T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ESKİŞEHİR-KIRKA BÖLGESİ BOR ATIKLARININ HAFİF BETON ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE

Danışman	**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR**
Jüri Üyesi	**Prof. Dr. Savaş CANBULAT**
Jüri Üyesi	**Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE tarafından hazırlanan **"Eskişehir-Kırka Bölgesi Bor Atıklarının Hafif Beton Üretiminde Agrega Olarak Kullanılmasının Araştırılması"** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Savaş CANBULAT Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	.....

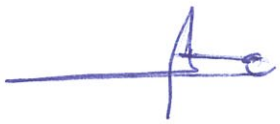
13./12/2019

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Nur BELKAYALI .....

TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESKİŞEHİR-KIRKA BÖLGESİ BOR ATIKLARININ HAFİF BETON ÜRETİMİNDE AGREGA OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan pomzanın agrega ve kıymetli endüstriyel atık olan bor atığının farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7 ve %9) agrega ile ağırlıkça ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu hafif beton üretimi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda; fiziksel ve mekanik açıdan hafif betona göre daha üstün özellikli, suya dayanıklı ve hafif bir malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, %90 pomza agregası ve %10 kum (basınç dayanımını arttırmak için) kullanılarak (Referans numune) hafif beton üretimi yapılmıştır. İkinci aşamada pomza agregasına %1, %3, %5, %7 ve %9 oranında bor atığı kullanılarak katkılı hafif beton numunesi üretilmiştir. Üçüncü aşamada ise üretilen hafif beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Mekanik özelliklerin tespiti için; yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Fiziksel farklılıkların tespiti için ise, özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, kılcal su emme ve porozite deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda; bor atığının artması ile malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonuç %9 bor atığı ikamesi ile elde edilmiştir. Çevreye zararlı atık olan bor atıklarının inşaat sektöründe kullanılması bor atıklarının geri dönüştürülerek sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, pomza, bor atığı, fiziksel özellik, mekanik özellik

2019, 64 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE INVESTIGATION OF USE AS AGGEGATE IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION OF BORON WASTES OF ESKİŞEHİR-KIRKA REGION

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE
Kastamonu University
Gaduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR

Abstract: In this thesis; it is aimed that aggegate of pumice that is natural resource and the use of boron waste which is a valuable industrial waste, as a substitution material in different proportions (1%, 3%, 5%, 7% and 9%). In the result of working; In the physical and mechanical aspects, it is aimed to obtain a with superior property, water-resistant and lightweight material acording to conventional light concrete. The thesis study was carried out in three stages. In the first stage, 90% pumice aggegate and 10% sand (to increase compressive strength) (Reference sample) were used for lightweight concrete production. In the second stage, substitution lightweight concrete sample was produced that using to 1%, 3%, 5%, 7% and 9% boron waste to the pumice aggegate. At the final stage, experiments were carried out to determine the physical and mechanical properties of lightweight concrete samples. For the determination of mechanical properties; tensile splitting strength and compressive strength tests were performed. In order to determine physical differences, specific gavity, water-saturated unit weight, capillarity and porosity tests were performed. In the result of working; It was determined that improvement of the physical and mechanical properties of the material with the increase of boron waste. The best result was obtained by 9% boron waste substitution. The use of boron wastes, which are hazardous to the environment, in the construction sector will contribute to sustainability by recycling the boron wastes.

Key Words: Lightweight concrete, pumice, boron waste, physical property, mechanical properties

2019, 64 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yoğun çalışmaların eseri olan bu yüksek lisans tezim süresince maddi ve manevi her türlü desteği benden esirgemeyen, değerli danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a, tez çalışması süresince bilgi, destek ve ilgisini benden esirgemeyen sayın Öğr. Gör. Dr. Arzu ÇAĞLAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca, laboratuvar olanaklarının kullanmam konusunda her türlü desteğini esirgemeyen Kastamonu Karayolları Bölge Şefi Metin TÜCCAR'a, en içten şükranlarımı sunarım.

Son olarak, beni yüksek lisans çalışmamı tamamlamam husussunda her zaman teşvik eden sevgisini, bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime ve çocuklarıma, büyük fedakarlıklarla beni yetiştiren, dualarını üzerimden eksik etmeyen, bu günlere gelmemi sağlayan canım anneme minnettarlığımı ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Abudalrhman Mohamed Bsher ALDAKSHE
Kastamonu, Aralık, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ii
TAAHHÜTNAME iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ŞEKİLLER DİZİNİ x
TABLOLAR DİZİNİ xi
1. GİRİŞ 1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi 2
1.2. Hafif Beton 3
1.2.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması 4
1.2.2. Hafif Betonların Kullanım Alanları 4
2. LİTERATÜR TARAMASI 6
3. MATERYAL VE YÖNTEM 13
3.1. Materyal 13
3.1.1. Pomza 13
3.1.2. Bor ve Bor Atığı 19
3.1.3. Çimento 28
3.1.3.1. *Çimentonun Tarihçesi* 28
3.1.3.2. *Çimento Hammaddeleri* 30
3.1.3.3. *Çimentonun Üretimi* 31
3.1.3.4. *Çimento Türleri* 34
3.1.4. Karışım Suyu 35
3.2. Yöntem 36
3.2.1. Bor Atığı Katkılı Hafif Beton Üretimi 36
3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler 38
3.2.2.1. *Özgül Ağırlık* 39
3.2.2.2. *Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık* 39
3.2.2.3. *Kılcal Su Emme* 40
3.2.2.4. *Porozite* 40
3.2.3.Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler 41
3.2.3.1. *Basınç Dayanımı* 41
3.2.3.2. *Yarmada Çekme Dayanımı* 41
4. BULGULAR 42
4.1. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları 42
4.1.1. Referans Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları 42
4.1.2. Bor Atığı Katkılı Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları 43

4.1.3. Referans Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları 44
4.1.4. Bor Atığı Katkılı Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları 44
4.2. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 45
4.2.1. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 45
4.2.1.1. *Özgül Ağırlık* 46
4.2.1.2. *Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık* 46
4.2.1.3. *Kılcal Su Emme* 47
4.2.1.4. *Porozite* 48
4.2.2. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 49
4.2.2.1. *Basınç Dayanımı* 49
4.2.2.2. *Yarmada Çekme Dayanımı* 50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 52
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al	Alüminyum
dB	Desibel
K	Potasyum
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
Na	Sodyum
P	Pomza
Si	Silisyum

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	American Concrete Institute
BA	Bor Atığı
BNCT	Bor Nötron Yakalama Tedavisi
CRT	Cathode Ray Tube
ÇİSAN	Türkiye Çimento Sanayi
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
EPS	Expanded Polystyren Foam
LCD	Liquid Crystal Display
Pmax	Maksimum Yük
PVC	Poli Vinil Clorür
s/ç	Suyun Çimentoya Oranı
TS	Türk Standartları
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Pomza Agregasının Gözenekli Yapısı 13
Şekil 3.2. Asidik ve Bazik Pomza Örnekleri..... 14
Şekil 3.3. Pomza Türkiye Rezerv Haritası 17
Şekil 3.4. Pomzanın Ülkemizde Rezerv Durumu 17
Şekil 3.5. Türkiye Bor Yatakları Haritası 21
Şekil 3.6. Bor Atıklarının Kıymetli İçeriklerinin Kazanılmasına Yönelik Şema..... 26
Şekil 3.7. Bor Atığı Kullanımının Sektörlere Göre Dağılımı 27
Şekil 3.8. Bor Atığının Mineralojik Analizi 28
Şekil 3.9. Çimento Üretim Tesisi Çizimi..... 33
Şekil 3.10.Hafif Beton Malzemelerinin Karıştırılması 37
Şekil 3.11.Numunelerin Kalıplara Yerleştirilmesi..... 38
Şekil 3.12.Numunelerin Kür Edilmesi..... 38
Şekil 4.1. Numunelerin Özgül Ağırlıklarının Karşılaştırılması 46
Şekil 4.2. Numunelerin Suya Doygun Birim Hacim Ağırlıklarının Karşılaştırılması 47
Şekil 4.3. Numunelerin Kılcal Su Emme Miktarlarının Karşılaştırılması 48
Şekil 4.4. Numunelerin Porozite Değerlerinin Karşılaştırılması 49
Şekil 4.5. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması..... 50
Şekil 4.6. Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması..... 51

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Ülkemizdeki Pomza Kayaçlarının Genel Fiziksel Özellikleri 15
Tablo 3.2. Ülkemizdeki Pomza Kayaçlarının Genel Kimyasal Özellikleri 16
Tablo 3.3. Pomza Tiplerinin Kimyasal Kompozisyonuna Örnek 16
Tablo 3.4. Ticari Öneme Sahip Bor Mineralleri 20
Tablo 3.5. Türkiye'de Bulunan Bor Rezervlerinin Dağılımı 21
Tablo 3.6. Bor Atığının Kimyasal Özellikleri 28
Tablo 3.7. Çimento Bileşenlerinin Kil İçeriğine Göre Sınıflandırılması 31
Tablo 3.8. Çimentoya Ait Değerler Ve TS EN 197-1'de İstenen Değerler 35
Tablo 3.9. Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Oranları 37
Tablo 4.1. Referans Numunelerine Ait Fiziksel Deney Sonuçları 42
Tablo 4.2. Bor Atığı Katkılı Numunelerine Ait Fiziksel Deney Sonuçları 44
Tablo 4.3. Referans Numunelerine Ait Mekanik Deney Sonuçları 44
Tablo 4.4. Bor Atığı Katkılı Numunelerine Ait Mekanik Deney Sonuçları 45

1. GİRİŞ

İnsanlar barınma amacıyla çeşitli yapılara ihtiyaç duymakta, ihtiyaç duyulan bu yapılarda en önemli yeri ise malzeme almaktadır. Bir yapının ömrü inşasında kullanılan malzemenin niteliği ve uygun bir şekilde kullanılmasıyla uzatılabilmektedir (Gül, 2018). İnşaat sektöründe yapı taşıyıcı eleman olarak en çok kullanılan malzeme beton malzemesidir. Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddesinin belirli oranlarda karışımlarından meydana gelen homojen bir yapı malzemesidir (Baradan, 1997). Beton üretiminin ucuzluğu, kolaylığı, uzun ömürlü olması ve etkisi altında kaldığı yüklere karşı dayanımı betonu en önemli yapı malzemesi statüsüne getirmiştir (Gül, 2018). Çok yaygın kullanımı olasına karşın, betonun özellikle ısı ve ses iletkenliğinin yüksek, birim ağırlığının fazla olması, yapılarda önemli fiziksel ve mekanik sorunlara sebep olmaktadır (Uysal vd., 2004).

Teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak beton endüstrisinde de ilerlemeler meydana gelmiştir (Gökçe, 2010). İnşaat sanayinde etkin bir şekilde kullanılan betonların sakıncalı yönlerini iyileştirmek, daha ekonomik ve fonksiyonel betonlar elde etmek için yeni beton çeşitleri üretimi geliştirilmiştir (Ünal ve Uygunoğlu, 2007; Beycioğlu, 2008). Bu gelişim sürecinde değişik agregalar ve katkı maddeleri kullanılmış, karışım oranları değiştirilmiştir. Bunun yanı sıra yalnızca normal agrega ve çimento kullanılmasıyla yapım tekniğinde değiştirilmiş veya bu yöntemlerden birkaçı birlikte kullanılarak özel betonlar üretim yoluna gidilmiştir (Alkaya, 2010).

Özel betonlar, kullanım yerlerine ve amaçlarına göre çeşitli beklentileri karşılamak üzere üretilmiştir (Yazıcıoğlu ve Bozkurt, 2006). Özel amaçlı betonlar incelendiğinde ilk sırayı hafif betonların aldığı görülmektedir. Birim ağırlığı az, yalıtımı yüksek, yeterli dayanıma sahip ve yanmaz bir malzeme olan hafif beton geleceğin mimarlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Hafif betonu normal betondan ayıran en belirgin özelliği, hafifliği ve ısı yalıtımı sağlayan boşluklu yapıya sahip olmasıdır. Hafif beton içerisinde bulunan boşluklar, boşluklu agrega kullanılarak (bims veya pomza taşı, genleşmiş kil, cüruf, perlit vb.) veya boşluklu

içyapı oluşturarak sağlanmaktadır. Ayrıca ince harç içinde gaz kabarcıkları oluşturarak da hafif beton elde edilmektedir (Topçu, 2006).

Ülkeler, insanlık açısından olağanüstü bir öneme sahip olan endüstri yönünden hızlı ve büyük bir gelişim içerisine girmektedir. Bu gelişim yarar sağlamasının yanı sıra çeşitli olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzlukların başında çevre ve insan sağlığına zararlı olan atık maddeler gelmektedir (Beycioğlu vd., 2008). Endüstri sektöründe hammaddelerin çıkarılmasında, üretimi esnasında veya tüketimi sonrasında açığa çıkan atıklar çevre kirliliği açısından büyük tehlikeler arz etmektedir (Etxeberria, 2010). Fiziksel ve kimyasal geri dönüşüm işlemleri ek bir yatırım masrafı oluşturacağından atıkların tamamının geri dönüştürülmesi neredeyse imkânsız hale gelmektedir (Kaya ve Turan, 2004). Fakat inşaat sektörü gibi hızlı gelişim gösteren alanlarda atık malzemelerin kullanılması çevre kirliliğini azaltmakla beraber ek yatırım masraflarını da ortadan kaldıracaktır (Çelik, 2004). İnşaat sektöründe çevre kirliliğine sebep olan pek çok atık maddenin yapı malzemesi veya dolgu malzemesi olarak kullanıldığı farklı çalışmalar literatürde yer almaktadır (Galvao vd., 2011; Hebhoub vd., 2011, Yılmaz, 2018).

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan pomza, endüstriyel ve kıymetli atık olan bor atığının agrega ile ağırlıkça farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7 ve %9) katkı maddesi olarak kullanılması sonucu hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Üretilen bu hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda fiziksel ve mekanik açıdan hafif betona göre daha üstün özellikli ve hafif bir malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması uygulamaya geçirildiğinde; üretilen hafif beton yapının zati yükünü düşürecektir. Bu durum temele aktarılan yüklerin azalmasını, dolayısıyla temel giderlerinin de azalmasını sağlayacaktır. Hafif betonla üretilen yapının depremler sırasında alacağı yatay kuvvetler düşük olacaktır ve bu yatay kuvvetlerin etkisinde oluşan kesit etkileri de küçük olacaktır. Dolayısıyla hafif beton yatay yönlü kuvvetlere dayanım açısından yarar sağlayacaktır. Uygulama kolaylığına sahip hafif

betonun yapı malzemesi olarak kullanılması ile malzeme yönünden ekonomik kazançlar elde edilecektir. Depreme karşı dayanıklılık ve ses yalıtımı için ikinci bir yalıtım malzemesi kullanımının ortadan kalkması şeklinde yarar sağlayacaktır. Deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, donma-çözülme gibi birçok problemin çözümünde önemli bir rol oynayacaktır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve bor atığı gibi endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliği önleyecek ve ülke ekonomisine destek sağlayacaktır. Doğal hammaddelerimiz ve endüstriyel atıklarımızdan üretilen hafif beton ile sürdürülebilir yapı üretimine katkıda bulunulacaktır. Bina yapımında kullanılan bu malzemeler gelecek kuşaklara daha iyi bir çevre bırakılması bakımından önem taşımaktadır. Üretilen hafif beton malzemesi ısı yalıtım özelliğine sahip olacağı için tekrar ısı yalıtımı yapılmasına gerek duyulmayacak ve enerji tasarrufu sağlaması bakımından ülke ekonomisine yarar sağlayacaktır. Aynı zamanda yeni bir malzeme üretiminde yurt dışından malzeme almak yerine yerel hammaddelerimizin üretime katılması da ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır. Deneyler sonucunda yeni bir malzeme üretimine veya mevcut malzemede iyileştirmeye gidilmesi teknolojiye; tez sonunda elde edilen verilerin bilimsel ortama aktarılması ile bilime katkı sağlanacaktır.

