T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

POMZA AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN BORİK ASİT KATKISIYLA İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA

Halil TEZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN ÇAĞLAR

AĞUSTOS 2020

KASTAMONU

TEZ ONAYI

Halil TEZEL tarafından hazırlanan "**Pomza Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Borik Asit Katkısıyla İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Araştırma**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **23.07.2020** tarihine yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	…….
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ Kastamonu Üniversitesi	...…….
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Halil Özcan ÖZDEMİR Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi	…….

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü	Prof.Dr. İzzet ŞENER	…….

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıcatez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Halil TEZEL



ÖZET

YÜKSEK LİSANS

POMZA AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN BORİK ASİT KATKISIYLA İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA

HALİL TEZEL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN ÇAĞLAR

Bu tez çalışmasında, hafif beton üretiminde agrega olarak pomza agregası ve katkı malzemesi olarak borik asitin kullanılması hususunda deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda borik asitin katkı maddesi olarak kullanılması sonucu hafif betonun fiziksel mekanik ve mikro yapısının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla; pomza agregalı borik asit katkılı üretilen numunelere fiziksel (kuru birim hacim ağırlık, su emme ve porozite) ve mekanik (basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı) deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca hafif betonda meydana gelen iyileşmenin daha net bir şekilde açıklanabilmesi için SEM görüntülerinden yararlanılmıştır.

Çalışma sonucunda; fiziksel özelliklerden olan porozite ve su emme değerlerinde azalma, kuru birim hacim ağırlığında artma meydana gelmiştir. Üretilen hafif betonun basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanım değerlerinde artış olduğu görülmüştür. SEM görüntüleri incelenmiş ve en iyi sonuç %6 oranında borik asit katkısıyla elde edilmiştir. Sonuç olarak, borik asitin hafif beton üretiminde kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, beton, pomza, borik asit

2020, 82 sayfa
Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSC. THESIS

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE IMPROVEMENT WITH BORIC ACID ADDITIVE OF PROPERTIES OF LIGHT WEİGHT CONCRETE PRODUCED USING PUMICE AGGREGATE

HALİL TEZEL

KASTAMONU UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING
SUPERVISOR: ASSIST. PROF. HAKAN ÇAĞLAR

Abstract: In this thesis, an experimental study was carried out on the use of pumice as an aggregate and boric acid as an additive in light weight concrete production. In this context, it is aimed to improve the physical mechanical and microstructure of light concrete as a result of using boric acid as an additive.

For this purpose; Physical (dry unit weight, water absorption and porosity) and mechanical (compressive strength, splitting tensile strength) tests were applied to the samples produced with pumice aggregate and boric acid additive. In addition, SEM images were benefited to explain the improvement in light weight concrete more clearly.

In the results of studing; it occured porosity values and water absorption values which are physical properties decrease and dry unit weight increased. It was observed that the compressive strength and tensile strength values of the lightweight concrete produced increased. SEM images were examined and the best results were obtained with 6% boric acid. As a result, it was found that there is no harm in using boric acid in light weight concrete production.

Key Words: Light weight concrete, concrete, pumice, boric acid

2020, 82 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalışma aşamalarında benden destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a ve yüksek lisans eğitimim boyunca yılmadan benden desteğini esirgemeyen sevgili eşim Gamze TEZEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Halil TEZEL
Kastamonu, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1 Betonun Tanımı	3
2.2 Betonun Tarihsel Gelişimi	3
2.3 Betonun Özellikleri	5
2.3.1 Taze Beton Özellikleri	5
2.3.1.1 İşlenebilme ve kıvam	5
2.3.1.2 Olgunluk	6
2.3.1.3 Priz süresi	6
2.3.1.4 Birim ağırlık	7
2.3.1.5 Üniformluk	7
2.3.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri	8
2.3.2.1 Basınç dayanımı	8
2.3.2.2 Yarmada çekme dayanımı	9
2.4 Beton Çeşitleri	9
2.4.1 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar	10
2.4.1.1 Hafif beton	10
2.4.1.2 Normal beton	10
2.4.1.3 Ağır beton	11
2.4.2 Basınç Dayanımlarına Göre Betonlar	11
2.4.2.1 Düşük dayanımlı betonlar	11
2.4.2.2 Normal dayanımlı betonlar	11
2.4.2.3 Yüksek dayanımlı betonlar	11
2.4.3 Üretildikleri Yere Göre Betonlar	12
2.4.3.1 Şantiye betonu	12
2.4.3.2 Santral betonu	13
2.4.4 Özel Betonlar	15
2.4.4.1 Lifli beton	15
2.4.4.2 Kütle beton	15
2.4.4.3 Vakumlu beton	16
2.4.4.4 Püskürtme beton	17
2.4.4.5 Ferrocement beton	17
2.4.4.6 Silindirle Sıkıştırılmış beton	18

2.4.4.7 Kendiliğinden yerleşen beton 18
2.4.4.8 Sualtı betonu 19
2.4.4.9 Hava sürüklenmiş beton 20
2.5 Hafif Beton 20
2.5.1 Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar 22
2.5.1.1 Doğal hafif agregalar 22
2.5.1.2 Endüstriyel atıklardan üretilen hafif agrega 32
2.5.2 Hafif Beton Avantajları ve Dezavantajları 39
3. LİTERATÜR TARAMASI 41
4. MATERYAL VE YÖNTEM 48
4.1 Materyal 48
4.1.1 Pomza 48
4.1.2 Kum Agregası 49
4.1.3 Çimento 50
4.1.4 Borik Asit 51
4.1.5 Karışım Suyu 51
4.2 Yöntem 52
4.2.1 Bor Asit Katkılı Hafif Beton Üretimi 52
4.2.2 Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler 54
4.2.2.1 Kuru birim hacim ağırlık 54
4.2.2.2 Su emme 55
4.2.2.3 Porozite 55
4.2.3 Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler 55
4.2.3.1 Basınç dayanımı 56
4.2.3.2 Yarmada çekme dayanımı 56
4.2.4 Hafif Beton Numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri 57
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 58
5.1 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları 58
5.1.1 Referans Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları 58
5.1.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları 59
5.2 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçları 60
5.2.1 Referans Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları 60
5.2.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları 60
5.3 Hafif Beton Numunelerinin SEM Görüntüleri 61
5.3.1 Referans Numunelerinin SEM Görüntüsü 61
5.3.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin SEM Görüntüleri 62
5.4 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 63
5.4.1 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 63
5.4.1.1 Kuru birim hacim ağırlık 63
5.4.1.2 Su emme 64

5.4.1.3 Porozite 65
5.4.2 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 66
5.4.2.1 Basınç dayanımı 66
5.4.2.2 Yarmada çekme dayanımı 67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 68
KAYNAKLAR 70
ÖZGEÇMİŞ 82

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

MPa	Mega paskal
N/mm^2	Newton/milimetrekare
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
SiO_2	Silisyum Oksit
Cs	Sezyum
Sr	Stronsiyum
Rb	Rubidyum
Co	Kobalt
CO	Karbonmonoksit
SO_2	Kükürtdioksit
CO_2	Karbondioksit
N	Azot
S	Kükürt
$CaCO_3$	Kalsiyum Karbonat
CuPb	Bakır-Fosfor Alaşımı
MgO	Magnezyum Oksit
MnO	Magnezyum Oksit

Kısaltmalar

SEM	Elektron Mikroskobu Görüntüsü
TS	Türk Standartları
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
km	Kilometre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
MTA	Maden Tetkik Arama
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
LPG	Likit Petrol Gaz
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
UK	Uçucu Kül
dB	Desibel
EPS	Expanded Polystyrene
REF	Referans
BA	Borik Asit
ACI	Amerikan Beton Endüstrisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Betonun tarihi gelişimi 5
Şekil 2.2. Yüksek dayanımlı ve geleneksel betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri 12
Şekil 2.3. Lifli beton üretiminde kullanılan lif çeşitleri 15
Şekil 2.4. Bir kemer baraj kütle betonu 16
Şekil 2.5. Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem 16
Şekil 2.6. Püskürtme beton uygulaması 17
Şekil 2.7. Kendiliğinden yerleşen beton 18
Şekil 2.8. Sualtı betonunun kapalı kova yöntemi ile dökümü 19
Şekil 2.9. Hava sürüklenmiş betonun iç yapısı 20
Şekil 2.10. Asidik ve bazik pomza örnekleri 23
Şekil 2.11. Doğal zeolit 25
Şekil 2.12. Doğal zeolitin moleküler yapısı 26
Şekil 2.13. Cüruf granülasyon şemaları 34
Şekil 4.1. Nevşehir ili maden haritası ve pomza ocaklarının dağılımı 48
Şekil 4.2. Borik asit 51
Şekil 4.3. Borik asit çözeltisinin hazırlanması 53
Şekil 4.4. Hafif beton malzemelerinin karıştırılması 53
Şekil 4.5. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi 54
Şekil 5.1. Referans numunenin SEM görüntüsü 61
Şekil 5.2. A; %2 oranında borik asit katkılı, B; %4 oranında borik asit katkılı, C; %6 oranında borik asit katkılı hafif betonların SEM görüntüleri 62
Şekil 5.3. Numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması 63
Şekil 5.4. Numunelerin su emme oranlarının karşılaştırılması 64
Şekil 5.5. Numunelerin porozite değerlerinin karşılaştırılması 65
Şekil 5.6. Numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması 66
Şekil 5.7. Numunelerin yarmada çekme dayanımlarının karşılaştırılması 67

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Kıvamlarına göre betonlar	13
Tablo 2.2. En büyük agrega tane büyüklüklerine göre betonlar	13
Tablo 2.3. Karakteristik basınç dayanımlarına göre betonlar	14
Tablo 2.4. Birim ağırlıklarına göre betonlar	14
Tablo 2.5. Pomzaya ait fiziksel özellik ve kimyasal bileşim oranları	23
Tablo 2.6. Endüstriyel kullanımı olan zeolit türleri ve özellikleri	26
Tablo 2.7. YFC kimyasal analizi	34
Tablo 2.8. TS göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri	37
Tablo 2.9. UK'lerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar	39
Tablo 4.1. Pomza agregaların kimyasal analizi	49
Tablo 4.2. Doğal kumun fiziksel özellikleri	49
Tablo 4.3. Deneylerde kullanılan çimentonun özellikleri	50
Tablo 4.4. Hafif beton üretiminde kullanılan agrega ve borik asit oranları.	52
Tablo 5.1. Referans numunelerine ait fiziksel deney sonuçları	58
Tablo 5.2. Borik asit katkılı numunelere ait fiziksel deney sonuçları	59
Tablo 5.3. Referans numunelerine ait mekanik deney sonuçları	60
Tablo 5.4. Borik asit katkılı numunelere ait mekanik deney sonuçları	61

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğu günden itibaren çevre şartlarından korunmak ve kendini güvenme hissetmek için barınmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda da çeşitli yapılara gereksinim duymaktadırlar. Bu yapıların vazgeçilmez ve en önemli unsuru ise yapı malzemesidir. Ekonomik, dayanıklı ve iyi diye nitelendirilen bir yapı, malzeme esasına göre kurgulanmaktadır. Yapıda kullanılan malzemenin niteliği ve uygun kullanım şekliyle ömrü uzatılabilmektedir (Gül, 2018).

Yapı teknolojisi ve inşaat sanayisi arasında köprü vazifesi gören ve kullanım oranı en yaygın olan malzeme betondur. Beton; su, agrega, çimento ve gerektiğinde katkı maddesinin belirlenen miktar ve oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen homojen bir yapı malzemesidir. Betonun kullanım amacına göre çok çeşitli özellikte ve tipte üretimi yapılabilmektedir. Betonun yaygın olarak kullanılmasındaki etmenler kullanılan ham maddelerin doğada bol miktarda bulunması, ucuz bir şekilde temin edilmesi ve kolay şekil verilmesidir. Bunların yanı sıra beton, dış etkenlere karşı dayanıklı olması da betonu vazgeçilmez bir yapı malzemesi yapmaktadır (Baradan ve Yazıcı, 2003).

Gelişen ve ilerleyen teknolojiye paralel olarak beton sanayinde de gelişmeler meydana gelmiştir. Beton üretiminde meydana gelen bu gelişmeler beton teknolojisinde özel betonlar adıyla yer bulmuştur. Özel betonlar, kullanım amacına ve yerine göre farklı istek ve ihtiyaçları karşılamak amacıyla üretilmektedirler. Püskürtme beton, ağır beton, yalıtım özellikli beton, kendiliğinden yerleşen beton, hafif beton, yüksek akıcılığa sahip beton üretilen özel betonlardan birkaçıdır. Betonu özel yapan istenilen özellikleri kazandırmak için normal beton bileşenlerine eklenen ekstra yapı malzemelerinin ilave edilmesidir (Yazıcıoğlu ve Bozkurt, 2006).

