğu rutubetten kaynaklanan sorunlar da ortadan kaldırılmıştır. Beton dizaynlarında hidrasyonu için gerekli olan su miktarına ek olarak denemelerin 24 saat tamamlandığı kabul edilerek, agregaların 24 saat su emme değerleri hesaplanmış ve su miktarı düzeltmeleri yapılarak dizaynlar tamamlanmıştır.

Denemelere başlamadan önce agregalara şebeke suyu verilerek 24 saat bir ön emdirme işlemi uygulanmıştır. Su/ çimento oranı agregaların su emme oranlarına göre hesaplanmıştır. Deneyle TS EN 196 şartlarına göre yapılmıştır. Çizelge 3.10' da beton karışım oranları verilmiştir.

Çizelge 3.10 Beton karışım oranları

Malzemeler	PM (gr)	DM (gr)	ZM (gr)	M2-a-B (gr)	M2-b-B (gr)	M2-c-B (gr)
Çimento	150	150	150	150	150	150
Su	180	180	180	120	120	105
Agrega	201,0	143,0	230,8	127,0	135,0	210,0

Hazırlanan beton reçeteleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Yapı laboratuvarında bulunan Atom Teknik marka beton harcı karıştırma mikserinde TS EN 196 standardına göre (Resim 3.5) 3 dak. süreyle karıştırılmıştır.



Resim 3.5 Beton Mikseri

Beton mikserinde homojen hale getirilen karışımlar; önceden hazırlanmış olan 4x4x16 cm boyutlarındaki üç ayrı göze sahip kalıpların içerisine dökülmüştür. Önce gözlerin yarısına kadar dökülen harçlar 30 sn şok tablasında 30 vuruş uygulanmıştır. Daha sonra

karişimin diğer yarısı eklenererek tekrar 30 sn de 30 vuruş uygulanmış ve karişımların üzeri dzeltilmıştir. şok tablasına ait görüntü Resim 3.6' da verilmiştir.



Resim 3.6 4x4x16 cm boyutlarındaki şok tablası

20±2 C sıcaklığa ve % 90 neme sahip Afyon Kocatepe Üniversitesi Yapı Malzemeleri laboratuvarında bulunan kr dolabına konularak 48 saat bekletilmıştir. Kr dolabına ait görüntü Resim 3.6'da verilmiştir. 48 saat sonunda kalıplardan çıkarılan beton numuneleri kr dolabında 20±2 C'deki suda deney zamanlarına kadar bekletilmıştir.



Resim 3.7 Kr dolabı

3.5 Agregalara Uygulanan Analizler

Deneysel çalışmanın bu aşamasında; Pomza, Diyatomit, Zeolit ve M2-a, M2-b, M2-c agrega numunelerine fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla görünür tane yoğunluğu ve açık, kapalı gözeneklilik hesaplamaları uygulanmıştır.

3.5.1 Gevşek ve Sıkı Birim Ağırlık Hesaplaması

Birim ağırlık deneyleri, TS 3529'a göre gevşek ve sıkı birim ağırlık olmak üzere iki durumda yapılmıştır. Gevşek birim ağırlık ve sıkı birim ağırlıklarının saptanması için deneyler TS 707'de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

3.5.2 Görünür Porozite Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Görünür Porozite (%) = (M1- M0) / (M1-M2) (Formül 3.1)

3.5.3 Görünür Yoğunluk Hesaplanması

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g)

Görünür Yoğunluk = M0 / (M0-M2) (Formül 3.2)

3.5.4 Bulk Yoğunluk Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/ cm³)

Bulk Yoğunluk (g/cm³) = M0 / (M1-M2) (Formül 3.3)

3.5.5 Kapalı Gözeneklilik Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Kapalı Gözeneklilik (%) = ((M0-M2) -(M0/d)) / (M1-M2) (Formül 3.4)

3.5.6 Toplam Porozite Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Toplam Porozite (%) = ((M1- M0) / (M1-M2)) + [((M0-M1)- (M0/d)) / (M1-M2)]
(Formül 3.5)

3.5.7 Minerolojik analiz (XRD)

Pestil ve dekanter bor atığı hammaddelerinin ve M2 reçetesine ait sinterlenmiş hafif agrega numunelerinin XRD analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında Shimadzu marka XRD-6000 model cihazda (Resim 3.8) Cu K-alfa ışınması kullanılarak gerçekleştirildi.

Numuneler 750° C sıcaklıktaki döner fırında sinterlendikten sonra analizden önce havanda elle öğütülerek yaklaşık 90 mikron altı boyutuna indirilmiştir. Sonra 10 gr. tartılarak XRD analizleri yapılmıştır.

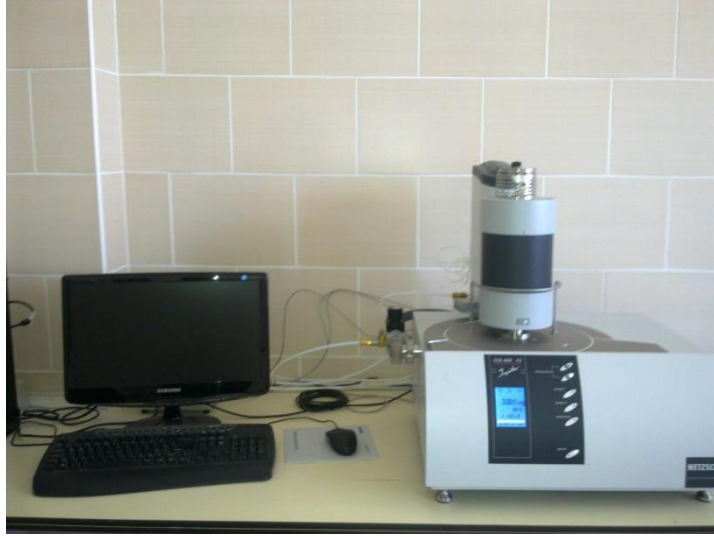


Resim 3.8 XRD Cihazına Ait Görüntü

3.5.8 Termal Analizler (DSC-TG)

M2 reçetesine ait ham peletlerin DSC-TG analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarlarında Netzsch marka STA 449 model cihazda normal atmosfer ortamı kullanılarak gerçekleştirildi.