1.2. Hafif Beton

Hafif betonlar, geleneksel betonlara göre farklı özelliklere sahiptirler. Genellikle boşluklu (%75'e varan oranda), daha düşük birim ağırlığa sahip, yüksek ısı yalıtım özelliği bulunan düşük dayanımlı özel betonlardır (Ceylan, 2005). Hafif beton, yoğunluğu düşük, 400-1600 kg/m^3 birim ağırlığa ve 1-15 MPa basınç dayanımına sahiptir (Yaltay, 2015). TS EN 206-1 (2002) standardı hafif betonu, etüv kurusu halindeki yoğunluğu 800- 2000 kg/m3 beton olarak tanımlamaktadır.

Son zamanlarda daha sık kullanılmaya başlanan hafif beton gerek teknik gerekse ekonomik açıdan yapılara avantajlar sağlayan bir malzeme haline gelmiştir (Haque vd. 2004). Bu malzemenin yapılarda kullanılması ile yapı yükünde azalma meydana gelecektir. Bu da malzemeye teknik açıdan yarar sağlayacaktır. Düşük birim ağırlığa ve yüksek ısı ve ses yalıtımı özelliğine sahip olması ise ekonomik açıdan avantajlı olduğunu göstermektedir (Şişman vd., 2008).

Hafif beton, normal betona göre kıyaslandığında çeşitli üstünlükleri bulunmaktadır.

Bu üstünlükler;

- ✓ Deprem etkilerine karşı güvenliğin daha yüksek olması,
- ✓ Birim ağırlığının az olması sebebiyle bina ağırlığı azalması, böylece kiriş, kolon gibi taşıyıcı elemanların kesit boyutlarının da küçülebilmesi,
- ✓ Betonarme elemanlarda bulunan donatı miktarının azalması,
- ✓ Betonun kalıba taşınması ve yerleştirilmesinin kolaylaşması,
- ✓ Isı yalıtım değerinin yüksek olmasından dolayı enerji tasarrufu sağlaması,
- ✓ Ses dayanımının yüksek olması,
- ✓ Yangına ve soğuk iklim bölgelerinde don etkisine karşı normal betona kıyasla daha dayanıklı olması şeklinde sıralanabilmektedir (Ceylan, 2005)
- ✓ Hafif beton farklı yöntemlerle elde edilmektedir. Bu yöntemler (Baradan, 2004);
- ✓ Hafif agrega kullanımı ile,
- ✓ Kum kullanılmadan boşluklu beton üretimi ile,
- ✓ Köpüklü beton üretimi ile,
- ✓ Gaz beton üretimi ile olarak sıralanabilmektedir (Öztürk, 2012)

1.2.1. Hafif Betonların Sınıflandırılması

Doğal veya yapay agregalardan üretilen hafif betonlar dayanım, birim ağırlık ve kullanım amacına göre üç guruba ayrılmaktadır (Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005).

- ✓ *Yalıtım amaçlı hafif beton:* Birim ağırlığı 250-750 kg/m^3 ve basınç dayanımı 0.2-2.5 MPa olan betonlardır.
- ✓ *Hem yalıtım hem taşıyıcı amaçlı beton:* Birim ağırlığı 1000-1400 kg/m^{3}ve basınç dayanımı 2,5-10 MPa olan betonlardır.
- ✓ *Taşıyıcı amaçlı beton:* Birim ağırlığı 1500-2000 kg/m^3 ve basınç dayanımı 15-60 MPa olan betonlardır (Topçu, 2006;Şişman vd., 2008).

1.2.2. Hafif Betonların Kullanım Alanları

Hafif betonlar sadece yapı elemanları üretiminde değil aynı zamanda farklı alanlarda da aktif olarak kullanılabilmektedir. Bu kullanım alanları;

- ✓ Çatı ve ara kat ısı yalıtımı malzemesi olarak,
- ✓ İç ve dış mekânlarda bölme duvar malzemesi olarak,
- ✓ Ara katların şaplarında veya yüzey yükseltme işlemlerinde,
- ✓ Tutuşmayı ve yangını önleyici engeller olarak ve boşlukların oluşturulmasında,
- ✓ Tesisat kanallarında ve geleneksel binaların tavan sıva malzemesi olarak,
- ✓ Zemin stabilizasyonunda ve dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Kanalizasyon işlerinde,
- ✓ Yer altı boruları, kanal ve tünellerin doldurulmasında
- ✓ Yüzme havuzu, su depoları, sarnıçlar, maden ocakları gibi tekrar kazanılması gereken yüzeylerin doldurulmasında dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Arazi işlemlerinde,
- ✓ Dekoratif panellerin üretiminde kullanılmaktadır (Ekinci, 2008).

2. LİTERATÜR TARAMASI

Yaşar vd. (2003) yaptığı çalışmada, bazaltik pomza agregası ve %20 oranında uçucu kül kullanarak ürettikleri hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Ürettikleri numunelerin en yüksek basınç dayanımı 29,5 MPa olduğunu, yapı betonlarının en düşük basınç dayanımlarının 17,3 MPa olması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Khandaker ve Hossain (2002) yaptıkları çalışmada, hafif beton üretiminde kaba agrega ve çimentonun ikame malzemesi olarak pomzanın kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çimento ikame malzemesi olarak %0–25 arasında öğütülmüş pomza ve kaba agreganın yerine hacimce %0 – 100 arasında pomza agrega kullanarak ürettikleri taze ve sertleşmiş beton numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapmışlardır. Çalışma sonucunda; %15' den fazla öğütülmüş pomzanın çimento ikame malzemesi olarak kullanımının uygun olmayacağını sonucuna varmışlardır.

Ünal vd. (2003) yaptıkları çalışmada, pomza ve diyatomitin hafif beton özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Hafif agrega olarak üç farklı tane boyutuna sahip pomza ile diyatomit, normal agrega olarak kum ve kırmakum kullanmışlardır. Ürettikleri beton numuneleri üzerinde ultrases hızı, kılcal su emme ve basınç deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; pomza ve diyatomitin hafif beton blok eleman üretiminde tuğla duvar yerine kullanılmasının daha uygun olacağını tespit etmişlerdir.

Hossain (2004) yaptıkları çalışmada, kaba agrega yerine hacimce %0–100 oranında bazaltik pomza ile yer değiştirilmesi ile üretilen hafif betonların fiziksel özelliklerini incelemiştir. Ürettiği hafif beton numunelerini işlenebilirlik, yüzeysel emme, çekme ve basınç dayanımı, permeabilite deneylerine tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda; ürettiği betonun hafif beton sınıfına dahil edilmesi için uygun yoğunluğa ve basınç dayanımına sahip olduğunu, referans numune ile kıyaslandığında düşük elastisite modülü, yüksek geçirgenliğe sahip olduğunu bildirmiştir.

Dinçer ve Çağatay (2004) yaptıkları çalışmada, agrega yerine %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında pomza agregası kullanılarak taşıyıcı hafif beton üretmiş, ürettikleri hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Ürettikleri beton numunelerinin, birim hacim ağırlığına bağlı olarak basınç ve çekme dayanımlarını, elastisite modülleri ve enerji yutma kapasitelerinin değişimini incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda; pomza katkılı betonların mekanik özelliklerinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Buna rağmen, normal agregaya %50'ye kadar iri pomza ilave edildiğinde, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin altında kalan alanlarda iyileşme olduğunu bildirmişlerdir.

Yanık (2007) yaptığı çalışmada, pomza agregası, uçucu kül ve kimyasal katkı kullanarak beton numunesi üretmiştir. Ürettiği beton numunesinin birim hacim ağırlık, dayanım, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin belirlenmesi için numunelere çeşitli deneyler uygulamıştır. Sonuç olarak; %43 dere kumu (0-2 mm), %57 bazik pomza (0–25 mm), 350 kg çimento, 200 kg uçucu kül, 143 kg su ve çimentonun %1,8' i kadar hiper akışkanlaştırıcı karışımından oluşan tasarımın en hafif, en yüksek dayanım, en iyi ısı ve ses yalıtımı değerlerine sahip olduğunu bildirmiştir.

Serin vd. (2007) yaptıkları çalışmada, normal agrega ile beton blok, pomza ve diyatomit agregası kullanarak yarı hafif ve hafif beton bloklar üretmişlerdir. Ürettikleri beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özeliklerini araştırmışlardır. Ürettikleri beton numunelerine, 7. ve 28. günde, iki eksenli basınç deneyi, birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı, özgül ağırlık, porozite, kompasite ve su emme miktarları belirleme deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; normal agrega ile üretilen beton blokların dayanımlarının pomzalı ve diyatomitli beton bloklara göre yüksek olduğunu, pomzalı ve diyatomitli hafif ve yarı hafif beton blokların taşıyıcı beton olarak değil de ara bölme duvar elemanı ve yalıtım blokları olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Türkel ve Kadiroğlu (2007) yaptıkları çalışmada, pomza agregası, silis dumanı ve uçucu kül kullanılarak taşıyıcı hafif betonlar üretmeyi amaçlamışlardır. Ürettikleri betonları çökme, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneylerine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, ürettikleri

taşıyıcı hafif betonların ACI 213R-87'de taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin oldukça üzerinde dayanım değerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Uygunoğlu ve Ünal (2007) yaptıkları çalışmada, pomza agregası kullanılarak üretilen hafif beton harçlarının otoklavda basınçlı buhar ile kür edildikten sonra fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. 300 kg/m^3 çimento miktarına, 0.15 su/çimento orana ve 0-4 mm boyutunda pomza agregası kullanarak harç karışımı üretimi yapmışlardır. Ürettikleri numunelere basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, görünen porozite ve su emme deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; pomzalı harç numunelerinin 8 saat basınçlı buhar kürüne tabi tutulmaları sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklerinin, havada ve suda kür edilen numunelere göre daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Gökçe ve Can (2009) yaptıkları çalışmada, çimento miktarı 700 kg ve 0,41 su/çimento (s/ç) oranına sahip hafif beton üretimi yapmışlardır. Ürettikleri 7 ve 28 günlük hafif beton numunelerine su emme, yoğunluk, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, beton test çekici, ultrases geçiş hızı ve yüzeysel aşınma deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; üretilen numunelerin referans numunelerine göre basınç dayanımlarının %21, ultrases geçiş hızlarının %4, beton test çekici değerlerinin %16, yarmada çekme dayanımlarının %21 fazla olduğu ve yüzeysel aşınma kaybı %3 daha az olduğunu ifade etmişlerdir.

Binici vd. (2010) yaptıkları çalışmada, çimento ve ince agreganın yerine barit, kolemanit, yüksek fırın cürufu ve pomza kullanarak beton üretimi yapmışlardır. Ürettikleri katkılı betonların dayanım ve dayanıklılığını araştırmışlardır. Ayrıca fiziksel özelliklerinin tespiti için sülfat dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözünme direnci ve permeabilite özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; YFC katkılı örnekler sülfat etkisine karşı önemli ölçüde direnç göstermiş, artan YFC katkısı oranıyla doğru orantılı olarak da bu direncin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca pomzanın sülfata karşı dayanıklı bir malzeme olduğunu, diğer malzemelere göre daha az kütle kaybına uğradığını bildirmişlerdir.

Kozak ve Ünal (2010) yaptıkları çalışmada, agrega olarak Isparta pomzası ve Afyonkarahisar tüfünün ayrı ayrı olarak kullanılması ile hafif beton üretimi yapmışlardır. Karışımdaki agregaların ganülometrisi ve su/çimento oranı sabit tutulmuş, çimentodan ağırlıkça ikame edilerek (120 kg/m^3,140 kg/m^3, 160 kg/m^3, 180 kg/m^3) iki farklı malzemeden hafif beton üretmişlerdir. Kullanılan agregalarda aşınma miktarı, çamurlu madde miktarı, birim hacim ağırlık, organik madde miktarı, özgül ağırlık, su emme ve tane dağılımı değerleri tespit etmişlerdir. Betonlar üzerinde; ısı iletkenlik, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerini bulmuşlardır. Sonuçta; blok eleman üretiminde kullanılan hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının küçük olması binalarda kullanılacak olan blok elemanların bina zati ağırlığında azalma meydana geleceğini bildirmişlerdir.

Demirboğa ve Gül (2003) yapmış oldukları çalışmada, pomza agregası ile üretilen hafif betonda, çimento yerine uçucu kül kullanılmasının ısı geçirgenliğine etkisini incelemişlerdir. Sonuçta; uçucu kül kullanımının hafif betonun ısıl iletkenlik katsayısını düşürdüğünü tespit etmişlerdir.

Şimşek (1987) yapmış olduğu çalışmada, Karaman ilinden elde edilen pomza agregası ile değişik oranlarda çimento ve ince agrega kullanarak hafif beton üretmiştir. Çimento ve ince agrega yerine farklı oranlarda Soma B Termik Santrali uçucu külü kullanmıştır. Yapmış olduğu çalışmada elde ettiği karışımlarla bulduğu bu yapı malzemesinin ekonomik durumunu tespit etmiştir.

Serin (1999) yapmış olduğu çalışmada, pomza agregası ve diatomit kullanarak farklı yoğunluklarda hafif beton üretimi yapmıştır. Ürettiği hafif beton blokların mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini normal beton bloklar ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda; ürettiği pomzalı ve diatomitli beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılmasının uygun olmayacağını tespit etmiştir. Bu hafif beton blokların ara bölme duvar elemanı veya yalıtım blokları olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Ağırdır (1989) yaptığı çalışmada, Konya Altınapa pomza agregasını farklı oranlarda kullanarak hafif beton bloklar üretmiştir. Kullanılan pomza agregasının hafif beton blok üretiminde ısı geçirgenlik özelliğinin iyi olacağını ve yapılarda yakıt

maliyetinin azaltacağını öngörmüştür. Çalışma sonucunda; hafif beton üretiminde kullanılan pomza agregasının ısı tasarrufu sağladığını ve yapılarda yakıt maliyetini düşürdüğünü tespit etmiştir.

Oğuz ve Türker (1997) çalışmalarında, pomza agregası kullanarak yarı hafif ve hafif beton üretimi yapmışlardır. Ürettikleri betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek üzerine numunelere farklı deneyler uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda; dozajı arttırmaları ve su-çimento oranını azaltmaları durumunda basınç dayanımının artacağını bildirmişlerdir. Ayrıca yarı hafif ve hafif betonların yük taşıyıcı elemanlarda kullanılmaması gerektiğini tespit etmişlerdir.

Biçer vd. (1991) yaptıkları çalışmada, yapılarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla Karaman ilinde temin ettikleri pomza üzerine çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak; pomzanın yapı malzemesi olarak kullanılması halinde yapılardaki ısıl değişimlere karşı yalıtım özelliği gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Uysal vd. (2004) yaptıkları çalışmada, pomza agregası ve farklı oranlarda çimento kullanarak hafif beton numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için çeşitli deneyler uygulamışlardır. Sonuç olarak; Karışımdaki pomza agregası oranı %25, 50 ve 75 olması durumunda hafif betonların birim ağırlıklarının sırasıyla 2270, 1990 ve 1761 kg/m^3, ısı iletkenlik katsayılarının 1.253, 1.160, 1.006 ve 0.905 kcal/mºC olduğunu bildirmişlerdir.

Gülşen (2004) yapmış olduğu çalışmada, agrega olarak bazaltik pomza kullanılarak hafif beton üretimi yapmış ve ürettiği numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiştir. Sonuç olarak; bazaltik pomzanın kullanılması ile 28 günde 30 MPa'lık bir dayanıma sahip olan hafif beton üretilebileceğini tespit etmiştir.