Özel beton çeşitlerinden biri olan hafif betonlar, yalıtımı yüksek, ağırlığı az, dayanımı yeterli ve yanmaz bir yapı malzemesidir. Ayrıca hafif betonlar geleceğin mimarisi yönünden mimariye yeni bakış açısı getiren ve bu yönüyle büyük önem taşıyan bir yapı malzemesi olmaktadır. Hafif betonu geleneksel betondan ayıran en büyük özellik hafifliği ve bünyesinde ses ve ısı yalıtımı sağlayan gözeneklerden oluşmasıdır. Yapısındaki bu gözenekler, gözenekli agrega kullanılarak (pomza taşı,

cüruf, genleşmiş kil, volkanik tüf, perlit vb.), gözenekli iç yapı oluşturarak veya ince harç içerisinde gaz kabarcıklarının oluşturulması (bims) ile elde edilmektedir (Topçu, 2006).

Hafif beton üretiminde en çok kullanılan yöntem gözenekli agregaların kullanılmasıyla hafif beton üretiminin yapılması yöntemidir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde; genellikle pomza kullanılarak hafif beton üretimi yapıldığı görülmektedir. Bunun nedeni pomzanın yüksek oranda gözenekli yapıya sahip olması ve fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı olmasıdır. Gözenekli yapısı sayesinde hafif ve izolasyon özelliği olan pomza hafif beton üretiminde en çok tercih edilen agrega çeşidi olmaktadır (Aydın, 2008).

Bu tez çalışmasında, hafif beton üretiminde agrega olarak pomza agregası ve katkı malzemesi olarak borik asitin kullanılması hususunda deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu kapsamda borik asiti katkı maddesi olarak kullanılması sonucu hafif betonun fiziksel mekanik ve mikro yapısının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla; pomza agregalı borik asit katkılı üretilen numunelere fiziksel (kuru birim hacim ağırlık, su emme ve porozite) ve mekanik (basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı) deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca hafif betonda meydana gelen iyileşmenin daha net bir şekilde açıklanabilmesi için SEM görüntülerinden yararlanılmıştır.

Kullanılan pomza agregası Nevşehir bölgesinden temin edilmiştir. Böylelikle yerel kaynaklar kullanılmış, sürdürülebilirliğe ve ülke ekonomisine katkıda bulunulmuştur.

Tez çalışması tamamlandığında; daha dayanımlı ve dayanıklı hafif beton üretimi yapılmış olacaktır. Bu durum yapı ömrünü uzatacaktır. Ayrıca su emme oranında meydana gelen azalma yapı içi konfor şartlarını olumlu bir şekilde etkileyecektir. Borik asit katkılı hafif beton üretimi ile literatüre yeni bir çalışma katılmış olacaktır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Betonun Tanımı

Beton, çimento, agrega, gerektiğinde katkı maddelerinin su ile homojen bir şekilde karışılması sonucu elde edilen, ilk olarak plastik kıvamda zaman içerisinde çimentonun hidratasyonu ile sertleşen bir yapı malzemesidir (TS 802, 1985).

Beton yapı malzemesi inşaat sanayinde en fazla kullanım alanına sahip, günümüzde irili ufaklı birçok yapıda kullanılan en yaygın yapı malzemesi olma özelliğini taşımaktadır (Bozkurt, 2009; Gönen, 2009).

Bilim ve teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte çevre dostu, kalite ve daha mükemmeli bulma çabası inşaat biliminde de ivme kazanmıştır (Bozkurt,2009). 21. Asırda teknolojinin de gelişmesiyle çok fazla değişime uğramıştır. Basınç dayanımı 800 MPa'ya kadar ulaşırken, dayanıklığı artmış, çevreye dost olması sağlanmıştır (Sağlık, 2013). Dünyada kullanım alanı incelendiğinde sudan sonra en çok tüketim yüzdesine malzemedir. Beton yapı malzemenin bu derece fazla kullanılmasının en büyük nedeni diğer yapı malzemelerine oranla daha ekonomik olmasıdır (Gönen vd., 2012). Bu ekonomiklik özelliği betonu en çok tercih edilen yapı malzemesi olma statüsüne ulaştırmaktadır. Ayrıca beton ekonomikliğin yanı sıra emniyetli, dayanıklı ve fazla revizyon istemeyen önemli yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. Beton alt yapı inşaat çalışmalarında vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Tüneller, yollar, köprüler, viyadükler, barajlar, demir yolları, bariyerler vb. yapımında kullanılan en önemli yapı malzemesi betondur (Özkul vd., 1999; Akakın vd., 2013). Beton üretildiği anda taze beton, sertleşip dayanım kazanınca sertleşmiş beton adını almaktadır. Taze betonda aranan en önemli özellik işlenebilirlik iken, sertleşmiş betonda dayanım ve dayanıklılık özelikleridir (Topçu, 2006; Karagöz, 2013).

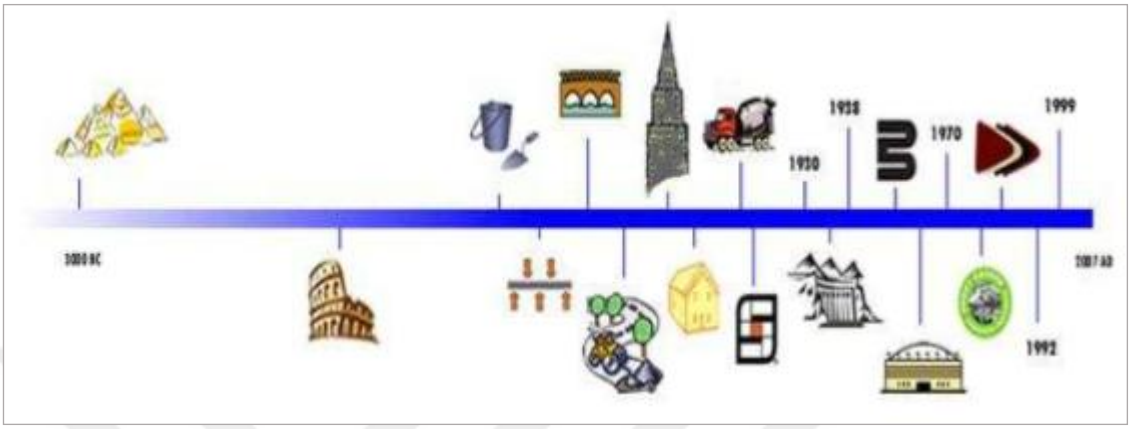
2.2 Betonun Tarihsel Gelişimi

Beton farklı şekil ve formlarda yaklaşık olarak 5000 yıldan beri kullanılmaktadır (Serinoğlu, 2011). Betonun tarihsel gelişimi incelendiğinde;

- ✓ Tarihte beton malzemesinin keşfinden önce, yapı inşasında kullanılan taşların birbirine bağlanmasında kullanılan harçların içerisindeki doğal hidrolik bağlayıcıların kullanımı Romalılar dönemine kadar dayanmaktadır.
- ✓ 1756 yılında İngiliz J. Smeaton "Eddystone" deniz fenerinin inşasında "Aberthaw kireci- İtalyan puzolanı" karışımından elde edilen bağlayıcı kullanmıştır.
- ✓ 1796'dan sonra İngiliz J. Parker ve J. Frost killi ve kalkerli malzemeleri pişirerek doğal çimento üretmişlerdir (Erdoğan ve Erdoğan, 2019).
- ✓ İngiltere'de 1824 yılında bir duvar ustası olan Joseph Aspdin kalker tozu ve kil karışımını pişirerek öğütmüş, elde ettiği malzemeyi su ile karıştırmıştır ve taş görünümlü bir malzeme üretmiştir. Ürettiği bu malzemenin rengi ve diğer özelikleri Portland Adası'nda bulunan taşlara benzediği için Portland adını vermiştir.
- ✓ 1824 yılında hala günümüzde de kullandığımız "portland çimentosu" adı ile patent almıştır.
- ✓ Beton üretiminin başlamasıyla, 1850'li yıllardan sonra betondan yapılan bazı eşya ve araçlar demir çubuklarla güçlendirilmiştir. Böylece "teçhizatlı beton" anlamına gelen "betonarme" yapım tekniği keşfedilmiştir.
- ✓ İskoçya'da, 1879 tarihinde ilk beton yol inşa edilmiştir.
- ✓ 1873'te New York'ta İlk betonarme bina yapılmıştır.
- ✓ 1904 yılında ABD'de beton üzerine ilk şartname hazırlanmıştır (Bostancı, 2014).
- ✓ 1906 yılında Almanya'da beton şartnamesi hazırlanmıştır.
- ✓ Türkiye'de 1911 yılında, ilk çimento fabrikası İstanbul Darıca'da faaliyete başlamıştır.
- ✓ 1920 yılında ise ilk betonarme yapı inşa edilmiştir.
- ✓ 1920 – 1940 yılları arasında Avrupa beton şartnamelerini geliştirmiştir.
- ✓ 1950 – 1960 yılları arasında beton karışım hesapları geliştirilmiştir (Şimşek, 2007).
- ✓ Kimya endüstrisindeki gelişmeler vasıtasıyla beton özelliklerinin iyileştirilmesi için bazı mineral ve kimyasal katkılar üretilmiştir. Böylelikle 1960'larda süper akışkanlaştırıcı katkılar betona katılmaya başlanmıştır.

- ✓ 1980 yılından itibaren endüstriyel atık olan uçucu kül ve silis dumanı beton katkısı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Akman, 2003)

Şekil 2.1' de betonun tarihi gelişimi gösterilmiştir (Serinoğlu, 2011).



Şekil 2.1 Betonun tarihi gelişimi

2.3 Betonun Özellikleri

Beton malzemesini oluşturan çimento, agrega, su ve gerektiğinde kullanılan katkı maddelerinin özellikleri, bu malzemelerin beton karışımı içindeki oranları betonun özelliklerini belirlemektedir. Beton özellikleri, taze beton ve sertleşmiş beton özellikleri olmak üzere iki guruba ayrılmaktadır (Bostancı, 2014).

2.3.1 Taze Beton Özellikleri

Beton taze haldeyken ayrışma olmadan taşınma, kalıba yerleştirilme, sıkıştırılma ve yüzey düzeltme gibi işlemler yapılmaktadır. Taze betona yapılan işlemler, sertleşmiş beton özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir (Neville,1981).

2.3.1.1 İşlenebilme ve kıvam

İşlenebilirlik, taze betonun segregasyon yapmadan, taşınması, dökülmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliğine denilmektedir. Taze beton yeterli işlenebilme kabiliyetine sahip olduğunda, betonun sertleşmesi durumunda yeterli dayanım ve dayanıklılığı göstermesi ile bağlantılıdır.

Taze betonun işlenebilirliğini etkileyen etmenler (Özkul vd., 1999);

- ✓ Çimento miktarı ve özellikleri,
- ✓ Karışım suyu miktarı,
- ✓ Agrega gradasyonu,
- ✓ İnce agrega miktarı ve tane dağılımı,
- ✓ Kullanılan agregaların şekli,
- ✓ Beton üretiminde kullanılan mineral katkılar,
- ✓ Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkılar,
- ✓ Sıcak hava koşulları ve beton karışımının sıcaklığı,

Beton kıvamı, taze betonun ıslaklık derecesi olarak tanımlanmaktadır. Kıvamı etkileyen etmenler (Erdoğan, 2010);

- ✓ Betondaki Su / Çimento oranı,
- ✓ Agrega tane yapısı ve tane boyutu dağılımı,
- ✓ Öğütülmüş malzeme kümesi (d < 0,25 mm),
- ✓ Katkı kullanımı.

2.3.1.2 Olgunluk

Olgunluk derecesi, betonun sertleşme ölçütü olan süre ve sıcaklığın değişken olarak kabul edildiği büyüklük kavramına denilmektedir. Bu kavramın tanımı yapılırken erken yaş, sonraki yaş, çevre sıcaklığı ve beton iç sıcaklık terimlerinden yararlanılmaktadır. Erken yaş terimi, beton dökümünü izleyen ilk 7 saati anlamına gelmektedir. Erken yaşta hidratasyon ısısı olgunluk derecesi üzerinde etkilidir. Sonraki yaşlarda ise çevre koşulları etkinlik kazanmıştır. Olgunluk derecesi, beton dayanımının tahmini ve betonun kalıp alma süresi hakkında bilgiler vermektedir (Topçu ve Akman, 2005).