Pelet numuneleri $100\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulduktan sonra, yeterli miktarda alınan numune cihazda bulunan krozeğe yerleştirilmiştir ve DSC-TG analizi yapılmıştır.



Resim 3.9 DSC-TG Cihazına Ait Görüntü

3.5.9 Mikro Yapı Analizi (SEM)

Sinterlenen M2 reçetesine ait agrega numunelerinin SEM analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında Leo marka 1430 model SEM cihazında (Resim 3.10) yapılmıştır. SEM analizi öncesi numuneler karbon ile kaplanmıştır.



Resim 3.10 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

3.6 Sertleşmiş Hafif Betona Yapılan Deneyler

Hazırlanan beton numunelerine 7 ve 28 günlük dayanımları ve su emme oranları ölçülmüştür. Hazırlanan M2-a-B, M2-b-B ve M2-c-B numuneleri ve pomza, diatomit, zeolit ile oluşturulan beton numunelerinin eğme ve basma dayanımlarını tespit edilmiştir.

3.6.1 Sertleşmiş Hafif Betona Yapılan Mukavemet Deneyleri

Beton kalıp numuneleri mekanik (basınç) dayanım analizi TS 3114'e göre standardına uygun olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmiştir.

$$\sigma = F_c / A \text{ (Formül 3.6)}$$

σ : Basınç dayanım değeri, N/mm²

F_c : Numune yenilme yük değeri, N

A : Numune yüzey alanı, mm²

Bu deney için Afyon Kocatepe Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında bulunan termodinamik basma test cihazı kullanılmıştır. Resim 3.11' de termodinamik test cihazına ait görüntü verilmiştir.



Resim 3.11 Termodinamik eğme ve basma test cihazı

3.6.2 Sertleşmiş Betona yapılan Su Emme Deneyi

TS 3624'e göre deney numuneleri 100±5 °C sıcaklıktaki bir etüvde 24 saat sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş ve etüv kuru ağırlığı (A1) saptanmıştır. Etüv kuru ağırlığı saptanmış numuneler 4 saat kaynatılıp 24 saat suda bekletilen numunelerin yüzeyi bir havlu ile kurulandıktan sonra suya doymuş yüzey kuru tartımları (A2) alınmıştır. Elde edilen değerler kullanılarak eşitliği yardımı ile sertleşmiş betonun kütlece su emme oranı hesaplanmıştır (TS 3624, 1981).

$$\% \text{ Su emme} = 100 \times (A2 - A1) / A1 \text{ (Formül 3.7)}$$

A1: Sertleşmiş beton kuru ağırlığı (g)

A2: Sertleşmiş betonun doymuş yüzey kuru ağırlığı (g)

3.6.3 Sertleşmiş Hafif Betonun Görünür Porozite Hesaplaması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kuru ağırlık (g/cm³)

$$\text{Görünür Porozite (\%)} = (M1 - M0) / (M1 - M2) \text{ (Formül 3.8)}$$

3.6.4 Sertleşmiş Hafif Betonun Görünür Yoğunluk Hesaplaması

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kuru ağırlık (g)

$$\text{Görünür Yoğunluk} = M0 / (M0 - M2) \text{ (Formül 3.9)}$$

3.6.5 Sertleşmiş Hafif Betonun Bulk Yoğunluk Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Bulk Yoğunluk (gr/cm³) = M0 / (M1-M2) (Formül 3.10)

3.6.6 Sertleşmiş Hafif Betonun Kapalı Gözeneklilik Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Kapalı Gözeneklilik (%) = ((M0-M2) -(M0/d)) / (M1-M2) (Formül 3.11)

3.6.7 Sertleşmiş Hafif Betonun Toplam Porozite Hesaplanması

M1 : Su emmiş ağırlık (g)

M2 : Su içerisindeki ağırlık (g)