Erdoğan (2007) yaptığı çalışmada, Nevşehir ve Toprakkale yöresi pomzalarını agrega olarak kullanarak beton üretimi yapmıştır. Farklı oranlarda bazaltik pomza kullanarak ürettiği beton numunelerinin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; Nevşehir ve Toprakkale yöresi pomzalarından üretilen beton ve briketlerin yapı sektöründe hem depremsellik hem

de ısı ve ses izolasyonu sağlaması yönünden oldukça uygun bir malzeme olduğunu tespit etmiştir.

Polat (2007) yaptığı çalışmada, 0-2 mm ince agrega yerine %10, %20 ve %30 oranlarında genleştirilmiş perlit agregası ve pomza kullanarak beton numuneleri üretmiştir. Ayrıca karışıma %0,1 oranında hava sürükleyici katkı eklemiştir. Numunelere 100 donma-çözülme çevriminin ardından, ürettiği betondaki kılcal geçirimliliğin, birim ağırlığının ve basınç dayanımının fiziksel ve mekanik etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda; genleştirilmiş perlit agregası ve pomza oranlarının artmasıyla basınç dayanımı ve birim ağırlığın azaldığını tespit etmiştir. Bunun yanı sıra kılcal geçirimlilik katsayısının arttığını ve 100 donma-çözülme çevrimi sonucunda betonun, basınç dayanımı ve birim ağırlığı değerlerinin azaldığını bildirmiştir.

Akkaş (2011) yaptığı bir çalışmada, Isparta bölgesinden çıkarılan pomza agregası ve aynı bölgeden sağlanan normal agrega kullanılarak taşıyıcı hafif beton üretmiştir. Diğer bir deyişle agrega ve pomza belli oranlarda değiştirilerek Taşıyıcı Hafif Beton ve tüm agregası pomza olan Hafif Beton üretmiştir. Ürettiği betonların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemiş ve karşılaştırma yapmıştır. Çalışma sonucunda; üretilen hafif betonların 28. günlük basınç dayanımlarının Amerika Beton Enstitüsü (ACI) 213R-87' deki standart da göre taşıyıcı hafif betonlar için belirtilen 17 MPa dayanım değerinin üzerinde olduğunu tespit etmiştir.

Öztürk (2012) yaptığı bir çalışmada, beton karışımında hafif agrega kullanarak beton üretimi yapmıştır. Bu çalışmasında betonun birim kütlesi düşürmeyi, fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi ve ısı yalıtım özelliği kazandırmayı amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, çeşitli oranlarda hafif agregalar ve EPS kullanarak ürettiği hafif beton numunelerini 23°C suda 7-28 gün kür etmiştir. Kür işleminin ardından numunelere, basınç, su emme gibi çeşitli deneyler uygulayarak hafif agregalarla üretilen ısı yalıtım amaçlı hafif betonun özellikleri incelemiştir. Bulduğu değerleri normal betonun özellikleriyle kıyaslamıştır. Çalışma sonucunda; hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonun, enerji verimliliği açısından normal betona göre daha iyi olduğunu tespit etmiştir.

Temiz ve Akçekale (2014) yapmış oldukları çalışmada, pomza agregası kullanarak hafif beton üretimi yapmışlardır. Üretim sırasında ahşap talaşı, uçucu kül ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısından katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Ürettikleri hafif beton numunelerinin yalıtım özellikleri ve dayanımını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; ahşap talaşı, uçucu kül ve portakal kabuğu kırıntısının pomzalarla birlikte kullanılmasıyla ses ve ısı yalıtım özellikleri iyi olan malzeme elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

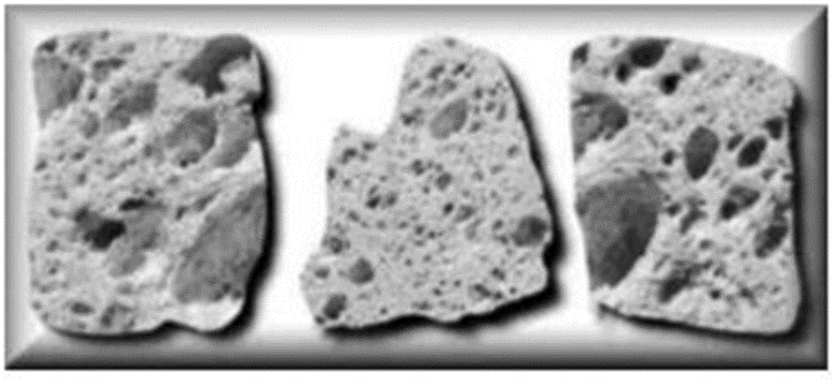
3.1. Materyal

Çalışma kapsamında üretilen hafif beton numunelerinde pomza ve bor atığı materyal olarak kullanılmıştır. Bu materyaller başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1.1. Pomza

Pomza volkanik aktiviteler sonucu oluşan doğal bir volkanik kayaçtır (Uygunoğlu ve Ünal, 2007). Bunlar silikat esaslı, amorf yapıda, camsı, süngerimsi görünümlü, birim hacim ağırlığı küçük olan kayaçlardır (Uygunoğlu, 2008). Ayrıca birbiriyle bağlantısız boşluklu, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, birim hacim ağırlığı 1 g/cm^3'ten küçük, gözenekli ve camsı bir kayaçtır (Koçyiğit, 2016). Almanca'da bimstein, Fransızca'da ponce, İtalyanca'da ponza, İngilizce'de pumice veya pumicite olarak adlandırılmaktadır. Dilimizde ise sünger taşı, hışır taşı, topuk taşı gibi adlarla bilinmektedir (Güner, 1999; Öztürk, 2012).

Pomza, oluşumu esnasında bünyesindeki gazların ani olarak dışarı çıkıp, hızlı bir şekilde soğumasından dolayı, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözeneğe sahiptir (Şekil 3.1) (Koçyiğit, 2016). Ayrıca gözenekler arasının bağlantısız ve gözeneklerin yarı açık ya da kapalı olması nedeniyle geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksek kayaçlardır (BSD, 2006).



Şekil 3.1. Pomza agregasının gözenekli yapısı (Koçyiğit, 2016)

TS 10088 EN 932-3 standardına göre pomza; riyolitik bileşenli, aşırı derecede boşluklu, camsı lav ve genellikle su yüzeyinde yüzecek kadar hafif kayaç tanımını yapmaktadır (TS 10088 EN 9323, 1997).

Pomza, volkanik faaliyetlerin bir sonucu olarak asidik karakterli pomza ve bazik karakterli pomza olmak üzere iki guruba ayrılmaktadır (Toklu, 2009)

- ✓ *Asidik karakterli pomza;* Yeryüzünde en yaygın bulunan ve kullanım türü geniş olan pomza türüdür. Yoğunluğu yaklaşık 0,5-1 g/cm^3'tür. İçerdiği Si, Al, K ve Na elementlerinden dolayı beyaz ve kirli renge (Şekil 3.2) sahiptir. Silis oranı bazik karakterli pomzaya göre daha yüksektir. İnşaat sektöründe yaygın kullanılmaktadır.

- ✓ Bazik karakterli pomza; kahverengi, siyahımsı renkte, özgül ağırlığı 1-2 g/cm^3 olan pomza türüdür (Gündüz ve Uğur, 2000). Bünyelerinde yüksek oranlarda alüminyum, demir, kalsiyum ve magnezyum bileşenleri daha yüksek oranda bulunması sebebiyle diğer endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır (Ceylan, 2019; DPT, 2001; Yılmaz, 2017).

Şekil 3.2. Asidik ve Bazik pomza örnekleri (Uygunoğlu, 2008)

Pomza sünger görünümüne sahip, boşluk oranı fazla, özgül kütle, volkanik bir doğal hafif agregadır (Yılmaz, 2017; Türker ve Kadiroğlu, 2007; Özkan ve Twicer, 2011). Camsı alüminyum silikat olarak bilinen pomza tanımlanırken kimyasal içeriğinden yararlanılmaktadır (Gündüz, 1998).

Sertliği Mohs skalasına göre 5-6 olup, %75 oranında silis (SiO2) içermektedir (Yanık, 2007) Pomzanın gözenek oranı hacminin %85'i kadardır. Diğer bir deyişle pomza agrega tanesinin %85' i boşluk, %15'i katı maddeden meydana gelmektedir (Schutter, 2008). Pomza tane boyutu büyüdükçe gözenek yüzdesinde artış meydana gelmektedir (Ceylan, 2019).

Türkiye'de pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri Tablo 3.1'de ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de, kimyasal kompozisyonları ise Tablo 3.3'de sunulmuştur (Koçyiğit, 2016).

Tablo 3.1. *Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri (Koçyiğit, 2016).*

Fiziksel Özellik	**Analiz Değerleri**
Renk	Açık giden, kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik (MOHS)	5.5-6.0
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm^3)	0.37-0.97
Gerçek Özgül Ağırlığı	2.15-2.65
Porozite (%)	45-90
Rötre (mm/m)	<1
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.08-0.2
Isınma Isısı (cal/g.0C)	0.24-0.28
Ses Yalıtım (dB)	40-55
Su Emme (Ağırlıkça) %	30-70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5-10

Tablo 3.2. *Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri (Koçyiğit, 2016)*

Kimyasal Özellik	**Analiz Değerleri**
pH	7-7.3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça) %	≤0.15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça) %	≤2.9
Uçucu Madde (Ağırlıkça) %	Yok
Asitlerle Etkileşim*	İnert
Alevlenme derecesi (^{U}C)	Yok
Ergime Derecesi (^{U}C)	>900
*Pomza sadece hidroflorik asit ile etkileşerek toksik silikon tetraflorit gazı çıkarır.	

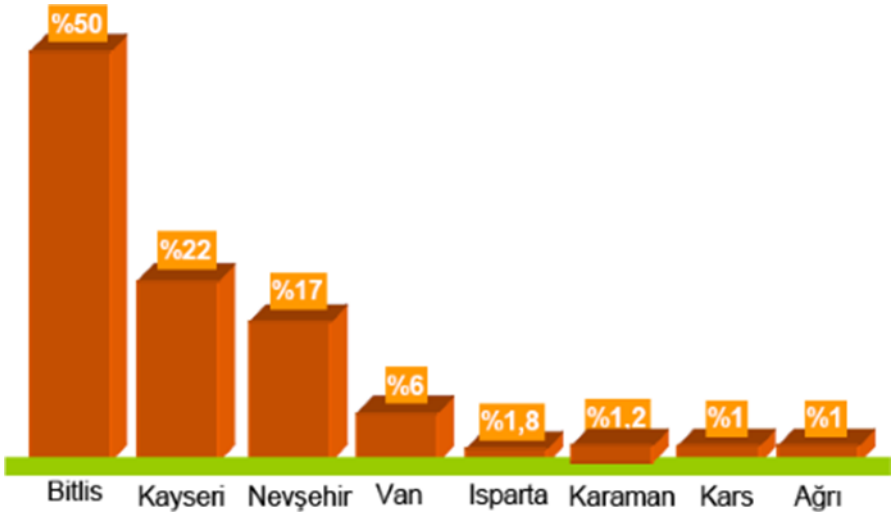
Tablo 3.3. *Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonu (Gündüz 1998)*

Bileşim	**Asidik Pomza (%)**	**Bazik Pomza (%)**
SiO_2	70	45
Al_2O_3	14	21
Fe_2O_3	2.5	7
CaO	0.9	11
MgO	0.6	7
Na_2O+K_2O	9	8
Ateş Kaybı	3	1

İtalya, Yunanistan, Türkiye, Almanya, ABD, Fransa ve İzlanda, ham pomza üretiminde dünyanın önde gelen ülkeleridir. Bu liste içerisine son yıllarda Çin, Kanada, Yeni Zelanda, Endonezya'da eklenmiştir (Aslan, 2018). Ülkemize baktığımızda (Şekil 3.3); rezerv durumu açısından pomzanın Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesinde oldukça büyük rezervlere sahip olduğu görülmektedir (Türker ve Kadiroğlu, 2007).

Şekil 3.3. Pomza Türkiye Rezerv Haritası (URL1)

Türkiye'de pomza rezervlerinin durumu Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3. 4. Pomzanın ülkemizde rezerv durumu (Akkaş, 2011)

Pomza farklı endüstri dallarında vazgeçilmez bir hammadde kaynağı olma özelliği taşımakta ve farklı dallarda kullanılmaktadır. (Koçyiğit, 2016). Dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı ise inşaat sektörüdür. Ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık %90'ı yurt içinde inşaatlarda malzeme olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2012).

Pomza, inşaat-yapı endüstrisinde, tekstil endüstrisinde, kimya endüstrisinde, ziraat-tarım endüstrisinde, kişisel bakım-kozmetik endüstrisinde, diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda kullanılmaktadır (Ceylan, 2005; Ceylan, 2019).

İnşaat sektöründe;

- ✓ Hafif yapı elemanlarının üretiminde,
- ✓ Prefabrik yapı elemanlarının üretiminde,
- ✓ Hafif beton üretiminde,
- ✓ İzolasyon amaçlı çatı ve döşeme dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Hafif hazır sıva ve harç üretiminde,
- ✓ Asfalt üretiminde katkı malzemesi olarak,
- ✓ Karayollarında buzlanmayı kontrol altına almada,
- ✓ Çimento üretiminde puzolonik malzeme olarak,
- ✓ Çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır (Elmastaş, 2012; Ceylan, 2019).

Tekstil sektöründe;

- ✓ Kot kumaşların taşlanması işleminde kullanılmaktadır.

Tarım sektöründe;

- ✓ Toprak ıslahında, az topraklı veya topraksız ortamlarda bitki yetiştirilmesi amacıyla ve suyun kısıtlı bulunduğu tarımsal alanlarda kullanımı mevcuttur.
- ✓ Tarım ilaçlarının toz halde kullanılmasında taşıyıcı eleman olarak,

Kimya ve diğer sektörlerde;

- ✓ İzolatif duvar boyası, pürüzlü kaplama, motifli boya, astar macunu ve vernik dolgusu, aşınmayan trafik boya ve kaplamalarında,
- ✓ Plastik ve kağıt sanayinde dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Seramik endüstrisinde seramiklerin ısı yalıtım değerini arttırmada, pürüzlü seramik ve absorbsiyonlu seramik tanelerinin üretiminde,
- ✓ Gübre üretiminde katkı malzemesi olarak,
- ✓ Ağır ve kirli ortamlarda yağ vb. akışkanları absorbe edici malzeme olarak,
- ✓ Tavuk çiftliklerinde taban malzemesi olarak,
- ✓ Kaymaz tip oto lastik yapımında,
- ✓ Süs eşyalarının pürüzlülüğünün giderilmesi ve cilalanmasında parlatıcı olarak,
- ✓ Su, atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı malzemesi olarak pomzadan yararlanılmaktadır (Yılmaz, 2017; Ceylan, 2005).

3.1.2. Bor ve Bor Atığı

Bor elementi doğada serbest halde bulunmamaktadır (Güyagüler, 2001). Yeryüzünde 250'den fazla bor mineral çeşidi bulunmasına rağmen bu minerallerin çok azı ticari öneme sahiptirler (Coşar, 2006). Bor mineralleri bünyelerinde bulunan kalsiyum, sodyum ve magnezyum elementlerine göre sınıflandırılmaktadırlar (Bütüner, 2011). Minerallerin ekonomik değerini bünyelerinde bulunan B_2O_3 oranı belirlemektedir (Dırak, 2011). Ticari öneme sahip bor mineralleri (Tablo 3.4); tinkal, kernit, kolemanit, pandermit, üleksit, probertit, hidroborasit'tir (DPT, 2001).