2.3.1.3 Priz süresi

Beton üretiminde, çimento ve suyun karışımından oluşan çimento hamuru başlangıçta plastik özelliğe sahiptir. Fakat su ve çimento kendi aralarında tepkimeye girmesi sonucu hidratasyon ürünü olan bileşikler oluşmaktadır. Oluşan bu bileşikler nedeniyle beton birkaç saat içerisinde plastiklik özelliğini kaybetmekte ve sertleşmeye başlamaktadır. Bu olaya "*katılaşma (priz)"* adı verilmektedir. Çimento

hamurunun bu özelliği nedeniyle beton üretildiği andan itibaren birkaç saat içerisinde yerine dökülmeli, sıkıştırılmalı ve yüzey düzeltme işlemleri gerçekleştirilmelidir. Aksi takdirde betonda sertleşme dediğimiz olay gerçekleşecek ve betona şekil vermek neredeyse imkânsız hale gelecektir.

Betonu oluşturan malzemelerin harmanlanmaya başladığı an ile beton prizinin başladığı ana kadar geçen süreye *"priz başlama süresi"* denilmektedir. Katılaşmanın sona erdiği süre ile sertleşmenin başladığı ana kadar geçen süreye ise "priz sona erme süresi" olarak tanımlanmaktadır. Beton yapı malzemesinin priz özelliği nedeniyle üretilen betonun belli bir süre içerisinde dökümü gerçekleştirilmelidir. Taze betonun bu priz süresini etkileyen etmenler (Bostancı, 2014);

- ✓ Çevre sıcaklığı,
- ✓ Çimento tipi, miktarı
- ✓ Karışım suyu miktarı,
- ✓ Kullanılan kimyasal katkıların türü ve miktarı,
- ✓ Mineral katkının inceliği, miktarı, türü

2.3.1.4 Birim ağırlık

Birim ağırlık, taze betonun birim hacim içerisinde yer alan ağırlığına denilmektedir. Birim ağırlık değeri, taze betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine, beton içerisinde bulunan boşluk miktarına, agrega tane dağılımına, yeterli vibratasyon işleminin yapılıp yapılmadığına ve sürüklenen hava miktarına bağlıdır (Şahin vd., 2007) Taze betonun birim ağırlığı;

- ✓ Beton hacmi bilinen kaba 3 eşit kademede doldurulur.
- ✓ Her bir kademede çelik çubukla 25 şişleme işlemi yapılır.
- ✓ Beton net ağırlığı belirlenir. Bulunan ağırlık kabın hacmine bölünerek birim ağırlık bulunmaktadır (Erdoğan, 2010).

2.3.1.5 Üniformluk

Betonu oluşturan malzeme topluluğuna "*beton malzemeleri harmanı"* adı verilmektedir. Bu harmanın karıştırılmasıyla üretilen taze betona "*beton harmanı"*

denilmektedir. Üretilen beton harmanı içerisinde bulunan malzemelerin uygun dağılım göstermesi, işlenebilme, dayanım, birim ağırlık gibi özelliklerinin beton harmanının diğer bölgelerindeki beton özellikleri ile benzerlik göstermelidir. Bu benzerliğe ünifomluk adı verilmektedir. Beton harmanının üniformluğu etkileyen etmenler (Bostancı, 2014);

- ✓ Beton üretiminde kullanılan karışım mikserlerinin karıştırma paletlerinin eksik veya aşınmış olması,
- ✓ Karıştırma süresinin az olması,
- ✓ Karıştırma mikserine kapasitesinin üzerinde malzeme koyulması

2.3.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri

2.3.2.1 Basınç dayanımı

Beton yapılar farklı yüklere maruz kalmaktadır. Yükün cinsine bağlı olarak bu malzemenin çeşitli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Beton üzerine gelen yüklerin sebep olacağı şekil değiştirme ve kırılmaya karşı gösterdiği dirence *"beton dayanımı"* adı verilmektedir. *Betonun basınç dayanımı*, eksenel yük altındaki betonun taşıyabildiği maksimum gerilme değerine denilmektedir. Basınç dayanımının betonun en önemli özelliği olmasının nedenleri (Bostancı, 2014);

- ✓ Beton ve betonarme yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı baz alınmaktadır.
- ✓ Betonun basınç dayanımı ve çekme dayanımı arasında bağlantı olduğundan basınç dayanımının bilinmesi diğer dayanım büyüklükleri hakkında da bilgi vermektedir.
- ✓ Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında fikir vermektedir.

Betonun basınç dayanımını etkileyen etmenler (TS 500, 2000);

- ✓ Betondaki su/çimento oranı,
- ✓ Çimento dozajı ve özellikleri,
- ✓ Karışım suyu özellikleri,

- ✓ Agrega özellikleri,
- ✓ Betonun karma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırma işlemleri
- ✓ Betonun kompasitesi,
- ✓ Kür şartları,
- ✓ Betonun yaşı,
- ✓ Yükleme hızı

2.3.2.2 Yarmada çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin sebep olduğu şekil değiştirmeye ve kırılmaya göstereceği direnme özelliğine denilmektedir. Beton elemanları üzerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri, betonun içerisinde çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Betonun çekme dayanımı, betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak değişmektedir. Çekme dayanımı basınç dayanımının %7-17'si arasında değişmektedir (Erdoğan, 2010). Donatısız beton tasarımında betonun çekme dayanımı baz alınmaktadır (Arslan, 2006).

2.4 Beton Çeşitleri

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak beton endüstrisinde de gelişim ve gereksinimler artmıştır. Bu gelişime oranlar beton içerisindeki malzemeler ve bu malzemelerin karışımdaki oranları ve miktarları değişiklik göstermiştir. Bu farklılıklar çeşitli beton türlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Betonlar dört başlık altında sınıflandırılabilmektedirler. Bunlar;

- ✓ Birim ağırlıklarına göre betonlar,
- ✓ Basınç dayanımlarına göre betonlar,
- ✓ Üretildikleri yere göre betonlar
- ✓ Özel betonlar (Bakır, 2011; Bostancı, 2014)

2.4.1 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar

2.4.1.1 Hafif beton

Beton karışımı içerisindeki normal agrega yerine gözenekli yapıda doğal ya da yapay hafif agrega kullanımı, beton içerisinde fiziksel veya kimyasal yollarla boşluk oluşturarak veya beton içerisindeki ince agregayı çıkararak üretilen betonlara denilmektedir (Bostancı, 2014).

Hafif betonun birim hacim ağırlığı 0,70- 2,00 kg/dm^3 arasında değişmektedir (TS EN 206-1, 2002). Bu betonlar çoğu zaman atık maddeleri değerlendirilmesi ya da yapı elemanından ısı, ses ve hafiflik özelliklerinin istendiği durumlarda üretilmektedirler. Bu betonların üretiminde kullanılan agregalar genellikle bölgesel, mekanik özellikleri geleneksel betona kıyasla daha düşük ve kalıp sökme süresi daha uzundur (Serinoğlu, 2011).

Hafif beton birim ağırlıkları ve mukavemetlerine göre üçe ayrılırlar:

- ✓ ***Yalıtım betonları;*** Birim ağırlıkları 0,7– 1,4 kg/dm^3, basınç dayanımları 100 kgf/ cm^2'den küçük olan betonlardır (10 N/mm^2).
- ✓ ***Yarı taşıyıcı hafif betonlar;*** Birim ağırlıkları 1,400- 1,600 kg/dm^3, basınç dayanımları 150 kgf/cm^2 olan betonlardır (15 N/mm2)
- ✓ ***Taşıyıcı hafif betonlar;*** Birim ağırlıkları 1,850 kg/dm^3 ve basınç dayanımları 170 kgf/cm^2'den fazla olan betonlardır. (17 N/mm^2) (Serinoğlu, 2011).

2.4.1.2 Normal beton

Yaygın olarak kullanılan, normal doğal taneli agrega ile üretilen, birim ağırlığı 1 800- 2 800 kg/dm^3 arasında değişen beton türü olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206-1, 2002). Genellikle önemli bir ayrıcalık istenmeyen bina inşaatlarında kullanılan normal betonlar yoğun agrega ile üretilmekte ve maliyetinin ucuzluğu ve yüksek dayanım özelliğinden dolayı diğer yapı malzemelerine kıyasla daha fazla tercih edilmektedir. Bu betonların en büyük birim ağırlıklarının fazla olması ve kendi öz ağırlıklarını taşıyabilmeleri için fazla enerjiye ihtiyaç duymalarıdır (Bostancı, 2014).

2.4.1.3 Ağır beton

Etüv kurusu durumdaki birim hacim kütlesi, 2 800 kg/dm^3'ten daha büyük ve özellikle zararlı ışınlardan korunmak amacıyla bir perde niteliği taşıyan betonlara ağır beton denilmektedir (Bakır, 2011). Ağır beton üretiminde yoğunlukları 3 200 kg/dm^3'ün üzerinde olan barit, limonit, magnetit vb. demirli mineraller kullanılmaktadır (Bostancıoğlu, 2014). Genellikle atom santralleri ve hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümlerinde kullanılırlar (Serinoğlu, 2011).

Ağır betonlar, normal betonlara kıyasla ısıl iletkenliği ve birim kütle ağırlığı yüksektir. Bu betonların yangına karşı dayanımları ve eşit su/çimento oranı sahipken işlenebilirlikleri daha azdır (Kılıçarslan vd, 2011; Kaçar, 2006).

2.4.2 Basınç Dayanımlarına Göre Betonlar

2.4.2.1 Düşük dayanımlı betonlar

Bu betonlar basınç dayanımı 20 MPa'dan az olan betonlardır (Mehta, 2006).

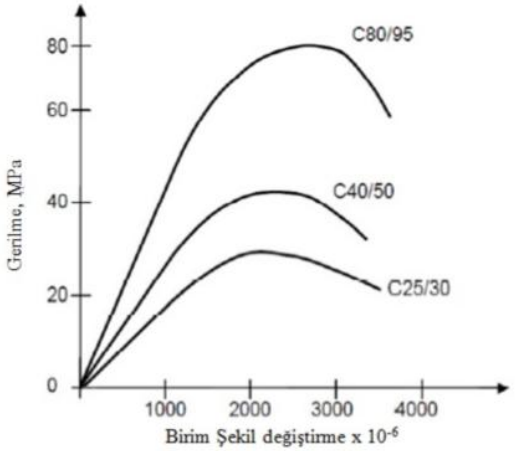
2.4.2.2 Normal dayanımlı betonlar

Basınç dayanımı 20 – 40 MPa arasında değişen betonlardır (Mehta, 2006). Bu betonların üretiminde tabii tüvenan agrega veya TS 802'de öngörülen agrega çeşitleri de kullanılmaktadır (Serinoğlu, 2011).

2.4.2.3 Yüksek dayanımlı betonlar

Basınç dayanımı 50 MPa ve üzeri olan betonlara yüksek dayanımlı beton denilmektedir (Serinoğlu, 2011). Bu betonlar yüksek kaliteli agrega ve çimento ile endüstriyel atık olan silis dumanı kullanılarak üretilmektedirler. Beton içerisindeki su/çimento oranı 0,20'ye kadar düşürülmektedir. Ayrıca yüksek işlenebilirlik ve pompalanabilirlik özelliğine sahiptirler. Dayanımı ve dayanıklılığı yüksek olan bu betonlar normal betona kıyasla farklılıklara sahiptirler. Bunlar;

- ✓ Geleneksel betonun maksimum gerilmedeki şekil değiştirmesi yüksek dayanımlı betona göre daha düşüktür.
- ✓ Geleneksel betonun şekil değiştirme kapasitesi yüksek dayanımlı betona göre daha fazladır (Şekil 2.2).
- ✓ Geleneksel betonun elastisite modülleri yüksek dayanımlı betona göre daha küçüktür.
- ✓ Geleneksel betonun kırılması yüksek dayanımlı betona göre daha sıkıdır.
- ✓ Geleneksel betonun beton maliyeti yüksek dayanımlı betona göre daha azdır.
- ✓ Geleneksel betonun kalite kontrol düzeyi ve yapım hızı yüksek dayanımlı betona göre daha düşüktür (Can vd., 2009).



Şekil 2.2 Yüksek dayanımlı ve geleneksel betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri (Bostancı, 2014)

2.4.3 Üretildikleri Yere Göre Betonlar

2.4.3.1 Şantiye betonu

Betonu oluşturan bileşenlerin şantiye alanında, yerinde karıştırılması sonucu elde edilen betonlara şantiye betonu denilmektedir (Bakır, 2011). Şantiye alanında betonyer veya tecrübeli işçiler tarafından karıştırılarak üretilebilmektedir. Öncelikle kum ve çakıl iyice harmanlanıncaya kadar karıştırılmaktadır. Ardından süzgeçli bir kova yardımıyla karışım suyu ilave edilerek homojen bir beton karışımı oluşturulmaktadır. Üretilen şantiye betonu 5 km uzaklığa kadar taşınabilmektedir (Serinoğlu, 2011).