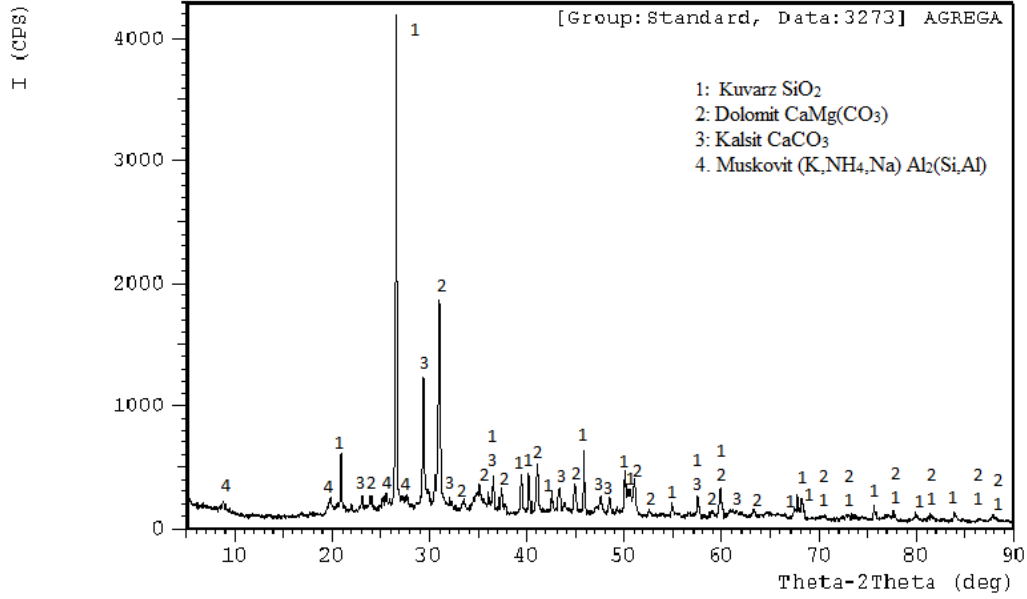
M0 : Etüv kurusu ağırlık (g/cm³)

Toplam Porozite (%) = ((M1- M0) / (M1-M2)) + [((M0-M1)- (M0/d)) / (M1-M2)]
(Formül 3.12)

4. BULGULAR

4.1 Agrega Numunelerine Uygulanan Analizlerin Sonuçları ve İrdelenmesi

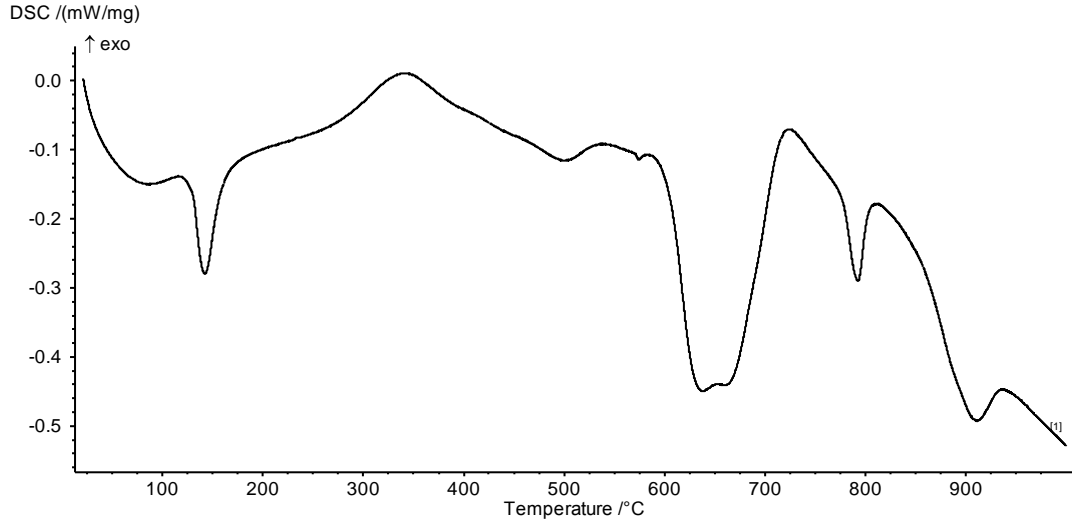
4.1.1 M2 Agrega Numunelerinin Minerolojik Analiz (XRD) Desenleri



Şekil 4.1 M2 reçetesine ait XRD desenleri

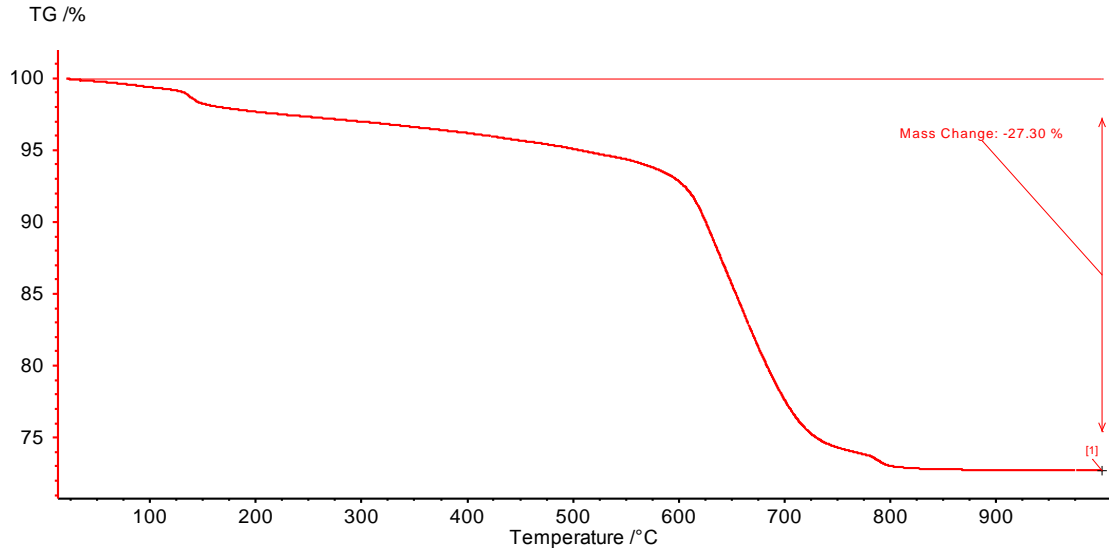
XRD analizleri sonucundan elde edilen verilere göre en yüksek pik 2θ'de yaklaşık 27°' Kuvarz (SiO₂) dir. İkinci derecede yüksek pikler ise 2θ'da yaklaşık 31° ve 29° llerde Dolomit (CaMg(CO₃)) ve Kalsit (CaCO₃) hammaddelerinin pikleri elde edilmiştir.