Tablo 3.4. *Ticari öneme sahip bor mineralleri*

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

Dünyada bilinen bor minerali yataklarının büyük bir kısmı Türkiye'nin batısında yer almaktadır (Özdemir ve Öztürk, 2003; Elbeyli vd., 2004). B_2O_3 içeriği bakımından %72'lik bir paya sahip dünyanın en büyük bor yatakları ulusal madencilik şirketi Eti Maden tarafından kontrol edilmektedir (Christogerou vd., 2009).

Bu bor yatakları;

- ✓ Bursa/Kestelek,
- ✓ Eskişehir/Kırka,
- ✓ Balıkesir/Bigadiç
- ✓ Kütahya/Emet ilçelerinde yer almaktadır (Eyyüboğlu, 2013).

Kırka/Eskişehir'de tinkal yatakları, Emet/Kütahya ve Bigadiç/Balıkesir bölgesinde kolemanit yatakları Bigadiç/Balıkesir üleksit rezervi, Kestelek/Bursa'da üleksit yan ürün olarak üretilmektedir (Çağlar, 2018) (Şekil 3.5).

Şekil 3.5. Türkiye bor yatakları haritası

2015 yılı baz alındığında Türkiye' de en fazla üretiminin Emet/Kütahya bor yatağından çıkarıldığı ve toplam bor rezervinin ise 3 285 087 000 ton olduğu görülmektedir (Tablo 3.5).

Tablo 3.5. *Türkiye'de bulunan bor rezervlerinin dağılımı (Çağlar, 2018)*

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

Stratejik öneme sahip bor mineralleri, teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesi ile sanayide geniş kullanım alanı bulmaktadır (Yerel vd., 2005). Bunlar; cam sanayi, seramik sanayi, alev geciktiriciler, tarım, metalurji, enerji, sağlı ve inşaat sektörüdür.

Cam Sanayinde;

- ✓ Ergimiş haldeki cama katıldığında camın vizikozitesini azaltmakta, akışkanlığını artırmakta, yüzey sertliğini ve dayanıklılığını yükseltmekte,

- ✓ Camın ısı dayanımını ve çabuk ergimesini sağlamada,
- ✓ Asitlere ve çizilmeye karşı dayanımı arttırmada (DPT, 2001; Özorak, 2014).
- ✓ Borosilikat cam, tekstil ve izolasyon tipi cam elyaflarında, cam yününde, tekstil tipi ve izolasyon tipi cam elyaflarında üretiminde
- ✓ Laboratuvar malzemelerinde,
- ✓ Arabaların far ve sinyal camlarında,
- ✓ LCD (Liquid Crystal Display) ekranlar ve CRT cam ürünlerinde yapımında (Çağlar, 2018).

Seramik Sanayinde;

- ✓ Seramik sırı ve emaye yapımında
- ✓ Cam oluşturucu etkileri nedeniyle kaplama amaçlı kullanılan emayeler metal kaplamalarında (Christogerou vd., 2009)
- ✓ Kaplamalarda ergime olayı daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesinde
- ✓ Sıra bor ilavesi durumunda mekanik ve kimyasal mukavemet artmakta
- ✓ Seramik ürünlerin fiziksel etkilere karşı kırılma ve çizilme direncini artırırken
- ✓ Renk verme katkı maddeleri için taban oluşturmada
- ✓ Kimyasalların ve suyun etkilerine karşı direnci arttırmada (Çağlar, 2018).

Alev Geciktiriciler;

- ✓ Ergime sıcaklığının yüksek olması onun yangına karşı dayanıklılığını arttırmakta, (Eyyüboğlu, 2013).

- ✓ Selülozik yalıtım, PVC, ahşap ve tekstil gibi çeşitli malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılmakta

- ✓ İlk olarak malzemenin tutuşmasından önce selülozdaki suyun buharlaşmasını sağlamaktadır. Daha sonra yanan bir malzemenin üzerini oksijenle temasını kesecek şekilde kaplayarak yanmasını önlemekte (DPT, 2001; Kurttepeli, 2006).

Tarım Sektöründe;

- ✓ Tarım sektöründe bitkilerin gelişimini arttırmak

- ✓ İstenmeyen bitkilerin gelişimini önlemekte

- ✓ Suyun ve besinlerin bitkilerin bünyesinde taşınmasına yardımcı olmakta

- ✓ Bitkilerin büyüme, gelişme, ürün verme ve çekirdek oluşturma gibi fonksiyonlarında önemli bir rol oynamakta

- ✓ Hücredeki şeker geçişini, kök uzaması, fotosentez ve hücre duvarının oluşması metabolizmasını düzenlemekte (Saçlı, 2015; Eyyüboğlu, 2013).

Enerji sektöründe;

- ✓ Gelecekte hidrojenin otomotiv alanında yakıt olarak kullanılması

- ✓ Gündüz doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisini depolayarak gece depoladığı enerjiyi ısınmak için kullanmak amacıyla üretilen termal depolama pilleri üretiminde (Kurttepeli, 2006; Özorak, 2014).

- ✓ Binalarda tavan malzemesine katkı olarak ilave edildiğinde, güneş ışınlarını bünyesinde tutarak, binaların ısınmasında etkili olmakta (Kurttepeli, 2006).

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

- ✓ Atom reaktörlerinde, titanbor alaşımlar, borlu çelikler ile bor karbürler kullanılmakta

- ✓ Nötron absorbanı olarak paslanmaz borlu çeliğin kullanımı tercih edilmekte

- ✓ Kolemanit nükleer atıkların depolanmasında aktif bir şekilde kullanılmakta (DPT, 2001; Kurttepeli, 2006).

Sağlık Sektöründe;

- ✓ Hücre membranı fonksiyonlarında ve enzim reaksiyonlarında önemli bir şekilde rol oynamakta

- ✓ Kalsiyum, fosfor, D vitamini ve kemik metabolizmasında düzenleyici olarak görev yapmakta

- ✓ Osteoporoz, kalp rahatsızlıkları ve diyabeti etkilemekte

- ✓ Kemik gelişimi ve yapısı için önemli olan D vitamini, steroid hormon mekanizmasını etkileyip, kadınlarda menapoz sonrası antioksidan etkisi göstermekte (Gonzalez vd., 2007).

- ✓ Sağlıklı hücrelere zarar vermeden kanserli hücreleri yok eden Bor Nötron Yakalama Tedavisi (BNCT)'nde kullanılan bor, kanser tedavisine özellikle de beyin kanseri tedavisinde kullanılmakta (Demir, 2006)

İnşaat Sektöründe;

- ✓ Malzemenin deformasyonunu önlemede

- ✓ Malzemede zaman içinde oluşan renk problemine karşı korumada,

- ✓ Suya karşı mukavemet arttırmakta,

- ✓ Yangına karşı dayanımda,

- ✓ Isı ve ses yalıtımı gibi özellikler sağlamakta (Erdoğmuş, 2006).

- ✓ Kolemanit, çimento üretiminde klinkere %8 oranında katıldığında pişirme sıcaklığını düşürmekte ve bu durum hem çimentonun özelliklerini iyileştirmekte hem de enerji tasarrufu sağlamaktadır.

- ✓ Bor oksit bileşiğinin çimento klinkerine katılması prizlenme süresini uzatmakta

- ✓ Bor katkılı çimentolar, kütle betonların soğutma ihtiyacını azaltmakta

- ✓ Çatı, bina kaplamaları ve selülozik izolasyon olarak kullanılmakta.

- ✓ "Shingle" olarak bilinen çatı kaplama malzemelerinde bor katkılı olarak üretilmektedir (Eyyüboğlu, 2013).

- ✓ Tuğla üretiminin ana hammaddesi olan kili hem de içerisinde bulunan bor bileşikleri, akıcılığı sağlamakta (Hamer ve Karius, 2002).

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

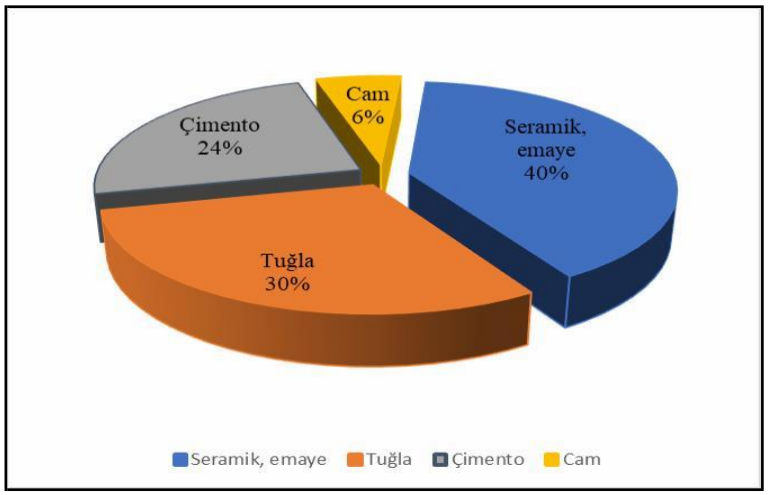
Bor gibi endüstriyel üretimler sonucunda açığa çıkan atıklar; depolanma yeri, doğada oluşturduğu tahribat, hava, su ve toprak kirliliği gibi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu sorunların aşılması ancak atıkların değerlendirilmesiyle mümkündür (Erkan vd., 2016).

Bor atıklarını değerlendirme yöntemleri üç başlık altında toplanmaktadır. Bunlar Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi; atıklardaki kıymetli içeriklerin kazanılması, kilin uygun sektörlerde değerlendirilmesi ve atıkların uygun sektörlerde değerlendirilmesidir (Sarıağaç, 2012).

Şekil 3.6. Bor atıklarının kıymetli içeriklerinin kazanılmasına yönelik şema

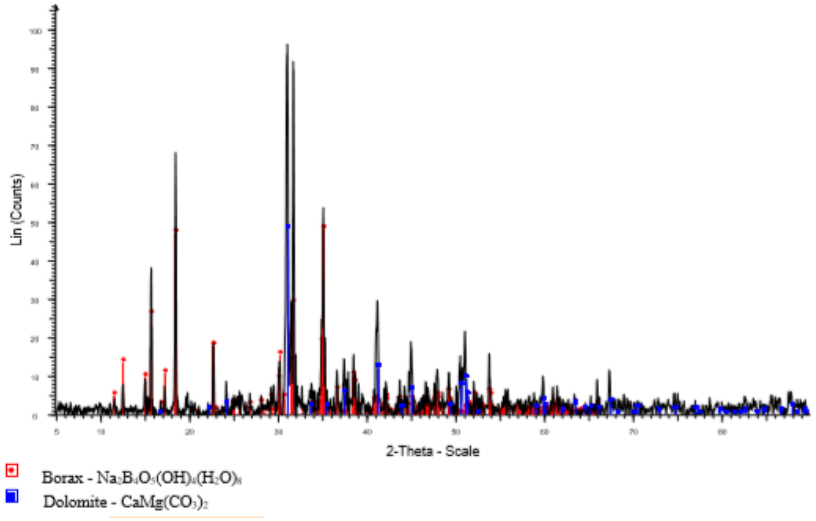
Bor minerallerinin genellikle kil mineralleriyle tüvenan şeklinde bulunması, bu atıkların inşaat ve seramik endüstrisinde değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Bor minerali ihtiva eden atık killerin tuğla endüstrisinde kullanılması, sektöre ek hammadde sağlamakla birlikte tesislerde atıkların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

Bor mineralinin işlenmesi sonucu açığa çıkan bor atıkları (Şekil 3.7); %40 oranında seramik endüstrisinde, %30 oranla tuğla, %24 oranla çimento sektöründe kullanılmaktadır.



Şekil 3.7. Bor atığı kullanımının sektörlere göre dağılımı (Dırak, 2011)

Tez çalışmasında kullanılan bor atığının mineralojik analizi Şekil 3.8'de, kimyasal özelliği ise Tablo 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.8. Bor atığının mineralojik analizi (Akyıldız, 2012)

Tablo 3.6. *Bor atığının kimyasal özellikleri (Akyıldız, 2012)*

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

3.1.3. Çimento

Betonun özellikleri, üretiminde kullanılan malzemelerin miktarı ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Betonun en aktif kullanılan bağlayıcı malzemesi çimentodur (Öztürk, 2012). Çimento, havada ve su ile reaksiyona girerek sertleşebilen, sertleştikten sonrada suda tekrar çözünmeyen, doğal kalker taşları ve kilden üretilen, bağlayıcı bir yapı malzemesidir. (Özyurtkan, 2012; Dinçer, 2013; Ceylan, 2005). Su ile tepkimeye girerek sertleşip çevresindeki malzemeleri birbirine yapıştırma özelliğine sahip olması nedeniyle hidrolik bağlayıcı olarak tanımlanmaktadır (Kırıkoğlu ve Yavuz, 2017).

3.1.3.1.Çimentonun Tarihçesi

Yontulmuş taş kırıntısı anlamına gelen, Latince "caementum" kelimesinden türetilen çimento, inşaat sektörü başta olmak üzere farklı sektörler önemli bir yer tutan

çimentonun tam olarak ne zaman, kimler tarafından keşfedildiğine dair herhangi bir kayıt bulunmamaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2019)

Bilinen ilk kayıtlı betonarme yapı 1852 yılında inşa edilmiştir. Buna rağmen bağlayıcı malzemelerin kullanımın çok daha eski dönemlere dayandığı tahmin edilmektedir (Özyurtkan, 2012). Çimento hakkında kayıtlı bilgiler incelendiğinde;

- ✓ İngiltere'nin Leeds kentinde, 1824 tarihinde, Joseph Aspdin adlı duvarcı ustası tarafından ince taneli kil ve kalker karışımını pişirdikten sonra ince bir şekilde öğüterek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Joseph, karışıma kum katmış ve bu karışımın zamanla sertleştiğini tespit etmiştir. Elde edilen bu malzeme İngiltere'nin Portland adasında bulunan yapı taşlarına benzediği için yapmış olduğu bu karışımı "Portland Çimentosu" olarak tanımlamıştır. Keşfettiği bu bağlayıcıya 21 Ekim 1824 tarihinde "Portland Çimentosu" ismiyle patent almıştır. Joseph tarafından üretilen bu bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmemiştir. Bu yüzden günümüzde kullanılan portland çimentosunun özelliklerine sahip değildir. Buna rağmen o dönemde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. İngiltere halen ayakta olan "Wakefield Arms" binası Joseph'in yaptığı portland çimentosu ile inşa edilmiştir.

- ✓ 19. Yüzyılın ortalarında Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından ilk defa 1845 yılında portland çimentosu hammaddeleri yüksek sıcaklıkta pişirilmiştir.

- ✓ 1848 yılında İngiltere'de ilk çimento fabrikası kurulmuştur.

- ✓ 1860 yılında ilk defa Alman Çimento Standardı çıkarılmıştır.

- ✓ 1913 yılında Amerikan Beton Enstitüsü (ACI-American Concrete Institute) kurulmuş ve ilk Amerikan Yönetmelikleri oluşturulmuştur.

- ✓ 1911 yılında İstanbul Darıca'da, 20,000 ton/yıl kapasiteli ilk çimento fabrikası kurulmuştur.

- ✓ 1923 yılında aynı fabrika genişletilerek kapasitesi 40,000 ton/yıl'a çıkarılmıştır.

- ✓ 1926'da Ankara, 1930'da Kartal ve Zeytinburnu'nda çimento fabrikaları kurulmuştur.

- ✓ İlk kez devlet tarafından 1943 yılında Sivas'ta çimento fabrikası kurulmuştur.

- ✓ 23 Ekim 1953 tarihinde Türkiye Çimento Sanayi T.A.Ş. (ÇİSAN) kurulmuştur.