2.4.3.2 Santral betonu

Hazır beton santrallerinde üretildikten sonra transmikser yardımıyla şantiye alanına taşınan betonlara santral betonu denilmektedir (Havva Bakır, 2011).

TSE EN 206-1' e göre hazır betonlar aşağıdaki gibi gruplandırılırlar;

- ✓ *Kıvamlarına göre betonlar;* Bu betonlar beş gruba ayrılmaktadırlar. Kıvamlarına göre çökme (slump) değerleri baz alınarak sınıflandırma yapılmıştır (Tablo 2.1).
- ✓ *En büyük agrega tane boyutuna göre betonlar*; Bu betonlar dört gruba ayrılmaktadır (Tablo 2.2)
- ✓ *Karakteristik basınç dayanımlarına göre betonlar;* Bu betonlar on altı gruba ayrılırlar (Tablo 2.3).
- ✓ *Birim ağırlıklarına göre betonlar;* Bu betonlar üç gruba ayrılmaktadırlar (Tablo 2.4).

Tablo 2.1 Kıvamlarına göre betonlar

Beton Sınıfı	**Kıvam**	**Çökme (Slump) (cm)**
S 1	Kuru	0 ≤ çökme < 5
S 2	Plastik	5 ≤ çökme < 10
S 3	Akıcı	10 ≤ çökme < 16
S 4	Çok akıcı	16 ≤ çökme < 22
S 5	Yayılan	22 ≤ çökme

Tablo 2.2 En büyük agrega tane büyüklüklerine göre betonlar

Beton Sınıfı	**En Büyük Agrega Tane Büyüklüğü (mm)**
D1 (1 no.lu)	12
D2 (2 no.lu)	22
D3 (3 no.lu)	32
D4 (4 no.lu)	64

Tablo 2.3 Karakteristik basınç dayanımlarına göre betonlar

Beton Sınıfı	**Karakteristlik Silindir Basınç Dayanımı (N/mm^2)**	**Karakteristlik Küp Basınç Dayanımı (N/mm^2)**
C14	14	16
C16	16	20
C18	18	22
C20	20	25
C25	25	30
C30	30	37
C35	35	45
C40	40	50
C45	45	55
C50	50	60
C55	55	67
C60	60	75
C70	70	85
C80	80	95
C90	90	105
C100	100	115

Tablo 2.4 Birim ağırlıklarına göre betonlar

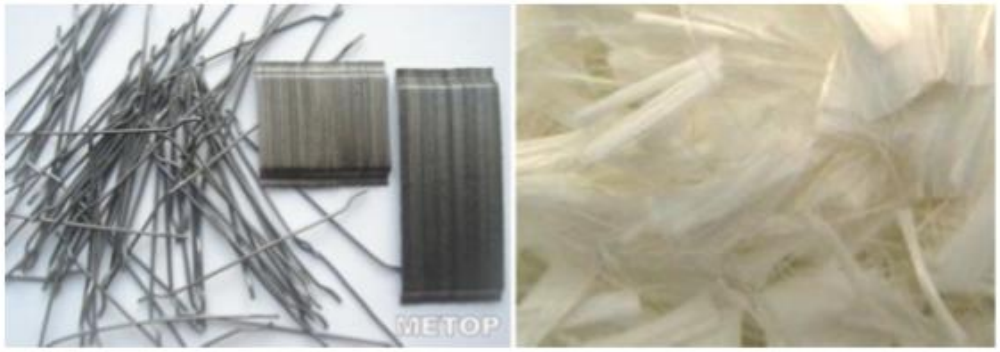
Beton Sınıfı	**Birim Ağırlık (kg/m^3)**
Hafif Beton	Birim Ağırlık ≤ 2 000
Normal Ağırlıklı Beton	2 000 < Birim Ağırlık ≤ 2 600
Ağır Beton	2 600 < Birim Ağırlık

2.4.4 Özel Betonlar

2.4.4.1 Lifli beton

Beton yapı malzemesinin özelliklerini iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine farklı tekniklerle değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla üretilen betona lifli beton denilmektedir (Şimşek, 2007). Ayrıca lifli beton, çimento, agrega ve süreksiz olarak dağılmış liflerin su ile harmanlaması sonucu elde edilen beton olarak tanımlanmaktadır (Can vd., 2009).

Lifli betonda genellikle çelik, alkali dirençli cam ve polipropilen lifler tercih edilmektedir (Şekil 2.3). Bu lifler beton içerisinde homojen bir biçimde dağılım göstermesi gerekmektedir. Bu durum betonda oluşabilecek çatlakları önlenmektedir. Ayrıca betonun çekme, eğilme, darbeye karşı dayanımını ve betonun dayanıklılığını arttırmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı lifli betonlar betonarme kazık yapımında, hava alanlarında, yol inşasında, büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında, su borularının üretiminde ve prefabrike yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Bostancı, 2014)



Şekil 2.3 Lifli beton üretiminde kullanılan lif çeşitleri (Bostancı, 2014)

2.4.4.2 Kütle beton

Çimentonun su ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan hidratasyon ısısı ve buna bağlı olarak meydana gelen hacim değişiklikleri sonucunda oluşabilecek termal çatlakların en alt seviyeye indirgenmesi amacıyla tedbir alınarak üretilen büyük boyutlu betonlara kütle beton denilmektedir (Sağlık, 2007). Büyük kalıplara dökülen kütle betonun üretiminde kullanılan agregaların en büyük tane çapı 15 cm'e kadar

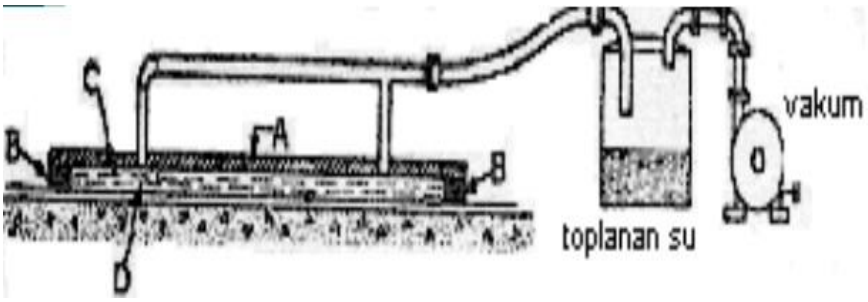
çıkabilmektedir. Sıkıştırma işleminde sıkıntı olmadığından kuru kıvamlı dökülebilmektedirler. Kütle betonu genellikle baraj, rıhtım blokları, liman, mendirek gibi büyük hacimli yapıların inşasında tercih edilmektedir (Şekil 2.4) (Bostancı, 2014).



Şekil 2.4 Kemer baraj kütle betonu (Bostancı, 2014)

2.4.4.3 Vakumlu beton

Taze betonda işlenebilirlik amacıyla kullanılan suyun denetimli bir biçimde vakum yoluyla tekrar geri alınması sonucu elde edilen betona vakumlu beton adı verilmektedir (Şimşek vd., 2005). Vakum işlemi, normal şartlarda üretilmiş, orta işlenebilirliğe sahip, yüzey alanı oldukça büyük betonlarda uygulanmaktadır. Fakat çok ince malzemelerden oluşan puzolanlı betonlarda ince taneciklerin vakum filtresini tıkayabilmesinden dolayı bu tür betonlarda vakum işlemi yapılmamaktadır.



Şekil 2.5 Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem

Vakum işlemi sonunda betonun su/çimento oranının azaltılmakta, basınç dayanımı ciddi ölçüde artmakta ve kalıp söküm süresinin kısalmasıyla zamandan tasarruf

edilmektedir (Güner, 2000). Vakumlu beton endüstriyel döşeme, havaalanı, beton yollar, ağır yüklere maruz kalan karayolu, akaryakıt istasyonu gibi uygulamalarda tercih edilmektedir (Bakır, 2011). Şekil 2.5'de vakumlu beton üretimi için hazırlanan düzenek sunulmuştur (Bostancı, 2014).

2.4.4.4 Püskürtme beton

Çimento, su ve kum karışımından oluşan harcın basınca dayanıklı lastik tada özel imal edilmiş saç borular vasıtasıyla kullanım yerine taşınan, daha önceden hazırlanmış yüzeye yüksek basınçla püskürtülen betonlara püskürtme beton denilmektedir (Çakıroğlu, 2010). Püskürtme beton kuru ve yaş yöntem olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Kuru yöntem, çimento ve agregadan oluşan karışımın hava basıncı vasıtasıyla püskürtme tabancasından çıktığı anda su ve katkı maddesiyle karışması prensibiyle çalışan yöntemdir. Yaş yöntem ise, beton karışımını oluşturan tüm malzemelerin karıştırılarak hazır haldeki betonun püskürtülmesi ile uygulanan yöntemdir. Şekil 2.6'da püskürtme beton uygulamasına görülmektedir. Püskürtme beton her tür inşaata, kavisli, kubbeli veya serbest şekilli yapı elemanlarında ve kalıp yüzeylerine kolaylıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca düşük su/çimento oranı ile yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Çakıroğlu, 2010).



Şekil 2.6 Püskürtme beton uygulaması

2.4.4.5 Ferrocement beton

Donatılı harç çeşidi olan Ferrocement, belirli aralıklarla dizilmiş demirler üzerine çok katlı kümes tellerinin bağlanması ve tüm bu donatıların harçla kaplanmasıyla

üretilmektedir. Donatı olarak kullanılan tel örgüler farklı şekil, çap ve boyutta bulunabilmektedir. Ayrıca kat sayıları isteğe göre ayarlanabilmektedir. Ferrocement beton fazla işçilik gerektirmemekle birlikte işçiliği de ucuzdur. Bu durum gelişmekte olan ülkelerde bu betonu cazip hale getirmektedir. Ferrocement beton, ev yapımında, kırsal alanlardaki enerji yapılarında, alt yapı elemanlarında, tarımsal alanlardaki yapıları ve deniz yapılarında kullanılmaktadır (Bakır, 2011).

2.4.4.6 Silindirle sıkıştırılmış beton

Hazırlanan beton karışımının damperli kamyonlarla taşınarak, buldozer ya da greyder aracılığıyla yayılan ve vibratörlü silindir ile sıkıştırılan betona silindirle sıkıştırılmış beton denilmektedir. Yol, baraj ve liman mühendisliğinde kullanılmaktadır. Bu betonlar çimento tozu düşük, yapım süresi kısa ve yüksek dayanıma sahiptirler (Şimşek, 2007). Türkiye'de ilk kez 1982 – 1983 yıllarında Karakaya Barajı yapımında kullanılmıştır (Öztürk ve Yıldız, 1998).

2.4.4.7 Kendiliğinden yerleşen beton

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile, terleme ve ayrışma gibi problemler oluşturmadan ve sıkıştırmaya gerek kalmadan döküldüğü kalıba yerleşen, kullanılan beton katkısı sayesinde dayanımı yüksek, iyi sıkışma özelliğine sahip akıcı kıvamlı bir beton çeşididir (Felekoğlu, 2003). KYB vibratasyon kullanılmadan dar kesitli, sık donatılı ve karmaşık formdaki kalıpları boşluksuz ve düzgün bir şekilde doldurma kabiliyetine sahiptir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kendiliğinden yerleşen beton

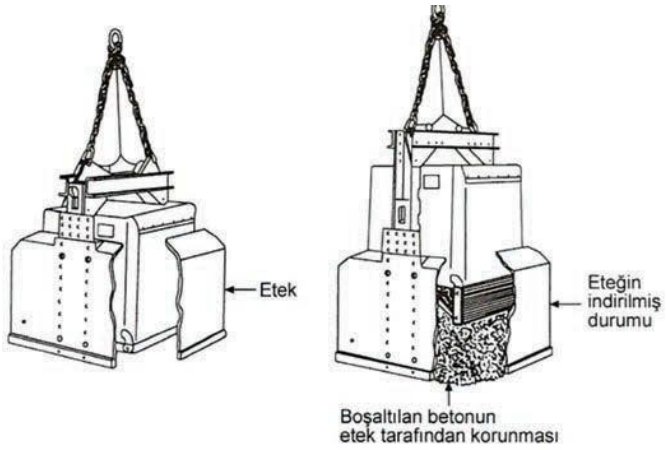
1990’lı yıllarda Japonya’da normal betonun kolay yerleştirilememe ve ayrışma gibi sorunlarına karşın çözüm olarak üretilen KYB, Türkiye’de ise 2000'li yıllarda kullanımına başlanmıştır (Bostancı, 2014).