4.1.2 M2 Agrega Numunelerinin Termal Analiz (DSC-TG) Desenleri



Şekil 4.2 M2 reçetesine ait DSC analizi desenleri

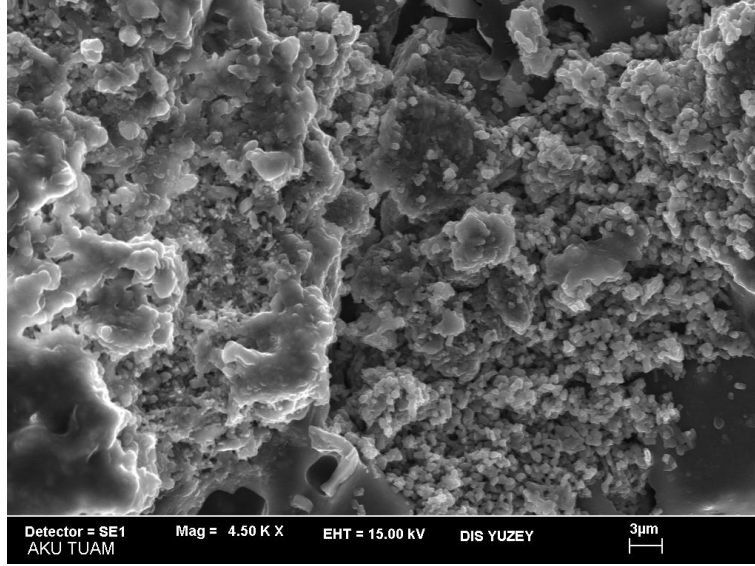
M2 reçetesine ait ham agrega peletlerine uygulanan DSC (Differansial Scanning Calorimeter) analizi ile, numunelerin termal davranışları incelenmiştir. 160° C de numunelerin yüzey suları uzaklaşmıştır. 160° C den 600-650° C aralığına kadar tinkalkonit kimyasal suyunu kaybederek susuz borax' a dönüşür. Bu durum numunelerde ağırlık kaybı oluşmasına yol açmıştır. 600-650° C lerde görülen güçlü endotermik pikler; mevcut dolomitin çözünmeye başladığını ve ağırlık kaybının oluştuğunu göstermektedir. 700° C de süreç tamamlanmıştır ve minimum ağırlık kaybı görülmüştür. 900° C de görülen diğer endotermik eğri ise dolomit ve kalsitin dekompozisyonu sonucu görülmektedir.



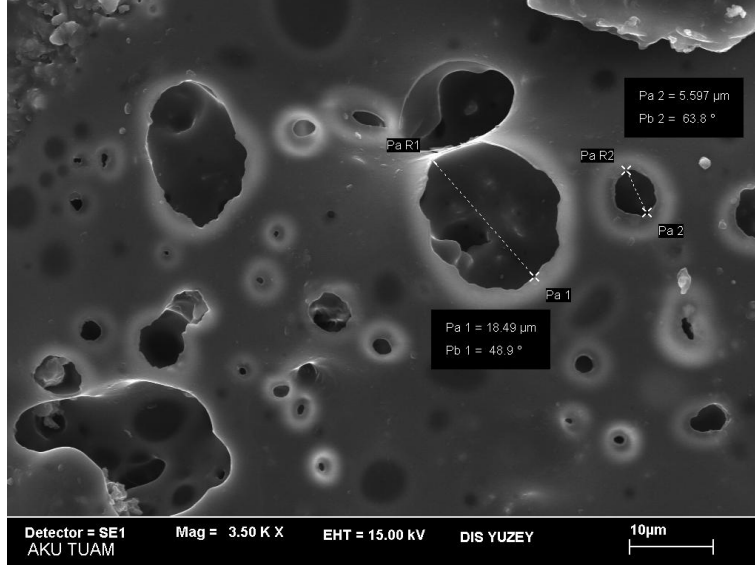
Şekil 4.3 M2 Reçetesine Ait TG Analizi Desenleri

M2 reçetesine ait ham pelet numunelerine uygulanan TG (Termal Gravimetrik Analiz) ile oluşan ağırlık kaybı incelenmiştir. 100-160° C sıcaklık aralığında gerçekleşen reaksiyon sonucu ; minimum seviyede ağırlık kaybı başlamış olup yaklaşık 600-700° C arasında hızlı ve yüksek oranda bir ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Analizin sona erdiğinde toplamda yaklaşık % 27,30 miktarınca bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