- ✓ 1987 yılından itibaren özelleştirme yapılarak devlete ait olan çimento fabrikalarının bir kısmı özelleştirilmiştir (Özyurtkan, 2012).

3.1.3.2. Çimento Hammaddeleri

Kil, kireçtaşı (kalker), marn ve alçıtaşı çimentonun hammaddeleridir. Sedimanter bir kayaç olan kalker, doğada kalsit ve aragonit kristallerinden oluşmuş bir kayaç olarak bulunmaktadır. Ayrıca dolomit olarak da bulunmaktadır. Kimyasal yapısında %90'a kadar kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) bileşiği bulunmaktadır. Kalker kayacının sertlik derecesi 3 Mohr, özgül ağırlığı ise 2,5-2,7 g/cm^3'tür (Hewlett, 2004).

Çimentonun temel hammaddesinden biri de kildir. Çimentoda bulunan alkalilerin asıl kaynağı kil bileşenleridir. Kil minerallerinin kimyasal yapısında alüminyum oksit (Al_2CO_3) bulunmaktadır. Çimento bileşenleri içerisinde bulunan kil miktarları Tablo 3.7'da sunulmuştur (Yalçın ve Gürlü, 2006).

Tablo 3.7. *Çimento bileşenlerinin kil içeriğine göre sınıflandırılması (Yalçın ve Gürlü,2006)*

Çimento Bileşenleri	**$CaCO_3$ (%)**	**Kil (%)**
Kireçtaşı	96-100	0-4
Marnlı kalker	90-96	4-10
Kireçtaşılı marn	75-90	10-25
Marn	40-75	25-60
Killi marn	10-40	60-90
Marnlı kil	4-10	90-96
Kil	0-4	96-100

Çimento hammaddesi karışımında yeterli kimyasal oranının sağlanamaması halinde karışım içerisine düzeltme maddeleri katılmaktadır. Bu düzeltme maddeleri silis eksikliğinde; kum, yüksek silisli killer, diyatome toprağı, demir oksit eksikliğinde ise; demir cevheri ve pirit külüdür. Eğer alüminyum eksikliği var ise boksit ilave edilmektedir (Özyurtkan, 2012).

Çimento hammaddelerinden biri olan marn, %50-70 kalker ve %50-30 kilden meydana gelmektedir. Çimento endüstrisinde kalker ve kilin beraber bulunduğu tek doğal hammadde marndır. Özgül ağırlığı 2,0-2,9 g/cm^3, içeriğindeki kil miktarı arttıkça sertliği azalan bir hammaddedir (Yalçın ve Gürlü, 2006).

Çimento üretiminde hammadde olarak kullanılan alçıtaşı doğada genellikle iki formda bulunmaktadır. İlki kalsiyum sülfat mineralinin bir çeşidi olan "jips" (CaSO4.2HO2) ve ikincisi ise susuz kalsiyum sülfat anhidrittir. Alçıtaşı yataklarının büyük bir kısmı anhidritten meydana gelmektedir. Çimento üretiminde daha ekonomik olmasından dolayı jips kullanılmaktadır. Çimento üretimi sırasında prizlenme süresini ayarlamak için klinker içine ağırlıkça %3-5 oranında alçıtaşı ilave edilmektedir (Hewlett, 2004).

3.1.3.3. Çimentonun Üretimi

Çimento, doğal kalker taşları ve kil ana maddelerinden meydana gelmektedir. Çimento üretiminde ilk olarak uygun kalker ve kil kullanılması amacıyla araştırma

yapılmaktadır. İçeriğinde çimentonun bağlayıcılık özelliğine zarar verecek bileşikler bulundurmayan malzemeler temin edilir. Ardından karışım yüzdeleri hesaplanır. Gerekli incelemeler ve hesaplamalar yapıldıktan sonra kalker ve kil, gerekli görüldüğü takdirde demir cevheri ve / veya kum ilave edilerek öğütülmekte ve toz haline getirilmektedir. Bu karışım kuru veya sulu olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir (Alkan, 2018).

Toz haline getirilen bu malzemeler klinker, %76-78 oranında $CaCO_3$ ve geri kalan kısmı kilden meydana gelen bir karışım 1400°C ile 1500°C'de döner fırınlarda pişirilmektedir (Şekil 3.9) (Ceylan, 2005). Döner fırınlarda ortam sıcaklığı 1500 oC' ye kadar kademe kademe yükseltilerek pişirilmektedir. Bunun nedeni ham maddelerin kavrulmadan alüminatlarının ayrılmasıdır (Alkan, 2018). Pişirme sonrasında elde edilen bu ürüne "klinker" adı verilir (Dinçer, 2013).

Dönel fırın içerisinde meydana gelen tepkimeler aşağıdaki sıraya göre gerçekleşmektedir.

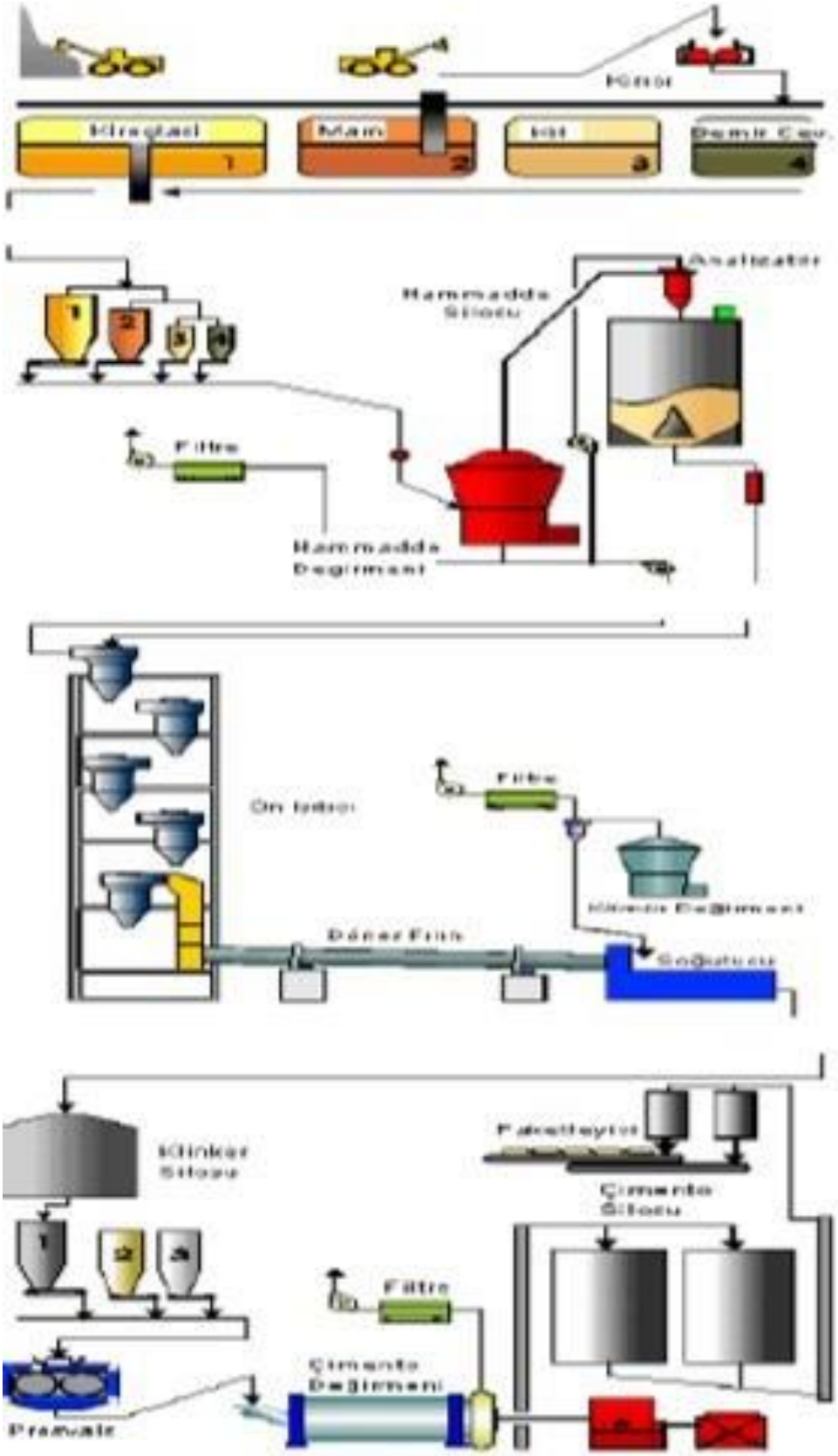
- ✓ 100 ^oC sıcaklığa ulaşıncaya kadar karışımın içerisinde bulunan su (H_2O) buharlaşmaktadır.

- ✓ 500 ^oC sıcaklığında kilin içerisinde bulunan su molekülünün ayrışması ile SiO_2 ve Al_2O_3 yan ürünleri kilden ayrışmaktadır.

- ✓ 900 ^oC de kalker içerisinde bulunan $CaCO_3$ ayrışarak CaO ve CO_2 (karbondioksit) yan ürünleri oluşmaktadır.

- ✓ 1200 ^oC ile 1500 ^oC arasında kilden ve kalkerden ayrılan yan ürünler, çimentonun bileşenlerini oluşturmaktadır (Alkan, 2018).

Döner fırınlardan çıkan klinker bağlayıcı özelliği kazanabilmesi için öğütülmesi gerekmektedir. Beton prizini geciktirip ani çatlamalarını önlemek amacıyla öğütülen klinkere öğütülmüş alçı taşı ilave edilmektedir (Alkan, 2018).



Şekil 3.9. Çimento üretim tesisi çizimi (Serinoğlu, 2011)

3.1.3.4. Çimento Türleri

Kullanım alanına ve ihtiyaca göre farklı özelliklerde çimento üretimi yapılmaktadır (Yalçın ve Gürlü, 2006). TS EN 197-1'e göre 27 farklı tipte çimento 5 ana gurupta toplanmaktadır. Bunlar;

- ✓ CEM-I Portland Çimentosu
- ✓ CEM-II Portland Kompoze Çimento
- ✓ CEM-III Yüksek Fırın Cüruflu Çimento
- ✓ CEM-IV Puzolanlı Çimento
- ✓ CEM-V Kompoze Çimento (Alkan, 2018).

Portland çimentosu: Betonarme yapılarda en çok kullanılan çimento çeşididir. Portland çimentosu belirli oranda kalker ve kilin karıştırılarak fırınlarda pişirildikten sonra elde edilen klinkerin bilyeli değirmende öğütülmesiyle üretilmektedir.

Yüksek fırın cüruf çimentosu: Ganüle yakın fırın cürufu ve portland çimentosu klinkeri karışımının az miktarda alçıtaşı ile öğütülmesiyle üretilmektedir. Genelde, bu tür çimentolar deniz suyu ve diğer sülfatlı ortamlara maruz kalan yapılarda kullanılmaktadır (Özyurtkan, 2012).

Traslı çimentolar: Silisli ve alüminli maddeler ihtiva eden volkanik tüflerdir. Kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri bulunmamaktadır. Fakat çimento içerisindeki kireç ile bağlayıcılık özelliği kazanmaktadırlar. Bu tür çimentolar üretimi sırasında portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüf ya da benzeri traslar ikame edilip öğütülmesiyle meydana gelmektedirler. Karışımda tras oranı %20-%40 oranındadır. Traslı çimentolar genellikle su yapılarında kullanılmaktadırlar. Bunun nedeni traşlı çimentoların geçirimliliğinin az ve hidratasyon ısılarının düşük olmasıdır (Yalçın ve Gürlü, 2006).

Katkılı çimentolar: Portland çimentosu klinkerine ağırlıkça en fazla %19 oranında puzolanik malzeme ikame edilmesi ve alçıtaşı eklenmesi ile üretilmektedirler (Özyurtkan, 2012).

Diğer çimento türleri: uçucu küllü çimento, süper sülfat çimentosu, sülfata dayanıklı çimento, erken dayanımı yüksek çimento gibi çimentolardır (Yalçın ve Gürlü, 2006).

Tez çalışması kapsamında üretilen hafif beton üretiminde, özgül ağırlığı 3,06 kg/dm3 olan CEM I 42.5 N çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait değerler ve TS EN 197-1'e uygunluğu Tablo 3.8'de verilmiştir (Günaydın, 2006)

Tablo 3.8. *Çimentoya ait değerler ve TS EN 197-1'de istenen değerler (Günaydın, 2006)*

Kimyasal Özellikler	**Çimento değerleri**	**TS EN 197-1'de (TS 19) istenen değerler**	
		En az	**En çok**
Kızdırma kaybı (%)	4.33		5.0
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.26		5.0
Kükürt trioksit (SO_3) (%)	2.85		3.50
Klorür (Cl) (%)	0.0120		0.10
Fiziksel özellikler			
2 günlük basınç dayanımı (Nt/mm^2)	22.7	10.0	
7 günlük basınç dayanımı (Nt/mm^2)	35.0		
28 günlük basınç dayanımı (Nt/mm^2)	45.3	42.5	62.5
Priz başlangıcı (min)	145	70	
Hacim genleşmesi (mm)	1		10

3.1.4. Karışım Suyu

Betonun basınç dayanımı önemli ölçüde kullanılan su/çimento oranına bağlıdır. Çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı, çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadar olmalıdır (Özkul vd., 2004). Belirlenen su miktarından fazla su kullanılması,

betonun dayanımını düşürmektedir. Beton üretiminde içilebilir ve betona olumsuz etki yapmayacak özellikte su kullanılması gerekmektedir (Ekmekyapar ve Örüng, 1993).

Su içerisinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker ve endüstriyel atıklar gibi bazı istenmeyen maddeler beton üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Öztürk, 2012).

Beton üretiminde kullanılan suyun iki önemli görevi bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Kuru haldeki çimento ve agregayı işlenebilir bir karışım haline getirmek,
- ✓ Çimento ile kimyasal reaksiyona girerek plastik kıvamdaki karışımın sertleşmesini sağlamak (Ceylan, 2005).
- ✓ Tez çalışmasında, beton karma suyu olarak Kastamonu ili Karayolları Bölge Müdürlüğü'nde kullanılan şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Bor atığı katkılı hafif beton üretimi ve üretilen hafif beton numunelerine uygulanacak deneyler başlıklar halinde sunulmuştur.

3.2.1. Bor Atığı Katkılı Hafif Beton Üretimi

Bu tez çalışmasında 6 farklı seri hafif beton numunesi (REF; referans numune, %1 BA; %1 oranında bor atığı katkılı numune, %3 BA; %3 oranında bor atığı katkılı numune, %5 BA; %5 oranında bor atığı katkılı numune, %7 BA; %7 oranında bor atığı katkılı numune, %9 BA; %9 oranında bor atığı katkılı numune) üretilmiştir. Hafif beton üretiminde su/çimento oranı 0,25-0,35 arasında tutulmuştur.

Çalışmada referans numunelerinde %90 oranında pomza kullanılmıştır. Hafif agregalı tüm numunelerde %1, %3, %5, %7 ve %9 oranında bor atığı (BA) katkısı, dayanımı arttırmak için %10 oranında kum karışıma ilave edilmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. *Hafif beton üretiminde kullanılan agrega oranları*

	Pomza (P) (%)	**Bor atığı (BA) (%)**	**Kum (%)**
REF	90	0	10
%1 BA	89	1	10
%3 BA	87	3	10
%5 BA	85	5	10
%7 BA	83	7	10
%9 BA	81	9	10

Karışımlar TS 2511 standardına göre hazırlanmıştır. Bu standart baz alınarak hafif agrega olarak kullanılacak pomza ve bor atığı ile ilgili ön deneyler yapılmıştır.

İlk olarak hafif agregalar miksere konulmuş ve ön doyurma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek karıştırılmış agregaların suyu emmesi sağlanmıştır.