KYB tasarımında üç yöntem uygulanmaktadır. Bunlar;

- ✓ Bileşimde kullanılan çimentonun inceliği ve daha ince olan malzeme miktarının artırılması,
- ✓ Nişasta, doğal polimerler, sodyum alginat, polivinil alkol ve polietilen, sentetik polimerler gibi viskozite artırıcı katkılar kullanılması,
- ✓ İki yöntemin karma olarak uygulanması (Özkul, 2013).

2.4.4.8 Sualtı betonu

Su altında bulunan ve beton dökümü zor olan köprü ayaklarında, bazı açık deniz yapıların inşaatında ve liman yapılarında kullanılan özel betona sualtı betonu denir. Sualtı betonunda dağıtım metodu olarak farklı teknikler uygulanmaktadır. Bu tekniklerden biri küçük ebatlı onarım işlerinde kullanılan taşıma sistemi tekniğidir. Sualtı betonu kapalı kova ya da çuval içerisinde dökümün yapılacağı bölgeye taşınmakta, dalgıç aracılığıyla aderans sağlanacak biçimde yerleştirilmektedir (Şekil 2.8) (Bostancı, 2014).



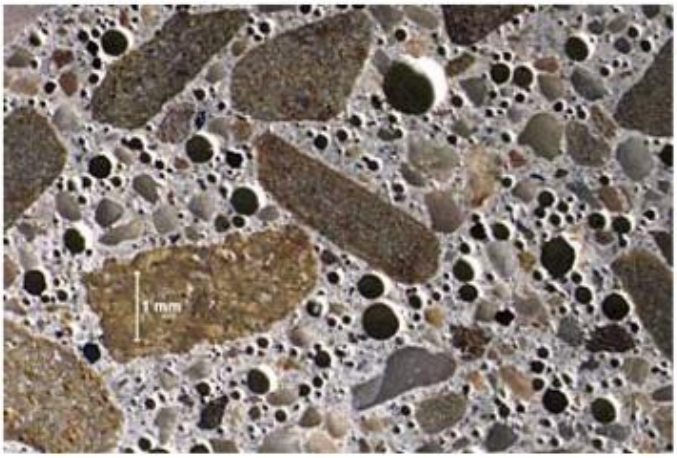
Şekil 2.8 Sualtı betonunun kapalı kova yöntemi ile dökümü (Özturan, 2013)

Yaygın bir şekilde kullanılan diğer bir yöntem ise tremi yöntemidir. Tremi yönteminde su içerisinde bulunan derin ve dar kalıplara veya direkt olarak sualtı zeminine, üst ucu huni formunda bir borudan taze betonun taşınmasıyla

gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde taze betonun huniyi tıkamamasına özen gösterilmemelidir (Özturan, 2013).

2.4.4.9 Hava sürüklenmiş beton

Çimento hamuru içinde birbirlerine çok yakın mesafelerle dağılım göstermesine rağmen aralarında herhangi bir bağlantı bulunmayan çok sayıda hava kabarcığı bulunan betonlara hava sürüklenmiş beton denilmektedir. Bu betonlar soğuk hava şartlarına dayanabilmeleri amacıyla üretilmişlerdir. Hava sürüklenmiş beton soğuk iklim bölgelerindeki betonların en çok maruz kaldığı buz çözücü tuzlar ve donma-çözülmenin etkilerine dayanıklılık göstermektedirler. Bu betonlarda bulunan hava sürüklenmesi taze betonda işlenebilmeyi arttırırken, terleme ve ayrışmayı da azaltma özelliğine sahiptir. İçyapısı Şekil 2.9' da görülen hava sürüklenmiş betonlarda, hayvansal ve bitkisel yağ asitlerinin tuzları, sülfatlı organik bileşenlerin alkali tuzları ve ağaç reçinelerinin alkali tuzları gibi hava sürükleyici katkı olarak kullanılmaktadır (Koç, 2012).



Şekil 2.9 Hava sürüklenmiş betonun iç yapısı

2.5 Hafif Beton

Hafif beton; etüv kurusu haldeki birim ağırlığı 800- 2 000 kg/dm^3 olan betonlara denilmektedir (Anonim, 1997). Hafif betonların birim ağırlıkları 1 840 kg/m^3'ü geçmemektedir. 28 günlük silindir basınç dayanımı ise 17 MPa'nın üzerindedir (Demirboğa, 1999). Modern yapı uygulamalarının çoğunda, ekonomik ve hafif yapılar oluşturmak amacıyla hafif betonlar kullanılmaktadır. Hafif betonların

bünyelerinde bulunan boşluklar vasıtasıyla ısıl iletkenlik katsayısı geleneksel betona göre yaklaşık 10 kat daha azdır. Bu betonlar binalarda ilave yük getirmemesi ve taşıyıcılık kabiliyeti istenmeyen yerlerde dolgu malzemesi şeklinde değerlendirilirler.

Son zamanlarda kullanım oranı hızla artan hafif beton çevresel, teknik ve ekonomik üstünlüklerinden dolayı yapılar için fonksiyonel bir yapı malzemesi olmuştur (Haque vd., 2004). Hafif beton yapı inşasında kullanılması durumunda yapı yükünün azaltılmasını ve ses ve ısı yalıtımı özelliği sağlayacaktır. Böylece malzeme açısından ekonomik fayda sağlayacaktır (Şişman vd., 2008).

Hafif beton üretiminin farklı yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en yaygın kullanım yöntem ise hafif beton üretiminde birim ağırlıkları düşük agregalar kullanmaktır.

Normal betonun birim ağırlığının azaltılması ile yapı ya da yapı elemanının ağırlığı azaltılarak, yapıya ekonomi ve emniyet üstünlüklerini sağlamaktadır (Subaşı, 2009). Hafif beton üretiminde kullanılan hafif malzemeler, yapı yükünü azaltacağı için yapının kendi ağırlığıyla ezilmemektedir. Ayrıca hafif beton boşluklu bir yapı malzemesi olduğu için yapıya etki eden yatay ve düşey etkilerde malzeme bu etkileri emmekte ve depremin yıkıcı zararları en aza indirgemektedir (Azizi, 2007).

Günümüzde tarımsal yapıların üretiminde birim ağırlığı yüksek olan inşaat malzemeleri yerine hafif yapı malzemeleri kullanılması ivme kazanmıştır. Dünya çapında incelendiğinde yapı inşasında hafif malzemelerin kullanımı genellikle gelişmiş ülkelerde olduğu görülmektedir (Karaman, 2007).

Hafif betonlar birim ağırlıkları ve basınç dayanımlarına göre gruplandırılmaktadırlar. Bu betonlar;

- ✓ *Yalıtım betonu:* Birim ağırlığı 0,2-0,6 kg/dm^3 ve basınç dayanımı 0,2-2,5 MPa olan hafif betonlara denilmektedir.
- ✓ *Hem yalıtım amaçlı hem de taşıyıcı amaçlı hafif beton:* Birim ağırlığı 0,6-1,2 kg/dm^3 ve basınç dayanımı 2,5-10 MPa olan hafif betonlara denilmektedir.
- ✓ *Taşıyıcı hafif beton*: Birim ağırlığı 1,2-2,0 kg/dm^3 ve basınç dayanımı 15-60 MPa olan hafif betonlara denilmektedir (Topçu, 2006).

2.5.1 Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Agregalar

Hafif agregalar, elde edildikleri malzemenin kaynağına ve malzeme birim ağırlıkları baz alınarak aşağıdaki gibi gruplandırılmaktadırlar.

Elde ediliş biçimlerine göre hafif agregalar dört ana grupta sıralanabilmektedir:

- ✓ *Doğal hafif agregalar:* Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi malzemeler,
- ✓ *Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar:* Genleştirilmiş kil, zeolit, genleştirilmiş şist, vermikulit, genleştirilmiş arduvaz ve strofor gibi polimer bazlı malzemeler,
- ✓ *Endüstriyel atıklardan üretilen hafif agregalar:* Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi malzemeler,
- ✓ *Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar:* Kızdırılmış uçucu kül ve genleştirilmiş yüksek fırın cürufu gibi malzemeler

2.5.1.1 Doğal hafif agregalar

A. Pomza

Hafif beton üretiminde kullanılan en yaygın hafif agrega pomzadır. Pomza, silikat esaslı camsı ve boşluklu bir bünyesi bulunan, volkanik kökenli, yüksek puzolanik aktiviteye sahip hafif bir madendir. Türkiye sanayisine son 20 yılda girmesine rağmen, dünyada kullanım geçmişi daha eskiye dayanmaktadır (DPT, 2001).

Türkçe ’de pomza, ponza, pomza taşı, nasır taşı, hışır taşı, köpük taşı, küvek, kisir, sünger taşı, gibi isimlerle bilinmektedir. İtalyanca bir sözcük olan pomza, Fransızca’da ponce, İngilizce’de kaba boyutlu pomzaya pumice, ince boyutlu pomzaya ise pumicite denilmektedir. Ayrıca Almanca ’da kaba ebatlı pomzaya bimstein, ince ebatlı pomzaya bims adı verilmektedir (Davraz vd., 1997).

Volkanik aktiviteler neticesinde bazaltik ve asidik pomza olmak üzere iki çeşit pomza oluşumu gerçekleşmiştir. Bazik pomza, scoria ya da bazaltik pomza olarak adlandırılmıştır. Bu pomza kahverengimsi, koyu renkli ve siyahımsı renklerde bulunurken en yaygın kullanım alanına sahip olan asidik pomza kirli beyaz veya

grimsi beyaz renkte bulunmaktadır (Şekil 2.10). Asidik pomza bünyesinde yüksek oranda silis bulundurması nedeniyle inşaat sanayinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bazik karakterli pomza ise bünyesinde yüksek oranda bulunan magnezyum, demir, alüminyum ve kalsiyum bileşenleri sebebiyle gübre ve tarım sanayinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Sar, 2013).



Şekil 2.10 Asidik ve Bazik pomza örnekleri (Uygunoğlu, 2008)

A.1. Pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Pomza malzemesi, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı, gözenekli ve camsı bir yapıya sahiptir. Bünyesinde bulunan ve birbiriyle bağlantısız olan boşluklar sayesinde hafif ve suda uzun süre yüzebilen bir malzemedir (Rilem, 2008).

Tablo 2.5 Pomzaya ait fiziksel özellik ve kimyasal bileşim oranları

Fiziksel Özellik	Gözenek hacmi	En fazla %85
	Sertliği	5-6 Mohs
	Permabilite	Düşük
	Isı ve ses izolasyonu	Yüksek
Kimyasal Bileşim Oranları	Si	%75
	SiO_2	% 60–75
	Fe_2O_3	% 1–3
	Al_2O_3	% 13– 17
	Na2O - K2O	% 7–8
	CaO	% 1–2
	TiO_2 ve SO_3	Az miktarda

Tablo 2.5'de pomzaya ait fiziksel özellik ve kimyasal bileşim oranları sunulmuştur (Gündüz ve Hüseyin, 2001).

A.2. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza malzemesi başta inşaat sektörü olmak üzere birçok alanda geniş kullanım kitlesine sahiptir. Pomzanın kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır;

İnşaat endüstrisinde;

- ✓ Hafif yapı elemanı ve beton üretiminde,
- ✓ Taşıyıcı olmayan veya yarı taşıyıcı yapı elemanı üretiminde,
- ✓ Prefabrik yapı elemanı üretiminde,
- ✓ Döşeme dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Ses emme ve ısı yalıtım amacıyla duvar blok üretiminde,
- ✓ İçerisindeki Al_2O_3 bileşimi sayesinde yüksek sıcaklık ve yangın engelleyici olarak
- ✓ Harç ve hazır sıva üretiminde,
- ✓ Asfalt üretiminde katkı malzemesi olarak,
- ✓ Karayollarında buzlanmayı kontrol altına almada,
- ✓ Çimento üretiminde silis içeriğinden dolayı hammadde olarak,
- ✓ Çatı ve dekoratif kaplama elemanı üretiminde kullanılmaktadır (Elmastaş, 2012; Ceylan, 2019).

Tekstil sektöründe;

- ✓ Kot kumaşların taşlanması ve reaksiyon verme işlemlerinde kullanılmaktadır.