4.1.3 M2 Agrega Numunelerine Ait Mikro Yapı (SEM) Analizleri ve Sonuçları

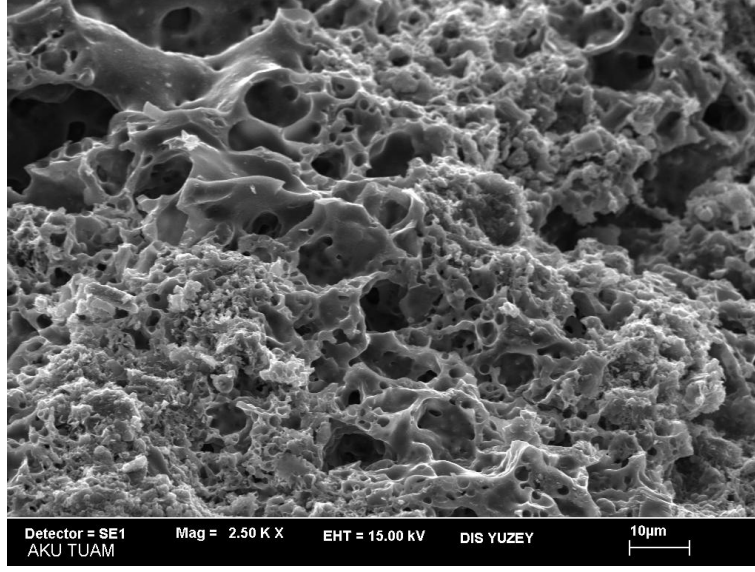


Şekil 4.4 M2 agrega numunelerinin dış yüzey SEM analizi sonucu (a)



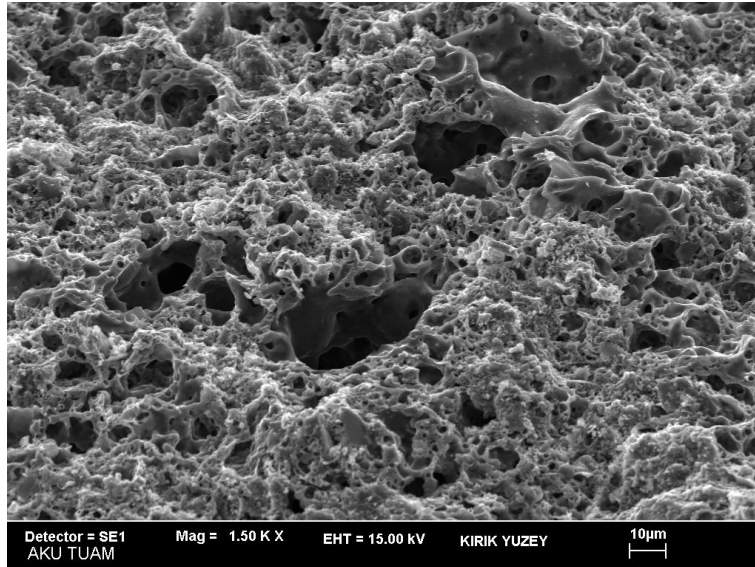
Şekil 4.5 M2 agrega numunelerinin dış yüzey SEM analizi sonucu (b)

M2 agrega numunelerinin dış yüzey sem analizinde; çoğunlukla kapalı gözeneklerin birbirine bağlı olarak geniş bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Dış yüzey kapalı gözeneklere vitfiye (camsı) durumdadır (Kavas vd. 2011).

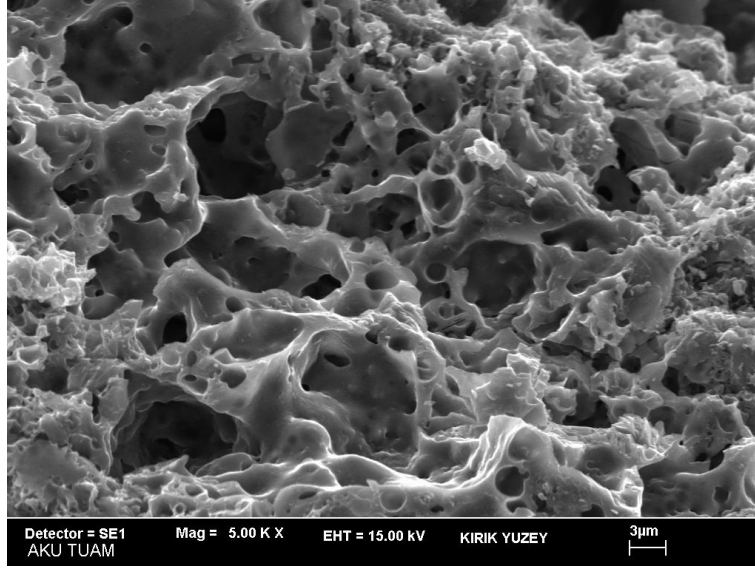


Şekil 4.6 M2 agrega numunelerinin dış yüzey SEM analizi sonucu (c)

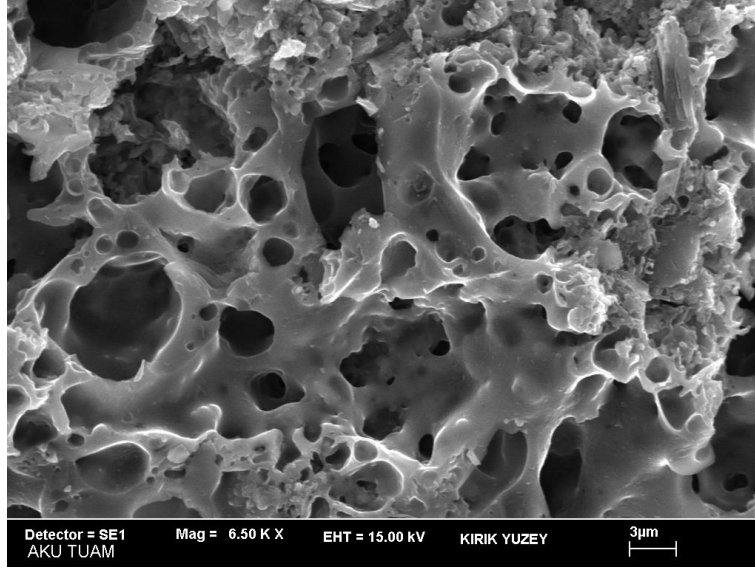
M2 agrega numunelerinin dış yüzey sem analizinde; çoğunlukla kapalı gözeneklerin birbirine bağlı olarak geniş bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Dış yüzey kapalı gözeneklere vitfiye (camsı) durumdadır (Kavas vd. 2011). Yüksek oranda farklı çap aralıklarında gözenekler bulunmaktadır.