Ardından doğal eklenerek karışım homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Oluşan karışıma çimento eklenerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Son olarak karışım hesabında belirlenen su karışıma eklenerek homojen bir karışım elde edilip karıştırma işlemi sonlandırılmıştır (Şekil 3.10).

Şekil 3.10. Hafif beton malzemelerinin karıştırılması

Hazırlanan hafif beton karışımı 15x15x15 cm3 küp kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.11).

Şekil 3.11. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

Prizini alan hafif beton numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca +20°C sıcaklıktaki kür havuzunda kür edilmiştir (Şekil 3.12).

Şekil 3.12. Numunelerin kür edilmesi

Kürleme işlemi bittikten sonra hafif beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deneylere tabi tutulmuştur.

3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler

Hafif beton numunelerinin fiziksel farklılıklarını belirlemek amacıyla numuneler;

- ✓ Özgül Ağırlık,

- ✓ Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık,
- ✓ Kılcal Su Emme,
- ✓ Porozite deneylerine tabi tutulmuştur.

3.2.2.1. Özgül ağırlık

Numunelerin özgül ağırlığını belirlemek için, boşluklu numune kuru halde krom çelik halkalı öğütücü ile öğütülerek ince toz haline getirilmiştir. Ardından 74 mikron göz açıklıklı elekten elenmiştir. Elekten geçen elek altı malzemelerin bir kısmı değişmez kütleye gelinceye kadar (24 saat) etüvde 105 ^{o}C kurutulmuştur. Kurutulan numune hassas terazide tartılarak kütlenin ağırlığı bulunmuş, aynı kütle içinde sıvı bulunan piknometreye konularak hacmi belirlenmiştir. Ağırlık bu şekilde bulunan hacme bölünerek özgül ağırlık bulunmuştur (Formül 3.1). Formülde verilen P,

kütlenin ağırlığını, V ise kütlenin hacmini ifade etmektedir. Deneyler TS EN 771-1+A1, 2012 "Kâgir Birimler- Özellikler- Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar)" standardına göre yapılmıştır.

$$\textit{Özgül Ağırlık (g/cm3)} = P/V \qquad (3.1)$$

3.2.2.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıklarını belirlemek için, numuneler su dolu bir kap içerisinde 3 saat boyunca kaynatılarak suya doygun hale getirilmiştir. Kaynatma işlemi tamamlandıktan sonra kap içerisinden alınarak, su dolu bir kap içerisinde asılı ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numune kuru bir bezle silinerek yüzey kuru hale getirilmiş ve suya doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Son olarak numuneler etüvde 24 saat boyunca kurutulup değişmez ağırlıklarına getirilmiş, tekrar tartım işlemi yapılmıştır (Erdoğan, 2010, Sürül, 2015). Bulunan değerler Denklem 3.2'de yerine konularak birim hacim ağırlık belirlenmiştir. Formülde verilen P_1, kuru ağırlığı, P_2, suya doygun havadaki ağırlığı, P_3, suya doygun sudaki ağırlığı ifade etmektedir.

$$\textbf{Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm}^3\textbf{)} = P_1/P_2\text{-}P_3 \qquad (3.2)$$

3.2.2.3. Kılcal su emme

Kılcal su emme deneyi TS EN 772-11 "Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini" sayılı standardı baz alınarak yapılmıştır. İlk olarak numuneler 24 saat süreyle etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Ardından taban ölçüleri 15x15 cm olan numunelerin taban yüzeyleri suyun yüzeyine değecek şekilde, ızgaralı, 1 cm yüksekliğinde su dolu kaba yerleştirilmiştir. Numunelerin yan yüzeylerinin suya temas etmemesi için 1cm yükseklikle parafin ile kaplanmıştır. Numunelerin 60, 120 ve 180. Dakikalarda ağırlıkları ağırlık ölçülmüştür. Bulunan değerler Formül 3.3'te yerine konularak numunelerin kılcal su emme miktarı bulunmuştur (TS EN 772-11, 2012). mson, son ağırlığı, milk, ilk ağırlığı ifade etmektedir.

Kılcal Su Emme (Kapilarite) (g): mson-milk (3.3)

3.2.2.4. Porozite

Porozite deneyi TS EN 772-4 "Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini" standardına göre uygulanmıştır. Numuneler, su dolu bir kap içerisinde 3 saat süreyle kaynatılmış, ardından kap içerisinden alınarak, su dolu bir kaba konmuştur. Su içerisindeki asılı ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçüm tamamlandıktan sonra numuneler su içerisinden alınarak kuru bir bez yardımıyla yüzey suyu alınmıştır. Son olarak numunelerin suya doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra örnekler etüvde +105 ^{0}C'de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre numunelerin porozite değerleri formül 3.4' te verilen formülde yerine yazılarak elde edilmiştir. Formülde verilen P_1, kuru ağırlığı, P_2, suya doygun havadaki ağırlığı, P_3, suya doygun sudaki ağırlığı ifade etmektedir.

$$\textit{Porozite (\%)} = ((P_2-P_1) / (P_2-P_3)) \times 100 \quad (3.4)$$

3.2.3. Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler

Çalışma kapsamında üretilen hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için;

- ✓ Basınç Dayanımı (TS EN 772-1, 2012)
- ✓ Yarmada Çekme Dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.2.3.1. Basınç dayanımı

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi TS EN 772-1, 2012 "Kâgir Birimler-Deney Yöntemleri- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini" standardı baz alınarak yapılmıştır. Bilgisayar kontrollü basınç presinde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar, etüvde kurutulmuş ve basınç dayanımı değeri, kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesi ile belirlenmiştir.

Deney Kastamonu Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.2. Yarmada çekme dayanımı

15x15x15 cm ebatlarındaki küp numuneler kür havuzundan çıkarılarak pres makinesine yerleştirilip sabitlenmiştir. Pres başlığı ve numunenin yük uygulanan yüzeyinin merkezlerinin çakışmasına dikkat edilerek yükleme hızı yaklaşık 0,05 MPa olan yük uygulanmıştır. Yük göstergesinde kırılma anındaki en büyük yük değeri (Pmax) kaydedilmiştir (Şimşek, 2007). Yarmada çekme dayanımı (3.5) te verilen formüle göre hesaplanır (Özalp, 2016). Formülde verilen ft, yarmada çekme dayanımını (N/mm^2), L, silindir yüksekliğini, b, numune kesitinin boyunu ifade etmektedir.

$$ft = (2.\ Pmax) / (\pi\ .\ D.\ L) \quad (3.5)$$

4. BULGULAR

Araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde bor atığı katkılı üretilen hafif beton numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları başlıklar halinde sunulmuştur. Ayrıca literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak konu tartışılmıştır.

4.1. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları

Referans numunelerinin ve bor atığı katkılı hafif beton numunelerinin fiziksel deney sonuçları başlıklar halinde sunulmuştur.

4.1.1. Referans Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 4.1'de referans numunesine ait fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, kılcal su emme miktarı ve porozite deney sonuçları sunulmuştur. Her bir deney için 6 adet, toplamda 24 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Verilen tabloda numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde referans numunesinin özgül ağırlığının 1,60g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,24 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 120 g ve porozitesinin %22,0 olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. *Referans numunelerine ait fiziksel deney sonuçları*

Referans Numune Değerleri		
		Ortalama
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	1,60
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	1,24
	Kılcal Su Emme Miktarı (g)	120
	Porozite (%)	22,0

4.1.2. Bor Atığı Katkılı Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 4.2'de farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) bor atığı katkılı hafif beton numuneleri üzerinde yapılan fiziksel özellik tespiti deney değerleri verilmiştir. Her bir deney için 6 adet, toplamda 120 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Verilen tabloda numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde; %1 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin özgül ağırlığının 1,57 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,27 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 114 g ve porozitesinin %21,4 olduğu görülmektedir.

%3 Oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin özgül ağırlığının 1,50 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,34 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 108 g ve porozitesinin %21,0 olduğu tespit edilmektedir.

%5 Oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin özgül ağırlığının 1,46 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,39 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 100 g ve porozitesinin %20,4 olduğu görülmektedir.

%7 Oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin özgül ağırlığının 1,41 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,43 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 96 g ve porozitesinin %19,6 olduğu görülmektedir.

%9 Oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin özgül ağırlığının 1,37 g/cm^3, suya doygun birim hacim ağırlığının 1,49 g/cm^3, kılcal su emme miktarının 90 g ve porozitesinin %19,1 olduğu tespit edilmektedir.

Tablo 4.2. *Bor atığı katkılı numunelerine ait fiziksel deney sonuçları*

Bor Atığı Katkılı Numune Değerleri						
		%1 BA	**%3 BA**	**%5 BA**	**%7 BA**	**%9 BA**
Fiziksel Deneyler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)	1,57	1,50	1,46	1,41	1,37
	Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	1,27	1,34	1,39	1,43	1,49
	Kılcal Su Emme Miktarı (g)	114	108	100	96	90
	Porozite (%)	21,4	21,0	20,4	19,6	19,1

4.1.3. Referans Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları

Tablo 4.3'de referans numunesine ait mekanik özelliklerin tespiti için yapılan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deney sonuçları sunulmuştur. Her bir deney için 6 adet, toplamda 12 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Verilen tabloda numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde referans numuneye ait basınç dayanımının 16,5 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,15 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3. *Referans numunelerine ait mekanik deney sonuçları*

Referans Numune Değerleri		
Mekanik Deneyler	Basınç Dayanımı (MPa)	16,5
	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	1,15

4.1.4. Bor Atığı Katkılı Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları

Tablo 4.4'de farklı oranlarda (%1, %3, %5, %7, %9) bor atığı katkılı hafif beton numuneleri üzerinde yapılan mekanik özellik tespiti deney değerleri verilmiştir. Her bir deney için 6 adet, toplamda 60 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Verilen

tabloda numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde; %1 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 17,5 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,18 MPa olduğu görülmektedir. %3 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 17,9 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,23 MPa olduğu görülürken, %5 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 18,3 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının 1,27 MPa olduğu tespit edilmektedir.

%7 Oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 18,8 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının 1,31 MPa olduğu görülmektedir. %9 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 19,3 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,35 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4. *Bor atığı numunelerine ait mekanik deney sonuçları*

Bor Atığı Katkılı Numune Değerleri						
		%1 BA	**%3 BA**	**%5 BA**	**%7 BA**	**%9 BA**
Mekanik Deneyler	Basınç Dayanımı (MPa)	17,5	17,9	18,3	18,8	19,3
	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	1,18	1,23	1,27	1,31	1,35

4.2. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

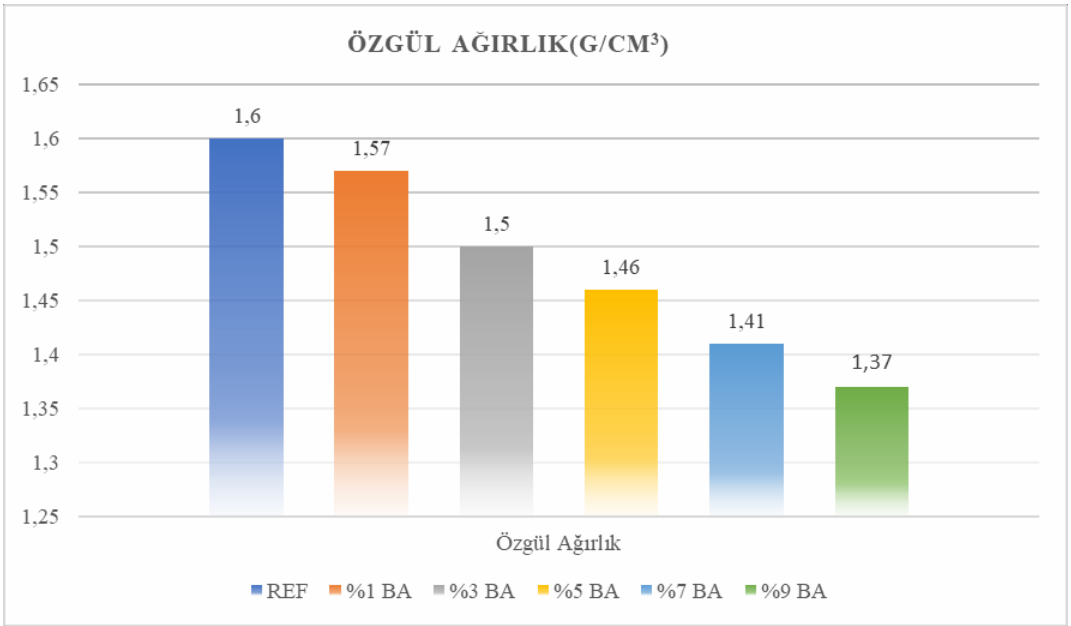
Bu bölümde numunelere uygulanan fiziksel ve mekanik deney sonuçlarının karşılaştırılması başlıklar halinde verilmiştir.

4.2.1. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde hafif beton numunelerinin fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, kılcal su emme ve porozite deneylerinin karşılaştırılması başlıklar halinde sunulmuştur.

4.2.1.1. Özgül ağırlık

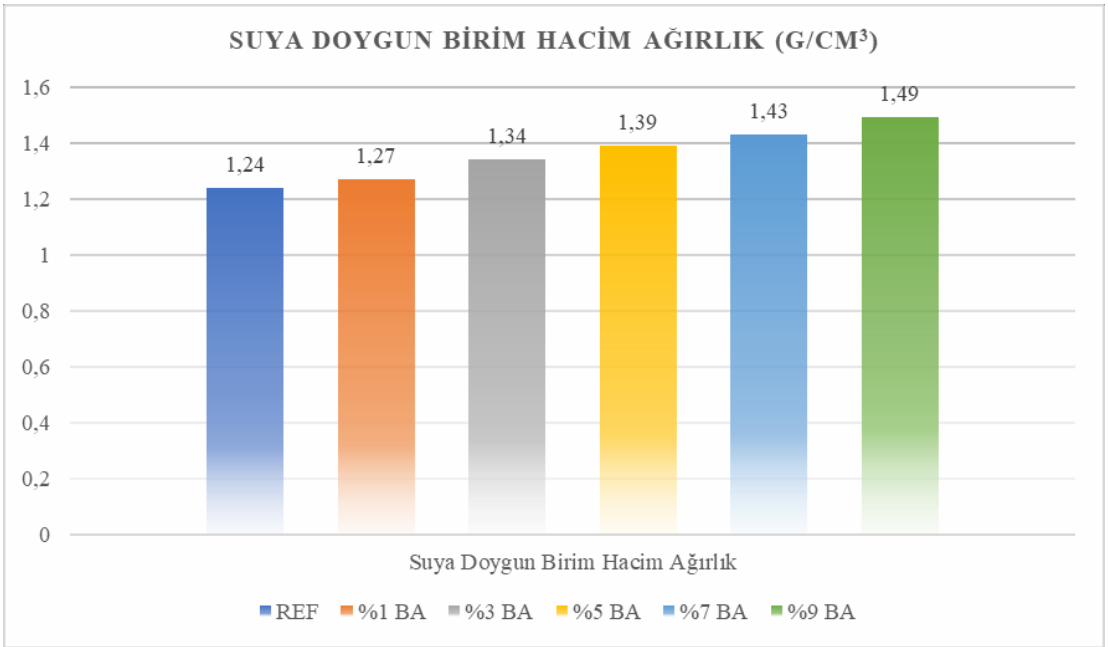
Şekil 4.1'de referans, %1 oranında bor atığı katkılı (%1 BA), %3 oranında bor atığı katkılı (%3 BA), %5 oranında bor atığı katkılı (%5 BA), %7 oranında bor atığı katkılı (%7 BA), %9 oranında bor atığı katkılı (%9 BA) hafif beton numunelerinin özgül ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Şekil incelendiğinde; referans numunesinin 1,60 g/cm^3 ile en yüksek özgül ağırlığa sahipken %9 oranında bor atığı katkısının 1,37 g/cm^3 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca bor atığı miktarının artması ile numunenin özgül ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Numunelerin özgül ağırlıklarının karşılaştırılması