Tarımda sektöründe;

- ✓ Toprak ıslahında, topraksız ortamlarda veya suyun az olduğu tarım alanlarında bitki yetiştirilmesi amacıyla,
- ✓ Toz halinde kullanılacak olan tarım ilaçlarının taşınmasında,

Kimya ve diğer sektörlerde,

- ✓ İzolatif duvar boyası, motifli boya, astar macunu, pürüzlü kaplama ve vernik dolgusu olarak
- ✓ Kâğıt ve plastik sektöründe,

- ✓ Seramik sanayinde üretilen seramiklerin ısı yalıtım özelliğini arttırmada,
- ✓ Gübre üretiminde katkı malzemesi olarak,
- ✓ Ağır ve kirli ortamlarda yağ gibi akışkanları absorbe edici malzeme olarak,
- ✓ Tavuk çiftliklerinde taban malzemesi olarak,
- ✓ Oto lastiklerinde kaymayı önlemek için,
- ✓ Süs eşyalarının cilalanmasında parlatıcı olarak,
- ✓ Atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Gündüz vd, 1998; Ceylan, 2005; Bilgiç, 2009; Yılmaz, 2017).

B. Zeolit

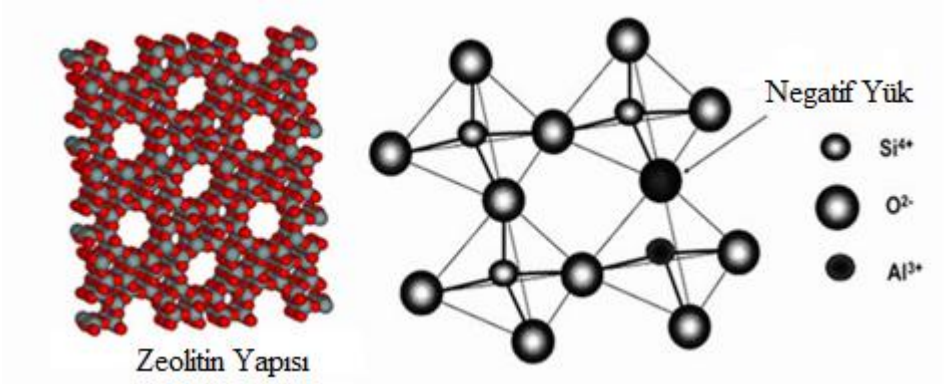
Zeolit ısıtıldığında yapısında bulunan suyun serbest kalarak kaynıyor gibi gözükmesinden dolayı Yunanca "kaynayan" anlamına gelen "zeo" ve "taş" anlamına gelen "lithos" un birleşmesi sonucu "zeolit" adını almıştır (Gottardi ve Galli, 1985; Davis, 1991).



Şekil 2.11. Doğal zeolit

Zeolitler, üç boyutlu ağ örgüsüne sahip, alkali ve toprak alkali katyonları ihtiva eden ve su moleküllerinin bulunduğu gözenekler içeren, volkanik kökenli sulu alümina silikatlardır (Şekil 2.11, Şekil 2.12) (Sarıkaya, 2006; Gizlenci, 2018). Birbirlerine kanallar ile bağlı sert ve bal peteği gibi üç boyutlu bir kristal yapıları sahip zeolitler sudan etkilenmemektedir. Sular bu kanallar arasında serbestçe hareket etmektedir. Kristal yapıdaki bu kanallar ve gözenekler zeolite "moleküler elek" özelliğini kazandırmaktadır (Yılmaz, 2018).

Dünya üzerinde 50 adet doğal 150 ye yakın yapay zeolit çeşidi bulunmaktadır. Doğal zeolitlerin en çok kullanılanları klinoptilolit, ferrerit, analsim, şabazittir. En çok tercih edilen doğal zeolit ise klinoptilolittir (Gülen vd., 2012; Jha ve Singh, 2016).



Şekil 2.12. Doğal zeolitin moleküler yapısı (Yılmaz, 2018)

Yapay zeolitler yaygın bir şekilde kimya endüstrisinde katalizör, adsorban ve iyon değiştirici olarak kullanılmaktadır. Ekonomik açıdan gerek kullanım gerekse üretim yönünden en önemli yapay zeolitler A, X ve Y tipi zeolitlerdir (Gizlenci, 2018).

Ticari kullanıma sahip zeolit türleri ve özellikleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir (Kabadayı, 2018).

Tablo 2.6 Endüstriyel kullanımı olan zeolit türleri ve özellikleri (Kabadayı, 2018)

Zeolit Türleri		**Gözenek Boyutu (A^o)**	**SiO_2/Al_2O_3 Mol Oranı**
Doğal Zeolitler	Mondenit	(6,7x7,0)	8,2-10
	Şabazit	(3,6x3,7)	3,2-6,0
	Eriyonit	(3,6x5,2)	5,8-7,4
	Klinoptilolit	(4,4x7,2) (4,1x4,7)	8,5-10,5
Yapay Zeolitler	KA	3	2,0
	NaA	4	2,0
	CaA	5	2,0
	X	7,4	…..
	Y	7,4	…..
	ZSM	(5,4x5,6)	30

Endüstriyel kullanım açısından doğal zeolitler yapay zeolitler kadar gelişmemiştir (Gizlenci, 2018). Buna rağmen çevre kirliliğinin kontrolünde, (Davraz ve Gündüz, 2005).

Çevre kirliliğinin kontrolünde;

- ✓ Cs, Sr, Rb ve Co gibi radyoaktif maddelerin arındırılmasında
- ✓ Atık sularda bulunan metal iyonları, azot bileşikleri ve boyaların arındırılmasında
- ✓ CO, SO_2 ve CO_2 gibi baca gazlarının arındırılmasında
- ✓ Petrol sızıntılarının ve N, S gibi çevreye zararlı elementlerin arındırılmasında
- ✓ Oksijen üretiminde
- ✓ Çöp depolama alanlarında (Kabadayı, 2018)

Enerji sektöründe;

- ✓ Nükleer, güneş, kömür ve petrol gibi kaynakların enerjiye dönüştürülmesinde
- ✓ Kömür Ocaklarında
- ✓ Doğal gazlardan CO_2'in arındırılmasında
- ✓ Isıyı absorbe etme özelliğinden dolayı güneş enerjisi sistemlerinde
- ✓ Petrol rafinasyon alanlarında (Bekkum vd., 2001)

Tarım ve hayvancılık sektörlerinde;

- ✓ Gübre katkısı ve toprağın hazırlanmasında
- ✓ Tarımla mücadele için ilaç kullanımında
- ✓ Toprak kirliliğinin önlenmesinde
- ✓ Büyük ve küçük baş hayvanların besinlerine katkı olarak kullanımında
- ✓ Gübrelerin yaydığı rahatsız edici kokuların gideriminde
- ✓ Toprağın kontrolünde ve pH' ının ayarlanmasında (Bhagwanjeejha, 2016)

Maden ve metalurji sektöründe;

- ✓ Madencilik ve metalurjik faaliyetlerinden ortaya çıkan çevre sağlığına zararlı atık suların arıtılmasında
- ✓ Pirometalurji sanayinde $CaCO_3$ ve doğal zeolit karışımı CuPb alaşımlarının eritilmesinde ortaya çıkan zararlı dumanların yok edilmesinde

- ✓ Madenlerin aranması ve metallerin giderimi aşamalarında
- ✓ Maden yatakları tespitinde metalurjik işlemler sonrasında atılan suların arındırılmasında kullanılmaktadır (Kabadayı, 2018; Yılmaz, 2018).

İnşaat sektöründe;

- ✓ Puzolanik madde olarak özellikler sulu alt yapılarda kullanılacak çimentolarda
- ✓ Yüksek aşınma dayanımları sayesinde genleştirilmiş hafif agrega üretiminde
- ✓ Zeolitik tüfler yüksek gözenekli, homojen, düşük ağırlıklı yapılarıyla kolayca kesilebilerek boyutlandırılmış yapı taşı olarak kullanımında (Yılmaz, 2018)

Diğer kullanım alanları;

- ✓ Kâğıt endüstrisinde
- ✓ Tıp sektöründe antioksidan ve sindirim pH dengelenmesinde
- ✓ Diş parlatıcı ek maddesi olarak,
- ✓ Temizlik sektöründe (Bekkum, 2001)

C. Perlit

Perlit, "perlstein" kelimesinden türetilen ve inci taşı olarak da adlandırılan yapı malzemesidir (Neufert 1983). Asidik yapıda bulunan püskürük camsı volkanik kayaçlardır (MTA, 1985; TS 3681, 1982). Perlit; yüksek SiO_2 oranına sahip, yüksek sıcaklıklara ani olarak çıkarıldığında boşluklu ve bu boşluklar sayesinde birim ağırlığı düşük, hafif bir malzeme olmaktadır (Orhun, 1969; Kuzvart, 1984). Genellikle bünyesinde %70-75 oranında SiO_2, %12-20 oranında Al_2O_3 ve çok az miktarda değişik mineral bileşikler bulundurmaktadır (Khanjarkhanı, 2014).

Perlitin tarihçesi incelendiğinde;

- ✓ İlk olarak 1941 yılında Amerika'nın Arizona eyaletinde keşfedilmiştir.
- ✓ İkinci dünya savaşı nedeniyle incelemelere ara verilmiştir. (Barnes, 1962).
- ✓ 1947 yılından itibaren araştırmalar hızlanmıştır.
- ✓ Türkiye'de 1960'lı yıllarda ilk perlit üretimi ve ihracatı yapılmıştır (İzdar, 1975).

- ✓ 1967 yılında Resmî Gazete'de yayımlanarak maden kanununa dahil edilmiştir (Tiber, 2011).

Perlit kayaçlarının renkleri ve yapıları birbirine benzememesinden dolayı çıplak gözle tanımak mümkün değildir (DPT, 2001; Aker, 2011; DPT, 2004). Ham perlitin; saydam, açık gri ve parlak siyah arasında değişen bir renk skalası bulunmaktadır (Sağsöz, 2007). Yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan genleşmiş perlit beyaz renge sahiptir (Çok vd., 2003). Ham perlitin en önemli özelliği yapısında %2 ile %6 oranında su bulundurmasıdır (Breese ve Barker, 1994; Kantarcı ve Türkmen, 2005).

Dünya da bulunan perlit yataklarının çoğu ülkemiz sınırları içerisinde bulunmaktadır. Buna rağmen ülkemizde perlit konusunda fazla çalışma ve incelemeler bulunmamaktadır (Tiber, 2011). Perlit başta inşaat sektörü olmak üzere birçok sektörde de aktif bir şekilde kullanılmaktadır (DPT, 2001).

İnşaat Sektörü;

- ✓ Çatı ve zemin yalıtımlarında, yalıtım malzemesi olarak,
- ✓ Perlitli sıva üretiminde,
- ✓ Hafif yalıtım betonu üretiminde agrega olarak,
- ✓ Tavan kiremitleri gibi hafif yapı elemanları üretiminde,
- ✓ Gevşek dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Yüzey döşemelerinde ses ve ısı yalıtıcı olarak,
- ✓ Özel amaçlı perlit betonları üretiminde,

Tarım Sektörü;

- ✓ Tarla, bağ, bahçe tarımı ve seracılıkta,
- ✓ Çimli spor sahalarında,

Sanayi Sektörü;

- ✓ Gıda sanayinde;
    - Meyve sularını süzme işleminde,
    - Bitkisel yemeklik yağların süzme işleminde,
    - Şeker ve mısır şerbeti süzme işleminde,
    - Bira, likör ve şarap gibi alkollü içeceklerin süzme işleminde,

- ✓ Kimya ve ilaç sanayinde;
    - Boyaların süzme işlemlerinde,
    - Kâğıt sanayinde beyaz su filtrasyonu olarak,
    - Antibiyotiklerin süzme işleminde,
    - Sitrik asitin süzme işleminde,
    - Soda külü eriyikleri ve sülfürik asitin filtrasyonu işlemlerinde,
    - Uranyum şerbeti filtrasyonu işleminde,
    - Fosforik asitin süzme işlemlerinde,
    - İçme ve yüzme havuzlarının suyunu süzme işlemlerinde,
    - Atık suların temizlenme ve süzme işlemlerinde
    - Makina yağı süzme işlemlerinde,
- ✓ İlaç ve kimya sanayiinde dolgu maddesi olarak,
- ✓ Çeşitli ilaç türlerinde,
- ✓ Haşerelerle mücadele için kullanılan ilaçlarda,
- ✓ Temizleyici tozlarda,
- ✓ Gübre üretiminde,
- ✓ Dinamit gibi patlayıcıların üretiminde,
- ✓ Kozmetik sanayinde,
- ✓ Sanayide ısı yalıtım malzemesi olarak,
- ✓ Soğuk hava depolarının yalıtımında,
- ✓ Sıvılaştırılmış gaz tanklarının ısı yalıtım işlemlerinde,
    - Sıvılaştırılmış petrol gazları (LPG) ve sıvılaştırılmış doğal gazlarda (LNG),
    - Sıvı oksijen, sıvı azot ve amonyak üretiminde,
    - Sıvı propan, metan ve etan üretiminde,
- ✓ Seramik ve cam sanayinde katkı maddesi olarak,
- ✓ Metalurji sanayinde,
- ✓ Döküm kumuna katkı maddesi olarak,
- ✓ Dökümcülükte metalurjik flaks işlemlerinde
- ✓ Demir-Çelik sanayinde ergimiş metalin cüruf kontrolünde ve potada ergimiş metalin korunmasında koruyucu olarak,
- ✓ Dövmede veya haddeye giden sıcak metal ingotların ısı kayıplarını önlemede,

- ✓ Yalıtıcı refrakter üretiminde;
    - Seramik bağlayıcılı refrakter tuğla üretiminde
    - Alüminyum fosfat bağlayıcılı perlit refrakter tuğla veya beton üretiminde
    - Perlitli refrakter harç üretiminde,

Diğer Alanlardaki Uygulamalar;

- ✓ Petrol, su ve jeotermal sondaj işlemlerinde
- ✓ Gemi diplerini kaplama ve yalıtımında kullanılan kalafat macunu üretiminde,
- ✓ Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklarından kaynaklanan su kirliliğini önlemede,
- ✓ Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarda buharlaşmayla su kaybını önleyici olarak,
- ✓ Ambalajlamada dolgu malzemesi olarak,
- ✓ Plastik köpük ve plakalara dolgu ve katkı malzemesi olarak,
- ✓ Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi olarak,
- ✓ Yangına karşı özellikle çelik kontrüksiyonlarda yalıtım katmanı olarak.