Şekil 4.7 M2 agrega numunelerinin kırık yüzey SEM analizi sonucu (a)



Şekil 4.8 M2 agrega numunelerinin kırık yüzey SEM analizi sonucu (b)



Şekil 4.9 M2 agrega numunelerinin kırık yüzey SEM analizi sonucu (c)

M2 agrega numunelerinin kırık yüzey sem analizinde; genellikle yuvarlak şekilli, izole gözeneklerle dolu olduğu görülmektedir (Kavas vd. 2011). Yüksek oranda ve farklı çap aralıklarında gözenek miktarı olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.4 Agregaların Numunelerinin Su Emme Değerleri

Çizelge 4.1 Agregaların numunelerine ait su emme değerleri

Numune Kodları	Görünür Porozite	Görünür Yoğunluk	Bulk Yoğunluk	Kapalı Gözenek	Toplam Porozite	Gevşek birim ağırlık	Sıkı Birim Ağırlık
P	66,48	2,358	0,790	10,28	76,53	0,75	0,78
D	59,96	1,993	0,798	16,57	76,53	0,78	0,79
Z	55,72	2,517	1,115	11,50	67,22	0,85	0,98
M2-a	77,04	2,565	0,589	5,64	82,86	0,51	0,54
M2-b	68,75	3,000	0,938	3,68	72,43	0,80	0,84
M2-c	58,40	2,476	1,117	6,72	55,38	0,86	0,92

Üretilen agregalar olan M2-a ve M2-b, M2-c numunelerinin içlerinden en düşük bulk yoğunluğa sahip olan M2-a numuneleridir. Fakat kapalı gözenek oranlarına bakıldığında en yüksek değer M2-c numunelerine aittir. M2-a ve M2-b numunelerinin porozite oranlarının M2-c numunelerinden yüksek olmasının nedeni; M2-c numunelerinin tane boyutundan dolayı gazların bünyede yeterince gözenek oluşturamamasıdır.

4.2 Beton Numunelerine Uygulanan Deneyler

4.2.1 Beton Numunelerinin Su Emme Değerleri

M2-a- ve M2-b, M2-c agregalarından üretilen hafif beton numuneleri içlerinden en düşük bulk yoğunluğa sahip olan M2-a-B reçetesidir. M2-a-B ve M2-b-B numunelerinin porozite oranlarının M2-c-B numunelerinden yüksek olmasının nedeni; M2-c agregalarının tane boyutundan dolayı gazların bünyede yeterince gözenek oluşturamaması ve beton üretimi sırasında bu gözeneklerin çimento pastası tarafından doldurulamayıştandır. Bu yüzden M2-c-B numunesinin su emme değeri de, M2-a-B ve M2-b-B numunelerine nispeten daha düşük değerdedir.

Çizelge 4.2 Beton numunelerinin su emme değerleri

Agrega Numune Kodları	Açık Porozite	Görünür Yoğunluk	Bulk Yoğunluk	Kapalı Gözenek	Toplam Porozite	Su Emme
P-B	25,78	1,836	1,363	31,63	57,41	18,92
D-B	27,23	1,771	1,289	32,49	59,72	21,13
Z-B	31,22	1,932	1,558	36,61	57,95	15,86
M2-a-B	22,23	1,902	1,479	31,55	53,78	15,03
M2-b-B	19,37	1,932	1,558	31,95	51,32	12,44
M2-c-B	18,66	2,037	1,656	29,57	48,24	11,27

4.2.2 Beton Numunelerinin Mukavemet Değerleri

M2-a-B, M2-b-B ve M2-c-B reçetesinin üç nokta eğme dayanımı değerleri; doğal agregalarla üretilen beton numunelerinin üç nokta eğme dayanımlarından belirgin şekilde yüksektir. M2-a-B ve M2-b-B reçetelerinin üç nokta eğme dayanımları ise M2-c-B ye nispeten oldukça yüksektir.

M2-a-B, M2-b-B ve M2-c-B reçetesinin basma dayanımı değerleri; doğal agregalarla üretilen beton numunelerinin basma dayanımlarından belirgin şekilde yüksektir. M2-b-B ve M2-c-B reçetelerinin üç nokta eğme dayanımları ise M2-a-B ye nispeten oldukça yüksektir.