4.2.1.2. Suya doygun birim hacim ağırlık

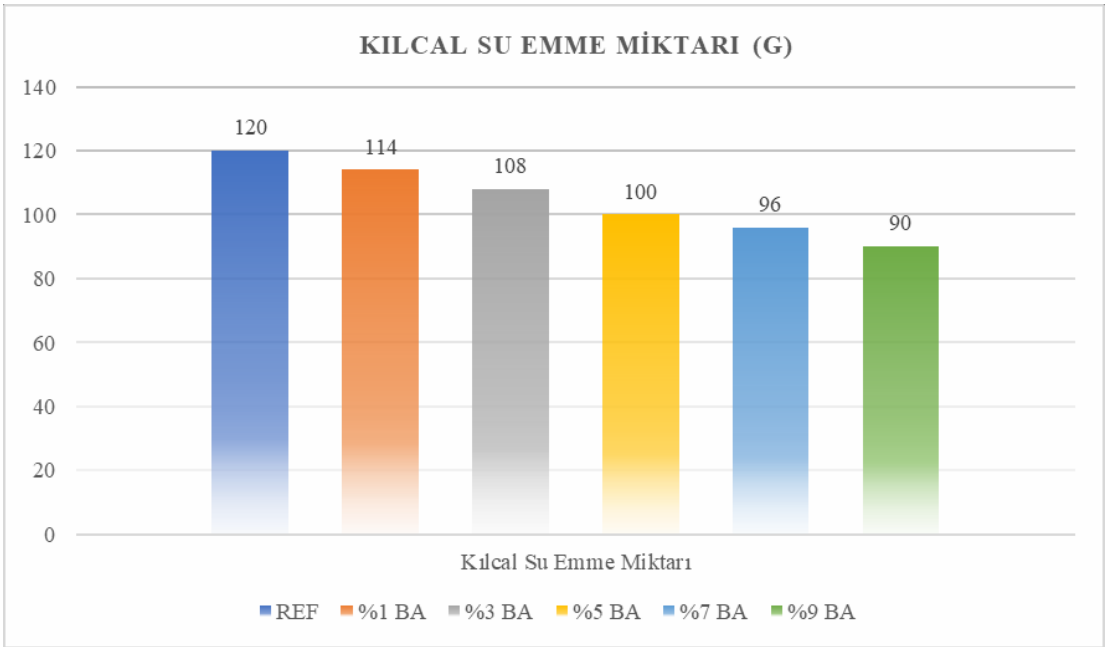
Hafif beton numunelerinin suya doygun birim hacim ağırlık deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 4.2'de sunulmuştur. Şekil incelendiğinde; REF 1,24 g/cm^3 ile en düşük suya doygun birim hacim ağırlığa sahipken, %9 oranında bor atığı katkılı numunelerin 1,49 g/cm^3 ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıklarının bor katkısının artmasına paralel olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Numunelerin suya doygun birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

4.2.1.3. Kılcal su emme miktarı

Malzemelerin kılcal su emme miktarları bünyelerinde bulunan gözle görülen veya görülmeyen boşluklarla ilişkilidir (Akyıldız, 2012). Malzeme bünyesi ne kadar boşluklu ise kılcal su emme miktarı da o kadar fazla, boşluk oranı ne kadar az ise kılcal su emme miktarı da o kadar düşüktür. Hafif beton numunelerinin kılcal su emme miktarlarının verildiği Şekil 4.3 incelendiğinde en yüksek kılcal su emme miktarının referans numunesine, en az su emme miktarının ise %9 oranında bor atığı katkılı numuneye ait olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada bor atığı miktarının artmasıyla kılcal su emme miktarının azaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin bor atığının hafif beton numunesi bünyesinde bulunan boşlukları doldurması olarak açıklanabilmektedir.

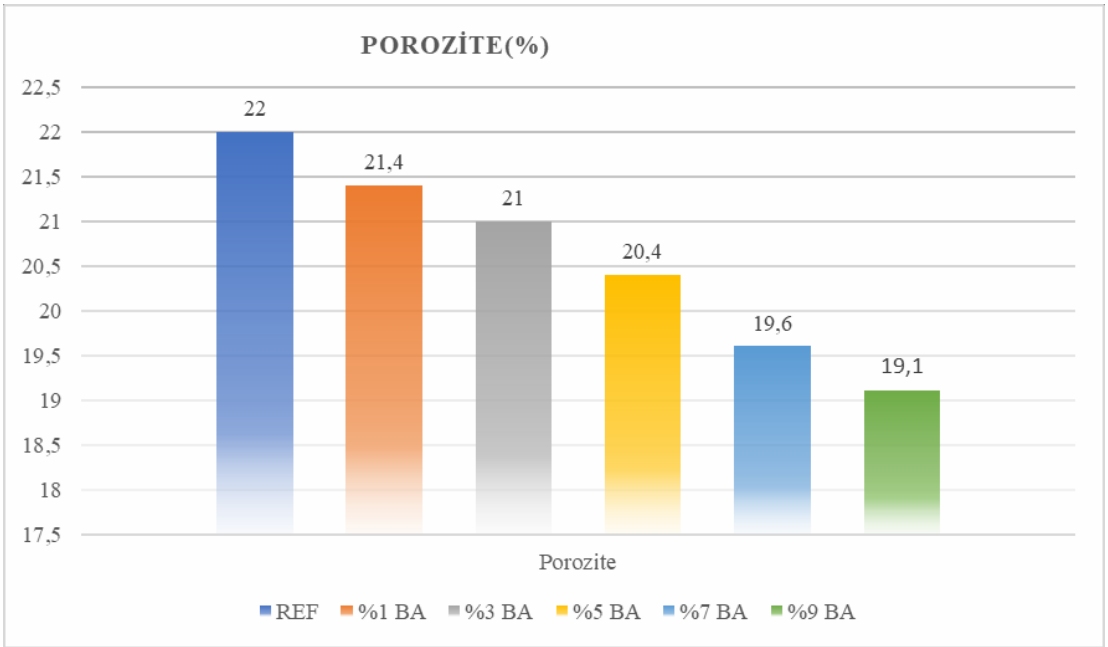


Şekil 4.3. Numunelerin kılcal su emme miktarlarının karşılaştırılması

4.2.1.4. Porozite

Şekil 4.4'de hafif beton numunesine ait porozite değerleri verilmiştir. Şekle göre; referans numunesi en yüksek porozite değerine sahipken, %9 oranında bor atığı katkılı hafif beton numunesinin en düşük porozite değerine sahip olduğu görülmektedir. Numunelere ilave edilen katkı miktarı arttıkça porozite değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bunun nedeninin kılcal su emme miktarı karşılaştırmasında da bahsedildiği gibi bor atığının numune bünyesinde bulunan boşlukları doldurmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Kılcal su emme miktarı bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde; Beklendiği gibi hafif agregalı beton numuneleri yüksek poroziteli ve yüksek kılcal su emme miktarlarına sahiptir. Bor atığı ilavesi porozitesi düşürürken kılcal su emme miktarında da azalma meydana getirmiştir. Bu azalma hafif beton numunesinin bünyesine daha az su alması anlamına gelmektedir. Bu da uzun vade de hem beton ömrünü uzatacak he m de yapı içi konfor şartlarını olumsuz yönde etkilemeyecektir.



Şekil 4.4. Numunelerin porozite değerlerinin karşılaştırılması

4.2.2. Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

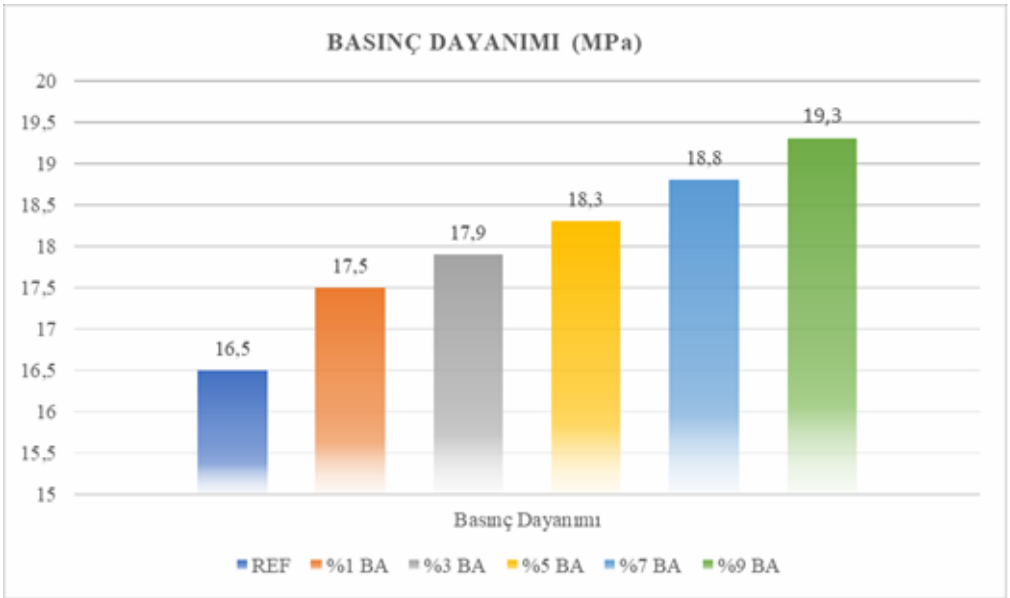
4.2.2.1. Basınç dayanımı

Referans ve bor atığı katkılı hafif beton numunelerinin verildiği Şekil 4.5 incelendiğinde, referans numunesinin 16,5 MPa ile en düşük basınç dayanımına sahipken, %9 oranında bor atığı katkılı numunelerin 19,3 MPa ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca bor atığı miktarının artmasıyla basınç dayanımında artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Basınç deneyi sonucunda elde edilen veriler, pomza agregası kullanılarak ACI 213R-87'de hafif betonlar için belirtilen 17.2 MPa dayanım değerinin üzerinde dayanım değerine sahip hafif betonlar üretilebileceğini göstermiştir.

Kabay ve Aköz'ün (2012) çalışmalarında ulaştıkları 21.0–29.4 MPa basınç dayanımları ince agrega olarak kırma kum kullanmaları nedeniyle burada bulunan değerlere göre yüksektir. Hossain vd. (2011) tarafından sadece iri ve ince pomza kullanılarak üretilen beton dayanımlarından (10-12-15-16-19-21 MPa) daha yüksek

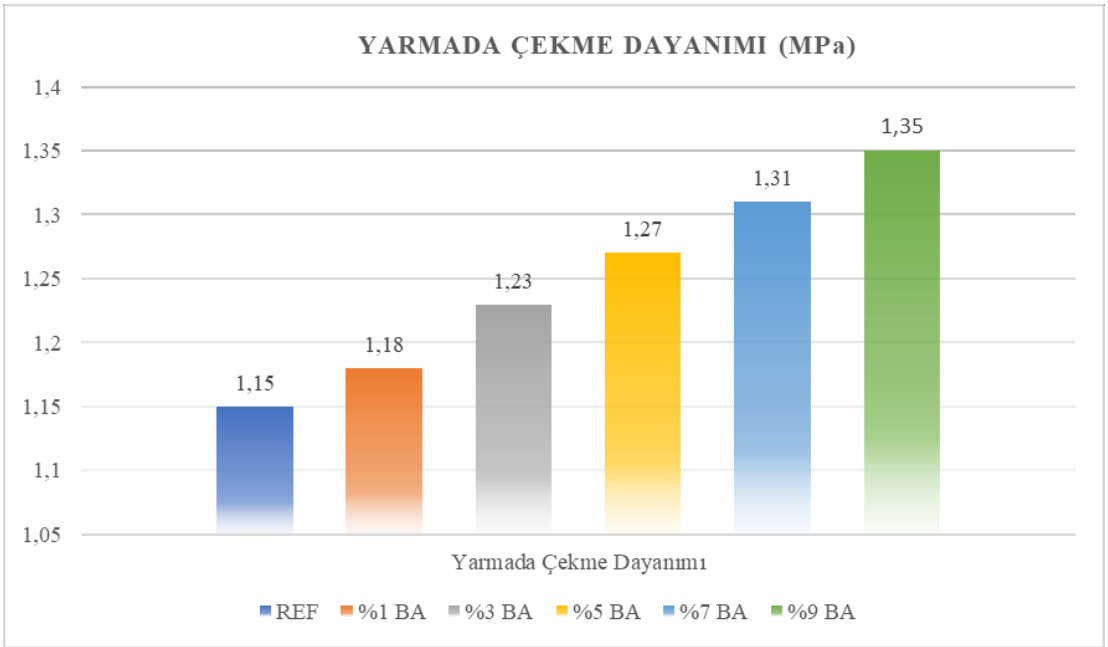
değerler çıkmıştır. Bunun nedeni hafif beton numuneleri üretilirken %10 oranında kum ve bor atığı ilave edilmesidir.



Şekil 4.5. Numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

4.2.2.2. Yarmada çekme dayanımı

Şekil 4.6'da hafif beton numunelerine ait yarmada çekme dayanım değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde; en düşük yarmada çekme dayanım değeri referans numunesine ait iken, en yüksek değerin %9 bor atığı katkı oranına sahip hafif beton numunelerinden elde edildiği görülmüştür. Bor atığı miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanımlarında da artış meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Numunelerin yarmada çekme dayanımlarının karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında yapılan fiziksel ve mekanik deneyler doğrultusunda elde edilen sonuçlar ve öneriler maddeler halinde sunulmuştur.

- Fiziksel deneylerden olan özgül ağırlık deneyinde, bor atığının ilavesi ile artan katkı oranına paralel olarak özgül ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.

- Hafif beton üretiminde pomza gibi özgül ağırlığı düşük olan malzemenin agrega olarak kullanılması yapının öz ağırlığının azaltılmasına olanak sağlamıştır. Böylece yapının daha düşük düzeyde deprem yüklerine maruz kalması olanak sunmuştur.

- Üretilen hafif beton numunelerinin suya doygun birim hacim ağırlık değerlerinde, bor atığı katkısının artmasıyla numune değerlerinde de artış meydana gelmiş, en iyi sonuç 1,24 g/cm^3 ile referans numunesinden elde edilmiştir.

- Bor atığı ilavesinin hafif beton numunelerinin kılcal su emme miktarında azalma meydana getirdiği görülmüş, en iyi sonuç ise 90 g ile %9 oranında bor atığı katkısı sağlamıştır.

- Porozite değerlerinde bor atığı miktarının artmasıyla porozite değerlerinde azalma meydana gelmiş buna paralel olarak hafif beton bünyesindeki gözenek yapısında da azalma meydana gelmiştir. En iyi sonuç %19,1 ile %9 bor katkılı hafif beton üretiminden elde edilmiştir.

- Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan deneyler sonucunda suya doygun birim hacim ağırlık değeri hariç bu çalışma için optimum katkı oranının %9 olduğu tespit edilmiştir.

- Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan deneyler sonucunda; bor atığı katkı miktarının artmasıyla hafif beton numunelerinin basınç dayanımlarının da arttığı, en iyi sonucun 19,3 MPa ile %9 oranında bor katkısı ile sağlandığı görülmüştür.

- Hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımına bakıldığında ise bor atığı miktarının artmasına paralel olarak yarmada çekme dayanım değerlerinde de artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

- Mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarına göre bu çalışma için optimum katkı oranının %9 olduğu tespit edilmiştir.

- Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgulara göre bor atığının hafif beton özelliklerini iyileştirdiği ve uygun oranlarda ikame edilmesi durumunda kullanımında herhangi bir sakınca olmayacağı sonucuna varılmıştır.

- Bor atıklarının hafif beton üretiminde kullanılması, atıkların bertaraf edilerek çevreyi korumakla kalmayacak, ayrıca atık depolama maliyetini düşürecektir.

- Endüstriyel atık olan bor atıkların değerlendirilmesiyle, atık bünyesinde bulunan B_2O_3 geri kazanılmış olacaktır. Böylelikle B_2O_3 içeren bu atıkların su ve toprağı kirletmesini önlemede yeni bir çözüm yolu üretilmiş olacaktır.

- Bor atığı ülkemizde cam, seramik, sağlık vb. sektörlerde kullanılmaktadır. Bu alanlara ilave sadece çimento sektöründe değil beton gibi önemli bir yapı malzemesi üretiminde de kullanılması düşünülmelidir.

- İnşaat sektöründe bor mineralinin direkt olarak kullanılmasının yanı sıra çeşitli işlemler sonucu elde edilen bor atıkları da inşaat sektöründe kullanılmalıdır. Bu durum çevreye zarar veren atık olan bor atıklarının geri dönüştürülerek sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.

- Bor atığı ve pomzanın değerlendirilmesine yönelik ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmaların sayısı arttırılmalıdır. Bu alanda yapılacak çalışmalar sadece literatürde kalmayıp sanayi ile iş birliği yapılarak üretime geçilmelidir.

- Dünyanın önde gelen pomza rezervlerine sahip ülkemizde pomza malzemesi; inşaat ve yapı sanayinde blok, sıva ya da dolgu malzemesi olarak kullanmaktansa, taşıyıcı hafif beton veya ön/ardgerilmeli hafif beton agregası gibi daha verimli bir şekilde değerlendirilmelidir. Pomzanın bu şekilde kullanılması yapının ağırlığına getireceği azalma ile birlikte yapıların deprem dayanımını da arttıracaktır.

KAYNAKLAR

Ağırdır, L.M. (1989). Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmali. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Akkaş, A. (2011). Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Taşıyıcılık Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta.

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

Alkan, İ.B. (2018). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Kullanılan Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.

Alkaya, Ş. (2010). Hafif Beton Üretiminde Organik Atıkların (Ayçiçeği Sapı) Kullanılabilme Olanakları. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.

Anonim, (2013a), Yeni atık göleti ve malzeme ocakları. *ÇED Başvuru Dosyası*, 3-4.

Anonim, (2013b), Espey yeni atık barajı (maden atıığı düzenlii depolama sahası) ve malzeme ocakları projesi. *ÇED Başvuru Dosyası*, 6-7.

Aslan, M. (2018). Mastik Asfalt Üretiminde Pomza, Perlit ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis.

Baradan, B., (1997). Yapı Malzemesi-II. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları,* 174–176, İzmir.

Baradan, B. (2004). Yapı Malzemesi II. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 207- 221, İzmir.

Beycioğlu, A. (2008). Endüstriyel Atıkların Hafif Beton Özelliklerine Etkilerinin Bulanık Mantık Yöntemiyle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Beycioğlu, A., Başyiğit, C & Subaşı, S. (2008). Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 1386-1394, Kocaeli.

Biçer, Y., Pıhtılı, K. & Ayhan, T. (1991). Gözenekli katı malzemelerde ısı iletimi hesabı için kurumsal bir model. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 14, 4-9.

Bilgen. G., Kavak, A., Yıldırım S.T & Çapar Ö.F. (2010). Yüksek fırın cürufunun inşaat sektöründeki yeri ve önemi. *2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongesi*, 506-513, Mersin.

Bims Sanayicileri Derneği, (2006). Bims (pomza) alt sektör raporu. *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Toprak Sanayi Meclisi*, Ankara.

Binici, H, Sevinç, A.H. & Durgun, M.Y. (2010). Barit, bazaltik pomza, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların özellikleri. *Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 13, 114-123.

Bütüner, R. (2011). Emet Bölgesi Düşük Tenörlü Kolemanit Stoklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.

Ceylan, H. (2005). Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği. Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta.

Ceylan, B.T. (2019). Erzurum Yöresinde Çıkartılan Pomza ve Perlitin Seramik Sanayisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

Christogerou, A., Kavas, T., Pontikes, Y., Koyas, S., Tabak, Y. & Angelopoulos, G.N. (2009). Use of boron wastes ın the production of heavy clay ceramics. *Ceramics International*, 35 (1), 447-452.

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

Çağlar, A. (2018). Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı İle İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Araştırma. Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya.

Çelik, Ö. (2004). Uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur katkılarının çimento dayanımlarına etkileri. *Beton 2004 Hazır Beton Kongesi*, 455-462, İstanbul.

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

Demirboğa, R. & Gül, R. (2003). The effects of expanded perlite aggegate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lighweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 33(5), 723-727.

Dırak, S. (2011). Eti Maden Müdürlüğü Kırka Bor İşletmesi Bor Endüstri Atıklarında Eser Elementlerin Tayini ve Lityumun Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.

Dinçer, A. (2013). Pomza, Silis Dumanı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.

Dinçer, R & Çağatay, İ.H. (2004). Pomza ile yapılan hafif betonların mekanik özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 247-260.

DPT, (2001). Madencilik ÖİK raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu yapı malzemeleri ıı (pomza-perlit-vermikülit flogopit genleşen killer) *Çalışma Gubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Türkiye, Rap. DPT:2617.

DPT, (2008). Bor, soda külü, krom kimyasalları çalışma gubu raporu, *Kimya Sanayi Özel İhtisas Komisyonu*, Ankara, 138.

Ekinci, C.E. (2008). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı. *Data Yayınları,* Ankara.

Ekmekyapar, T & Örüng, İ. (1993). İnşaat malzeme bilgisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları*, 145, Erzurum.

Elbeyli, Y., Kalpaklı, Y., Gülen, J., Pişkin, M. & Pişkin, M. (2004), Utilization of borax waste as an additive ın building brick production, *Proceedings of the Uluslararası Bor Sempozyumu,* Eskişehir.

Elmastaş, N. (2012). Türkiye ekonomisi için önemi giderek artan bir maden: pomza (sünger taşı). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(23), 197-206.

Erdoğan, T.Y. (2003). Beton. *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.* 741, Ankara.

Erdoğan, Y. (2007). Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana.

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

Erdoğan, S., T. & Erdoğan, T., Y. (2019). *Portland Çimentosunun Joseph Aspdın Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdın Ailesinin Rolü*. www.as-beton.com/pdf/portland_çimentosunun_icadi.pdf . Erişim Tarihi: 17.07.2019.

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

Eren, E. (2018). Borik Asit ve Borik Asit Atıklarının Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Alkali Aktivasyonu Sürecine Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Erkan, Z. E., Akar, A. & Savaş, M. (2016). Emet bor işletme müdürlüğü Hisarcık baraj atıklarının değerlendirilebilirliğinin araştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 5 (1), 161-174.

Etxeberria M., Pacheco C., Meneses J. M & Berridi I. (2010). Properties of concrete using metallurgical ındustrial by-products as aggegates. *Construction and Building Materials,* 24(9), 1594–1600.

Eyyüboğlu, S. (2013). Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Galvao, J. C. A., Portella, K. F., Joukoski, A., Mendes, R & Ferreira, E. S. (2011). Use of waste marble polymers ın concrete for repair of dam hydraulic surfaces. *Construction and Building Material*, 25(2), 1049-1055.

Gonzalez, A., Peters, U., Lampe, J. W. & White, E. (2007). Boron ıntake and prostate cancer risk, *Cancer Causes & Control,* 18 (10), 1131.

Gökçe, H. S. & Can, Ö. (2009). Pomza agregasının farklı zamanlardaki su emmelerinin hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi,* 12, 293-298.

Gökçe H. S. (2010). Hafif Beton Üretiminde Ham Ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Görür, E.B. (2007). Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikler. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kahramanmaraş.

Gül, M. (2018). Hafif Beton Agregası Olarak Atık Plastiklerin ve PET'in Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ.

Gülşen, H. (2004). Bazaltik Pomzanın Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Günaydın, M. (2006). Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Gündüz, L.,(1998). Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi*, (Cilt-I), 288, Isparta.

Gündüz, L. & Uğur, İ. (2000). Pomzadan mamul blok elemanlarında kayaç parametreleri – ses akustiği ilişkisi üzerine teknik bir analiz. *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, 205-215, Isparta.

Güner, M.S., (1999). Malzeme Bilimi–Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi (12.Baskı), *Aktif Yayınevi*, İstanbul.

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

Haque, M.N., Al-Khaiata, H & Kayalı O. (2004). Strength and durability of lightweight concrete. *Cement & Concrete Composites*, 26, 307-314.

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

Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H & Ghorbel, E. (2011). Use of waste marble aggegates in concrete. *Construction and Building Material*, 25(3), 1167-1171.

Hewlett, P.C. (2004). Lea's Chemistry of Cement and Concrete. *Elsevier Ltd., Oxford*, MA, ABD.

Hossain, K.M.A. (2004). Properties of volcanic scoria based lightweight concrete. *Magazine of Concrete Research*, 56(2), 111-120.

Kabay, N. & Aköz, F. (2012). Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggegate. *Cement and Concrete Composites* 34(4), 503-507.

Kaya, G. & Turan, S. (2004). Yüksek fırın cürufunun seramik sektöründe katma değeri yüksek ürünlerin eldesinde değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, (45), 87- 95.

Khandaker, M & Hossain, A. (2002). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 2478.

Kırıkoğlu, S. & Yavuz, F. (2017). Endüstriyel ham maddeler, çimento hammaddeleri, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ders Notları*.

Koçyiğit, Ş. (2016). Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu ve Kitre Katkılı Çimento Esaslı Kompozit Malzemenin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ.

Kozak, M. & Ünal O. (2010). Hafif agregalı blokların özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 17-30.

Kurttepeli, Y. (2006). Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Oğuz, C. & Türker, F. (1997). Pomza betonda fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki ilişkiler. *I. Isparta Pomza Sempozyumu*, Isparta.

Özalp, F. (2016). Kür Koşulları ve Yalıtımın Yüksek Dayanımlı Betonların Geçirimlilik, İç-Yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üninersitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Özdemir, M. & Öztürk, N. U. (2003). Utilization of clay wastes containing boron as cement additives, *Cement and Concrete Research*, 33 (10), 1659-1661.

Özkan, Ş.G & Twicer G. (2011). Pomza madenciliğine genel bakış. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 200-207, İzmir.

Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M & Uyan, M. (2004). Her yönüyle beton, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.

Özorak, C. (2014). Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

Öztürk, M, (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.

Özyurtkan, M.H. (2012). Yüksek Basınçlı ve Sıcak Kuyular İçin Geçirimsiz Çimento Harcı Tasarımı. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Polat, R. (2007). Genleştirlimiş Perlit ve Pomza ile Hava Sürükleyici Katkının Betonda Kılcal Geçirimlilik ve Don Hasarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

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

Sarı, D. & Paşamehmetoğlu, A.G. (2005). The effects of gadation and admixture on the pumice lightweight aggegate concrete. *Cement and Concrete Research*, 35, 936-943.

Sarıağaç, G. (2012). Kırka Tinkal Bor Atıklarından Gözenekli Agrega Üretimi Ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyon.

Schutter, G.D. (2008). Final report of rilem TC 205-DSC: Durability of self compacting. *Materials and Structures*, 225-233.

Serin, G. (1999). Pomzanın Hafif Beton Blok Duvar Elemanı Olarak Kullanılmasının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta.

Serin. G., Cankıran, O., Başyiğit, C., Taş, H. H & Fenkli, M. (2007). Normal, hafif ve yarı hafif beton blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması. *Teknolojik Araştırmalar, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi,* (1), 15 – 22.

Serinoğlu, Y.N. (2011). Normal ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Miktarının Taze Beton ve Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Afyon.

Sürül, O. (2015). Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Külün Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Zonguldak.

Şimşek, O. (1987). Maden şehri (Karaman) Doğusundaki Pomza Taşının Hafif Beton Üretiminde Kullanılabirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara.

Şimşek, O. (2007). Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, İkinci baskı, *Seçkin Yayınları*, Ankara.

Şişman, C.B., Kocaman, Ş & Gezer, E. (2008). Doğal zeolitten üretilecek hafif betonun tarımsal yapılarda kullanılabilirliği üzerine bir araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi,* 5 (2), 20-25.

Temiz, H, & Akçekale A.H. (2014). Hafif agregalı betonun mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 7-20.

Toklu, K. (2009). Pomza Taşından Üretilen Bims Blok Kalitesinin Arttırılma Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Topçu, İ.B. (2006). Agregaların mekanik özellikleri. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Beton* (2), 26-27, Eskişehir.

Topçu İ. B. (2006). Beton Teknolojisi, *Uğur Ofset*, Samsun.

TS 2511, (2017). Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TSE CEN/TS 12390-9, (2017). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 9: Buz Çözücü Tuzlarla Donma-Çözünme Direnci-Ölçeklendirme, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN 206-1, (2002). Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN 772-1, (2012) Kâgir Birimler-Deney Yöntemleri-Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS EN 771-1+A1, (2015), Kâgir Birimler-Özellikler-Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

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

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

TS 10088 EN 9323, (1997). Agregaların genel özellikleri için deneyler- kısım 3: Basitleştirilmiş petrogafik tanımlama için işlem ve terminoloji, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Türkel, S & Kadiroğlu, B. (2007). Pomza agregalı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 13(3), 353-359.

URL-1. 05.03.2019 tarihinde http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari. adresinden alınmıştır.

Uygunoğlu, T. & Ünal, O. (2007). Buhar kürü uygulanmış pomzalı hafif betonun özellikleri. *Politeknik Dergisi,* (10), 111-116.

Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R. & Gül, R. (2004). The effects of different cement dosage and pumice aggegate rations on the thermal conductivity and density of concrete. *Cement and Concrete Research,* (34), 845-848.

Ünal, O., Demir, İ. & Uygunoğlu T. (2003). Pomza ve diyatomitin hafif blok eleman üretiminde kullanılmasının araştırılması. *3. Ulusal Kırnıataş Sempozyumu,* İstanbul.

Ünal, O. & Uygunoğlu T. (2007). Diyatomitin hafif beton üretiminde kullanılması. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi*, (1), 4025-4034.

Yalçın, H. & Gürlü, M. (2006). Çimento ve Beton, *Palme Yayınları,* Ankara.

Yaltay, N. (2015). Kolemanit Katkılı Çimento ile Üretilen Pomza Agregalı Hafif Betonun Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Yanık, S. (2007). Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana.

Yaşar, E., Atiş, C.D., Kılıç, A & Gülşen, H. (2003). Strengt properties of lightweight concrete made with balastic pumice and fly ash. Maerials Letters (57), 22-27.

Yazıcıoğlu, S & Bozkurt, N. (2006). Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* 21(4), 675-680.

Yerel, S., Özbay, S. & Gence, N. (2005). Bor madeni ve önemi. *Teknik Bilimler Dergisi Soma* (3), 22-36.

Yılmaz, H. (2017). Çimento Türü ve Pomza Agregasının Beton Karakteristiklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Düzce.

Yılmaz, İ. (2018). Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Kocaeli.

Yılmaz, Y. (2014). Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Hatay.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abudalrhman Mohamed ALDAKSHE
Doğum Yeri ve Yılı : Soukna-LİBYA/ 05.09.1973
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce, Arapça
E-posta : abdoodaqshi@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Soukna Lisesi, 1991
Lisans : Peoples Committee Of Aljufra Discrict Higher Education Bureau / Civil Engineering, 1997

Mesleki Deneyim

İş Yeri : C.A.C ALJUFRA LİBYA / Civil Engineering