D. Genleştirilmiş kil (Leca)

Genleştirilmiş kil elde edilirken, ilk olarak saf kil ve su karıştırılarak bir hamur elde edilmektedir. Daha sonra elde edilen bu hamur özel bir düzenekle döner fırına gönderilir. Bu gönderme işlemi sırasında hamur taneli bir yapıya dönüşmektedir. Fırında 1 100 ^{0}C ve 1 200^{0}C de sinterleşen bu hamur camsı bir yapıya sahip olmaktadır. Üretilen genleştirilmiş kil agregalarının birim ağırlıkları 350 ile 950 kg/m^3'dür. Genleştirilmiş kilin tarihçesi incelendiğinde;

- ✓ İlk olarak 1920 yılında, Kuzey Amerika'da kurulan fabrikalarda genleştirilmiş shale agregaları üretilmiştir.
- ✓ 1952'de kil, genleştirilmiş shale ve slate agregalarının araştırılması amacıyla enstitüler açılmıştır.
- ✓ İlk kil agregası, 1935 ile 1939 yılları arasında Almanya'da Hayde'sın patenti ile üretilmiştir.

- ✓ 1970'li yıllarda, İngiltere'de, hafif beton üretimi amacıyla hafif agrega seçimi yapılmıştır (Kayali ve Zhu, 2004).

2.5.1.2 Endüstriyel atıklardan üretilen hafif agrega

A. Yüksek Fırın Cürufu

Doğada, hematit, siderit, limonit, magnetit gibi demir cevherleri, demir oksit şeklinde yer almaktadır (Yılmaz, 2014). Demir cevherleri bünyesinde çok az miktarda silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan gibi yabancı maddeler içermektedir (Eren, 2018). Cevher bünyesinde bulunan demirin ayrıştırılması için, cevherin içerdiği yabancı maddelerden ve demir oksidin içerisindeki oksijende ayrıştırılması gerekmektedir (Görür, 2007). Demir elde etmek için demir cevherleri yüksek fırınlarda, 1 400 ^{0}C-1 600 ^{0}C sıcaklıklarda ısıtılıp, erime işlemi yapılmaktadır (Erdoğan, 2003). Demir cevherinin ayrıştırma işleminde yüksek fırınlarda yakıt olarak kok kömürü (karbon) kullanılmaktadır (Öz, 2006). Ayrıştırma işlemine fayda sağlaması amacıyla kalker taşı demir cevheriyle birlikte yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmaktadır. Yüksek sıcaklığın ulaşan kok kömürünün karbonu ve demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve karbon dioksit gazları oluşturmaktadırlar. Oluşan bu gazlar fırını terk etmektedirler (Dinçer, 2013). Bu işlem sonunda fırınlarda eriyik durumda demir kalmaktadır. Ayrıca eriyik durumda olan CaO, SiO_2, Al_2O_3, MgO, MnO, S gibi yabancı maddeler topluluğu da fırın içinde bulunmaktadır. Elde edilen bu yabancı maddeler topluluğuna *yüksek fırın cürufu* denilmektedir (Yılmaz, 2018). Demirin birim hacim ağırlığı, cürufunkinden daha yüksek olduğu için, eriyik durumdaki demir, fırının en alt bölümünde toplanmaktadır. Cüruf ise demirin hemen üzerinde bulunmaktadır (Bilgen vd. 2010). İşlemlerin ardından eriyik durumdaki demir ve cüruf, fırının alt ucunda bulunan ayrı ayrı çıkışlarla dışarı atılmaktadır. (Sürül, 2015). Elde edilen yüksek fırın cürufu ekonomik bir değeri sahiptir. 1 000 kg çelik üretiminden yaklaşık 300 kg cüruf meydana gelmektedir. Üretilen cürufun tamamına yakın kısmı inşaat sektörü başta olmak üzere farklı sektörlerde kullanılmaktadır (Ilıcalı 1998; Tokyay ve Erdoğdu, 2002).

Yüksek fırından atık olarak dışarı bırakılan eriyik haldeki cüruf yaklaşık 1 500 ^{o}C sıcaklıkta olduğundan herhangi bir amaçla kullanılması mümkün olmamaktadır. Ancak soğutulması durumunda kullanımı mümkün hale gelmektedir (Bilim, 2006).

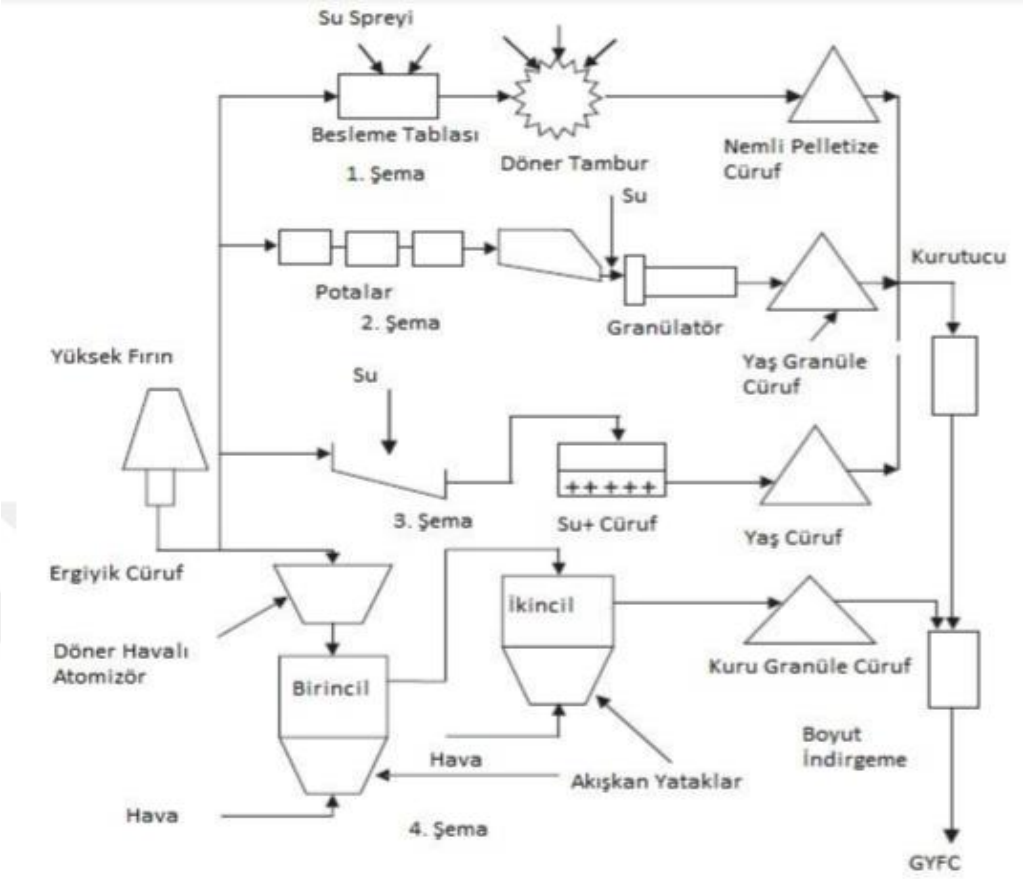
Eriyik halde bulunan yüksek fırın cürüfu iki şekilde soğuma işlemine tabi tutulmaktadır.

1- *Normal hava şartlarında,* kendiliğinden soğumaya bırakılarak yavaş yavaş soğutulan cüruflardır. Havada soğutulmuş yüksek fırın cürufu olarak adlandırılırlar. Bu cüruflar kristal bir yapıya sahiptirler. Bağlayıcı özellikleri bulunmamaktadırlar. Beton agregası ya da yol dolgu malzemesi olarak kullanılabilmektedirler (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

2- *Su içerisine dökülerek veya basınçlı su püskürtülerek ani soğutulan cürüflar*, "granüle yüksek fırın cürufu" olarak adlandırılır (Erdoğan, 2003; Öz, 2006). Ani soğumaya maruz kalan bu cüruflar, irili ufaklı kum taneleri boyutuna gelmektedir. Büyük oranda amorf bir yapıya sahiptirler. Hidrolik bağlayıcı özelliğine sahip granüle yüksek fırın cürufunun hidratasyon hızı düşüktür (Tokyay ve Erdoğdu 1998).

Öğütülerek çok ince taneli boyuta getirilen granüle yüksek fırın cürufu, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Granüle yüksek fırın cürufu betonda mineral katkı olarak kullanılması durumunda, terlemeyi ve hidratasyon ısısını azaltmaktadır. Taze betonda işlenebilirliği artırmakta, daha az su absorbe etmekte, terlemeyi azaltmakta ve priz süresini uzatmaktadır (Neville, 1999). Sertleşmiş betonda ise su geçirimliliğini azaltmakta ve sülfat dayanıklılığını artırmaktadır. Bu yüzden soğuk havalarda dökülen betonun daha geç priz almasına neden olmaktadır. Böylece betonda hava sürükleyici katkı maddeleri kullanımı gereksinimi doğuracaktır. (Topçu, 2006). Ayrıca granüle yüksek fırın cüruflarının kırılmasıyla hafif agrega elde edilmekte ve bu agregalar hafif beton yapımında kullanılmaktadır (Öner, 2001). Yüksek fırın cürufu üretimi Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Demir cevherleri doğada esas olarak içerdikleri demir oksit bileşimlerinin yanı sıra silis, alümin, kükürt, fosfor ve mangan gibi bazı elementleri de bünyesinde bulundurmaktadır. (Erdoğan, 2003). Çalışma kapsamında kullanılacak olan Karabük Demir Çelik Fabrikası atığı olan Yüksek fırın cürufunun Kimyasal bileşimi Tablo 2.7' de verilmiştir.



Şekil 2. 13 Cüruf granülasyon şemaları (Bapat, 2013)

Tablo 2.7 YFC kimyasal analizi (Gürfidan, 2006)

Kimyasal Bileşim	**%**
SiO_2	38,45
CaO	33,50
Al_2O_3	13,64
MgO	8,58
MnO	1,40
S	0,76
Fe	0,59
K_2O	1,42
Na_2O	0,24
TiO_2	0,46
Yüksek Fırın Cürufunun Özgül Ağırlığı	2,89 gr/cm^3

Normal hava şartlarında soğumaya bırakılan cürufun granülometrisi çok düzensizdir. Fakat eleme ve kırma işlemleri sonunda istenilen granülometri elde edilmektedir. Yüksek fırın cürufu kırılıp elendiğinde fiziksel özellik açısından, diğer agregalara nazaran özel avantajlar sağlamaktadır. Kil ve silt içermemesi nedeniyle, iyi bir sürtünme özelliğine ve pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Bu özelliği ile iyi bir adhezyon özelliği kazanmaktadır (Bilgen vd. 2010).