Bor atıklarından üretilen agregaların dayanım değerlerini, pomza, diatomit ve Zeolit ile üretilen beton numunelerinin dayanım değerlerinden yüksek çıkmasının nedeni; çimento matrisi ile yapay agregaların fiziksel ve kimyasal olarak daha fazla uyum gösterdiğinin belirgin bir ölçütüdür. M2-c-B numunesinin basma dayanımının M2-a-B ve M2-b-B numunelerine göre nispeten daha yüksek çıkmasının nedeni; su emme deneyindeki toplam gözeneklilik oranının nispeten diğer agregalardan daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.3 Beton numunelerinin mukavemet değerleri

Numunelerin Kodları	Üç Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	Basma Dayanımı (N/mm²)
P-B	3	5,7
D-B	2	11,3
Z-B	2,5	7,8
M2-a-B	4,7	16,1
M2-b-B	4,8	19,3
M2-c -B	3,1	19,1

5 . TARTIŞMA VE SONUÇ

M2-a ve M2- b agrega numunelerinin kapalı ve açık gözeneklilik oranları M2-c agrega numunelerinin gözeneklilik oranından daha yüksektir. Böylelikle M2-a ve M2-b reçeteleriyle üretilen agregaların hafif beton imalatında daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

M2-c agrega numuneleri ile üretilen betonların gözeneklilik oranının daha düşük olmasından dolayı daha yüksek mukavemet değerleri elde edilmiştir. Buda mukavemetin hafiflikten üstün geldiği uygulama alanlarında M2-c reçetesi ile üretilen agregalarında uygulama alanı bulabileceğinin bir göstergesidir.

Mukavemet değerlerine bakıldığında bor atıklarıyla üretilen agregaların beton matrisle uyumu, doğal agregalara nispeten belirgin şekilde daha yüksektir.

Yapay agregalarla üretilen betonlarda gözeneklilik değerlerine bakıldığında doğal agregaların olduğu gibi yalıtım uygulamalarında kullanımlarının uygun ve mümkün olduğu anlaşılabilir.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada bor atıklarının hafif beton üretimi için kullanılan hafif agrega üretiminde uygun nitelikler taşıdığı ve böylelikle bor atıklarının endüstriye kazandırılmasının ve doğaya olan yan etkilerinin önlenmesinde yeni bir uygulama alanı daha kazandırılmış olmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Addemir, O, 2001 İleri teknoloji Malzemelerinde Bor Türevleri Türkiye Borat Yatakları, Workshop, İTO Maden Fakültesi, Edt Kırıkkoğlu, S, Budakoglu, M, Çelenk, A, s.43-46
- ACI Committee 116. (1994).” *Cement and concrete terminology*”, ACI Manual of Concrete Practice, **Part 1**
- Akman, S. (1977). “Yapı malzemeleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi, **35 (3)**, İstanbul
- Alyıldız İ.S., 2003, “Isparta Dereboğazı Tüflerinde Donma-Çözünme Periyotlarının Fiziko-Mekanik Davranışlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Akkaya, Y. , Gülşahin, S., (2006). “*Taze betonda segregasyonun ölçülmesi ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi*“. Sika Teknik Bülten (**Sayı:2**). İstanbul
- Akdağ M., Aytekin, Y., Aksoy, M., Ertene, A., Arman, H., Akçıl, A.U., Öztürk, D.,Badruk, M., 1992, “Kırka Tinkal Cevherinin Patlatma Yoluyla Zenginleştirilebilirliğinin ve Bu Yöntemin Mevcut Bilinen Yöntemler Yerine İkamesinin Araştırılması”, Tübitak Projesi – **MAG 838 (MDSAG 9)**, İzmir.
- Arslaner M., Durmuş, A., Hüsem M. ve Kolaylı H. (1996). „Karadeniz bölgesi hafif agrega yataklarının belirlenmesi ve bunların yekpare ve prefabrike beton yapılarda kullanılabilirlik ve yararlarının araştırılması.”, Trabzon.
- Aruntaş, H, Y., Şimşek, O., Eroltekin V., 1999, “*Uçucu Külün Hafif Beton Yapı Elemanı Üretiminde Kullanımı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi*”. e-teknoloji

Dergisi, Cilt 2, Sayı 3-4, s,15-23.

Balık, F.S. ve Kamanlı, M. (2003). “*Beton teknolojisi*”. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.

Coope B. (1992). Perlite, Industrial Minerals, **P. 116**, U.K.

Curga, Sibel (2002). “Monopolde Fiyatlama ve Bor Madenleri Uygulaması”, Anadolu Üniversitesi

Çelik, Ç., ve Gürdal, E., 2005, “*Yerfıstığı Kabuğunun Agregada Olarak Kullanım Olanakları*”, İTÜ Dergisi/*a* Mimarlık, Planlama, Tasarım, Cilt:4, Sayı:1, s.37-46.

Çiftçi, E. (2003). “*Yer Bilimleri Teknik Terim Sözlüğü*”, Niğde

Ediz, N, Özdam, H., 1995. “*Kırka boraks işletmesi atık killilerinin tuğla yapımında kullanılabilirliğinin araştırılması*”, Madencilik. TMMOB Maden Mühendisleri Odası ,Yayın; Cilt. 34 Sayı 4. Ankara **27-34**

Ekmekyapar, T., Özüng, İ., (1997)“*İnşaat Malzeme Bilgisi*” Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, **No: 145**, Erzurum.

Evrin, A. (1982), “*Bor Atıklarının İyon Değiştirme Metodu ile Tasviyesi*”, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Fahrettin Ş. (2004), MTA Maden Etüt ve Arama Daire Başkanlığı, “Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong - Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler”.

Güyagüler. T.” *Türkiye Bor Potansiyeli, 4 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*”, 18-1910 2001, İzmir, Türkiye, s. **18-27**

Hüseyin D., 2004 MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı,” Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong - Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler”.

Howell, R.W., (1992), A Long-Range “View Of The Perlite Industry”, Perlite Institute Inc. Annual Meeting, U.K.

Karadeniz, M. (1996), “Cevher Zenginleştirme Atıkları Çevreye Etkileri Ve Önlemleri”,MTA, Daire Başkanlığı, Ankara:332

Kartal, A, (1998),” Sır ve Sırlama Tekniği”, Ankara, Çizgi Matbaacılık.

Kavas T., A. christogerou, Y.Pontikes, G.N Angelopoulos, 2010.” *Valorisation of differen types of boron-containing wastes fort he production of lightweight aggregates* “. **1381-1389**.Greece, Belgium, Turkey

Kavas, T, (1997), "Seydişehir Kırmızı Çamuru ve Kırka Bor Atıkları Kullanarak Kaliteli Yapı Malzemesi Üretim İmkanlarının Araştırılması", Afyon, Afyon Kocatepe Ün. Fen Bilimleri Ens.

Kökkılıç, O. (2003), “Kırka Bor İşletmesindeki Sulardan Boraks Kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi

Köktürk, U., 1997. “Endüstriyel Hammaddeler”, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Yayın No:205, İzmir, **64-68**.

Mehmet POLAT, (1987), Bor Endüstrisine Genel Bakış, **1- XXVI**

Mehta,P. K. & Monteiro P.J.M. (1997). “*Concrete microstructure, properties and materials.*” Chapter: 8, Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, **256–271**

- Mendes, N., Fernandes, C.P., Philippi, P. C., and Lamberts, R.,(2001) “*Moisture Content Influence On Thermal Conductivity Of Porous Building Materials*”, Seventh International Ibpsa Conference, Rio De Janeiro, Brazil.
- Milli Eğitim Bakanlığı. (2006). “Mesleki Eğitim ve Öğretimin Güçlendirilmesi Projesi. İnşaat Teknolojisi” Beton-2 Ders Notları, Ankara
- Neville, A.M.,(1975), “Properties of Concrete”, Pitman Publishing, London.
- Neville, A.M. (1981).” *Properties of concrete. Longman Scientific and Technical*”, Third Edition
- Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M. ve Uyan, M. (2004). “*Her yönüyle beton*”, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, **1-2, 16, 25, 28-29, 34**
- Reyhanoğlu M., 1988. “Pomza ve Kullanım Alanları”. C.U. F.B.E., Adana
- Sapmaz, A., 2001. “*Ülkemiz Bor Madenciliği ve Hukuki Durumu, Türkiye Borat Yatakları*”, Workshop, İTÜ Maden Fakültesi, Edt Kmkoğlu, S, Budakoğlu, M.Çelenli, A-, s: **69-79**
- Sarıhan, E. (2006), “İstanbul Ticaret Odası-Bor Sektör Profili”
- Smith, R.A., (2002), “ *Basic Geology and Chemistry of Borate*”, Amer.Cer.Soc. Bull., **81- 8.**

- Sönmez, E. (1991) “Kırka tinalı cevheri ve konsantresinin zenginleştirme olanaklarının araştırılması.” Doktora Tezi D.E.Ü. İzmir **s1-28**
- Şimşek, O. (2004). “*Beton ve beton teknolojisi.*” Ankara: Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.
- Taşçı, A., (1993). "Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları" İ.Ü. F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,
- TS 3624, (1981),” Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu” T.S.E., Temmuz, Ankara.
- TS 1114 EN 13055–1, 2004, “Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2511, (1977), Taşıyıcı Hafif Betonların Hesap Esasları, T.S.E., Şubat 1977, Ankara
- TS 3068, (1978). Laboratuvarında Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206-1. (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü., Nisan 2002, Ankara.
- Uysal, H., (1999). Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenliğinin araştırılması, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ulus, İ., (1998), “Erzincan Mollaköy Ham Perlit Agregasının Taşıyıcı Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.

Uysal, H., (1999). “Kocapınar pomzası ile üretilen hafif betonun ısı geçirgenliğinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yalçınalp, S. (2000) “Hafif Beton Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **67**.

Yeğınobalı, A., 1997, “*Yüksek Dayanımlı Doğal Hafif Agregalı Beton*” TÜBİTAK İNTAG/TOKİ-**626**.

Yeğınboğalı, A. (1999). *Betonun dayanıklılığı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı, Çimento ve Beton Araştırma Geliştirme*, Ankara, **1-21**.

Yılmaz O., Ay E. (2003) , Hidrotermal ve Mikrodalga Enerji Yöntemiyle Lityum ve Borca Zengin Boratlı ve Borofosfatlı Bilesiklerin Sentezlenmesi, Lisans Bitirme Çalışması, Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Balıkesir.

Roskill, 1999. Economics of Boron, **9th edition**

İnternet Kaynakları

1. <http://www.boraxtr.com/boraxtr/Anadosya/bornedir.html> 12.05.2012
2. <http://www.boren.gov.tr/element.htm> 12.05.2012
3. (<http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/sanayiha/oik619.pdf>) 03.04.2012

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gülşah Sariağaç
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar, 03.11.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05415618487/ gceran8@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurumu ve Yıl)

Lise : Afyon Lisesi

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi/Malzeme Bilimi ve
Mühendisliği

Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi/Malzeme Bilimi ve
Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -

Yayımları (SCI ve diğer) : -

Diğer Konular : -