Yüksek fırın cürufları;

- ✓ Tarihte ilk olarak 1589 yılında top güllesi olarak kullanılmaktadır.
- ✓ Roma imparatorluğu döneminde yapılan yapılarda cürufların kullanıldığını gösteren kayıtlar bulunmaktadır.
- ✓ İngiltere'de, 1800 yılların başında ilk modern yolların yapımında cüruflar kullanılmıştır.
- ✓ 1880 yılında Avrupa ve Amerika yol kaplamalarında cüruf kullanmıştır (Grubesa, 2016).
- ✓ Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun hidrolik özellikleri ilk olarak 1872 yılında Lansen tarafından keşfedilmiştir (Motz, 2002).
- ✓ Almanya 1909 yılında ilk cüruf standardını yayınlanmıştır (Padovani ve Corcoran, 2004).
- ✓ Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olma özelliği ilk kez 1862 yılında Almaya'da Emil Langen tarafından bulunmuştur.
- ✓ Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun beton katkı maddesi olarak kullanılması, Güney Afrika'da, 1947–1953 yılları arasında yapılan araştırmalardan sonra başlamıştır. (Öner, 2001).
- ✓ Türkiye'de cürufun öğütülerek beton katkı malzemesi olarak kullanılması, 2000 yıllarında ve çok az miktarda kullanılmasıyla başlamıştır (Erdoğan, 2003).

Yüksek fırın cürufu doğrudan ve öğütülmüş olarak iki farklı şekilde kullanılmaktadırlar.

- ✓ *Doğrudan kullanım alanları;* Beton agregası, hafif beton, hafif dolgu malzemesi, yalıtım malzemesi üretimi (Görür, 2007).
- ✓ *Öğütülmüş olarak kullanım alanları;* Çimento yapımı, beton agregası, cam sanayi, harç enjeksiyonu, zemin stabilizasyonu (Yılmaz, 2014)

Ayrıca yüksek fırın cüruflarının demiryolu balastı, briket ve tuğla yapımı, prefabrik eleman ve blokların yapımı, asfalt agregası, dolgu malzemesi, demiryolu zemin

döşemesi, yem sanayi, tarım ve çevre uygulamaları gibi geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Bilgen vd. 2010).

Yüksek fırın cürufu katkılı üretilen betonlar yüksek çevresel etki direncine sahiptirler. Yüksek oranda sülfat, deniz suyu etkisine maruz betonlarda yüksek fırın cürufunun kullanımı oldukça fayda sağlamaktadır. Bunun yanı sıra betona işlenme kolaylığı, ateşe ve donma çözülmeye karşı yüksek dayanıklılık özellikleri de sağlamaktadır. (Bilgen vd. 2010). Çimento üretimine katıldığında çimento hamurunun yoğunluğunu da arttırarak daha işlenebilir, pompalanabilir, daha geçirimsiz betonlar yapılmasına olanak sunmaktadır (Dinçer, 2013).

B. Uçucu Kül

Endüstride yakıt olarak kullanılmayan ve düşük kalorili kömürler elektrik üretimi için termik santrallerde yakılmaktadır. Bu kömürler toz haline getirilerek 1500 ^{0}C de yakılmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan külün %80'i baca gazları ile sistemden uzaklaştırılmaktadır. Kalan %20'lik kısım ise yakma sisteminde bulunan ızgaraların altına düşerek sistemden ayrıştırılmaktadır. Santral bacasından kömür cevheri içerisinde yer alan silika, alümina, demir oksit, yanmış karbon ürünlerinden oluşan küller tesis bacalarından yukarı doğru sürüklenir. Bu küllere uçucu kül denilmektedir. Uçucu küller santral bacalarının üst kısmında bulunan elektrofiltre veya siklonda tutularak santral dışına çıkarılmaktadır (Ünal ve Uygunoğlu, 2007). Bu küllerin %99'undan fazlası tutulmaktadır (Dinçer, 2013).

Uçucu küller çoğunlukla küresel bir yapıya sahip ve tanecik çapı 1-100 μ arasında değişmektedir (Ulusoy, 2008). Küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanları ile doğrudan ilişkilidir. Örneğin siklonlarda toplanan uçucu küller, elektro filtrelerde toplananlara göre daha iri tane boyutuna sahiptirler.

Uçucu küller açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar farklı tonlarda bulunmaktadır. Küllerin rengi içindeki yanmamış karbon miktarına göre değişmektedir. Karbon miktarı artıkça uçucu küllerin rengi daha koyu bir hal almaktadır (Ünal ve Uygunoğlu 2007, Yılmaz, 2014).

Uçucu kül, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler formunda bulunmaktadır (Aruntaş 2006). Bünyesinde yanmamış mineraller içeren süngerimsi ve köşeli

aglomere taneler bulunduran uçucu kül, farklı yüzdelerde SiO_2, $A1_2O_3$, Fe_2O_3, CaO, SO_3, MgO, Na_2O, K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerden meydana gelmektedir (Tokyay ve Çetin, 1991).

Uçucu külde en fazla kuvars (SiO_2), mullit ($Al_2O_3.2SiO_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4) ve kalsit ($CaCO_3$) oksitleri bulunmaktadır (White, 1990).

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri santrallerde kullanılan yakıt ve yakma şartlarına göre değişmektedir. Türk Standartları Enstitüsü'ne göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri Tablo 2.8 'de verilmiştir. (Ulusoy, 2008).

Tablo 2.8 TS göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşik	**% Ağırlıkça**
SiO_2+ $A1_2O_{3+}$ Fe_2O_3	70 (en az)
MgO	5 (en az)
SO_3	3 (en az)
Nem	3 (en az)
Kızdırma Kaybı	10 (en az)

Türkiye'de termik santrallerde elektrik üretimi için yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmaktadır. Kömürün cinsine bağlı olarak yaklaşık 15 milyon ton atık kül meydana gelmektedir. Yanma sonucu açığa çıkan külün %75-85'i uçucu külü oluşturmaktadır (Keskin vd., 2014).

Kimyasal özelliklerine bağlı olarak uçucu küller 4 gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- ✓ *Silikat- alümina esaslı uçucu kül:* Yapılarının büyük kısmı SiO_2 ve bir miktar Al_2O_3 oluşmaktadır. Taş kömürünün yakılmasıyla elde edilen uçucu kül bu guruba girmektedir.
- ✓ *Silikat-kalsit esaslı uçucu kül:* Yapısında ana oksit olarak kuvars (SiO_2) ve kalsit ($CaCO_3$) bulunmaktadır. Bu gurupta kalsit miktarı yüksektir.
- ✓ *Sülfür-kalsit esaslı uçucu kül:* Yapılarının büyük bir kısmı kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten ($CaCO_3$) oluşmuştur. Linyit kömürünün yakılmasıyla elde edilen uçucu kül bu guruba girmektedir.

- ✓ *Sınıflandırılamayan uçucu kül:* Santrallerde yakma işleminin homojen olmamasından kaynaklanan ve belirli bir kimyasal yapısı bulunmayan küllerdür. (Zeybek, 2009)

ASTM C 618'e göre uçucu küller iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- ✓ *F sınıfı uçucu küller;* bitümlü kömürlerden elde edilmişlerdir. Standartta bulunan $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2C_3$> %70 şartını sağlamaktadırlar. Bu küllerin CaO miktarı %10′un altında olmasından dolayı düşük kireçli olarak tanımlanırlar. Ayrıca F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.
- ✓ *C sınıfı küller;* linyitler ve yarı bitümlü kömürlerden elde edilmektedirler. Standartta bulunan $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$>%50 şartını sağlamaktadırlar. Bu küllerin CaO miktarı %10 üzerinde olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanırlar. Ayrıca C sınıfı uçucu küller hem puzolanik özelliğe hem de bağlayıcı özelliğe sahip küllerdir (Aruntaş, 2006).

TS EN 197-1′e göre uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

- ✓ *V sınıfı uçucu küller*, puzolanik özelliklere sahip, küresel taneciklerden oluşan ince bir tozdur. Büyük bir bölümü reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitden (Al_2O_3) oluşmaktadır. Geri kalan bölümü ise demir oksit ve diğer bileşenleri içermektedir. V sınıfı uçucu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranı %10′dan az, reaktif silis miktarının ise %25′den fazla olması gerekmektedir.
- ✓ *W sınıfı uçucu küller,* hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince toz halinde bulunmaktadır. Büyük bölümü reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3‘den oluşmaktadır. Geri kalanı ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içermektedir. V sınıfı uçucu küllerde de reaktif kireç (CaO) oranının %10′dan fazla, reaktif silis miktarının da %25′den fazla olması gerekmektedir (Türker vd., 2004).

Türkiye’ de kömür madeni ile çalışan 15 adet termik santral bulunmaktadır. Bunlar; Kahramanmaraş Afşin ve Elbistan/Kahramanmaraş, Tunçbilek ve Seyitömer/ Kütahya, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy/Muğla, Çayırhan/Ankara, Çan/Çanakkale, Çatalağzı/Zonguldak, Çolakoğlu/Kocaeli, Kangal/Sivas, Soma/Manisa,

Orhaneli/Bursa, Sugözü/Adana termik santralleridir. Bu santrallerden Çolakoğlu ve Çatalağzı'nda taşkömürü, Sugözü'nde ithal kömür, diğer santrallerde ise Linyit kömürü kullanılmaktadır. Afşin-Elbistan ve Manisa-Soma da TS 639 Türk standardına göre kireç düzeyi yüksek C tipi kül bulunurken diğer santrallerden elde edilen küller F tipi kül olarak kabul edilmektedir (Zeybek, 2009).

Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri inşaat sektöründe rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir. Bu küllerin inşaat sektöründe kullanılması hem malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlarken hem de çevre kirliliğinin önlenmesi ile ekolojik dengenin korunmasın katkıda bulunmaktadır (Aruntaş 2006). Tablo 2.9'da uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar verilmiştir.

Tablo 2.9 UK'lerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar

Malzeme	**Kullanım Amacı/Yeri**
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla, ateş tuğlası	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli yapılar/uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

2.5.2 Hafif Beton Avantajları ve Dezavantajları

Bütün malzemelerde olduğu gibi hafif beton malzemesinin de avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Hafif betonların avantajları;

- ✓ Kullanılan agreganın birim ağırlığının düşük olması nedeniyle hafif betonun da birim ağırlığı düşüktür. Bu durum üretilen hafif betonun

kalıbında daha düşük basınç oluşturmakta, üretim ve yerleştirme işlemlerinde kolaylık sağlamaktadır.

- ✓ Yapı elemanının kendi ağırlığının azalmasıyla yapı elemanı kesitlerinde küçülme olacaktır. Bu durum hacim genleşmesi ve donatı ekonomisinin sağlanmasına yardımcı olacaktır.
- ✓ Deprem davranışlarının iyileşmesi sağlanarak, deprem oluşumunda daha az can ve mal kaybı yaşanacaktır.
- ✓ Isıl iletkenlikleri düşük, ısı ve ses yalıtımları yüksek yapı elemanı üretilecektir.
- ✓ Donma çözülmeye karşı dayanıklıdır.
- ✓ Yangın dayanımı normal betona göre daha yüksektir.
- ✓ Korozyona karşı daha dayanıklıdır.
- ✓ Hafifliği nedeniyle taşınmasının ve yerleştirilmesinin kolaydır (Topçu, 2006; Serinoğlu, 2011).

Hafif betonların Dezavantajları;

- ✓ Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle birçok yüksek dayanımlı beton uygulamalarında tercih edilen malzeme değildir.
- ✓ Aşınmaya karşı dayanıksızdır
- ✓ Dayanımları düşüktür.
- ✓ Rötresi normal betonuna göre %30 daha fazladır.
- ✓ Neme karşı yalıtım gereklidir.
- ✓ Elastisite modülü düşük değerler alır.
- ✓ Hafif agregalar daha zor temin edilmekte, her yerde kolay bulunmamakta ve üretilememektedir. Bundan dolayı maliyetleri yüksektir,
- ✓ Sünme ve rötre normal betona göre daha yüksektir (Taşdemir, 1982; Bostancı, 2014).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Gündüz ve Uğur (2005) yılında yapmış oldukları çalışmalarında, herhangi bir mineral ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanmadan, pomza malzemesini agrega olarak kullanarak taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Üretimde çeşitli agrega ve çimento oranları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda; taze beton numunelerinin çökme değerlerinin 35-45 mm arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Numunelerin aynı dayanımda normal ağırlıklı betonlara göre %30-%40 oranında daha hafif olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre, üretilen hafif betonun kuru birim ağırlığının 1 270 kg/m^3, statik elastisite modülünün 11129 MPa, 28 günlük basınç dayanımı 28 MPa ve çekme dayanımını 6,38 MPa olduğunu tespit etmişlerdir. Kullanılan çimento miktarının arttırılmasıyla betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştiğini, ısı iletim katsayısının 0,455-0,345 W/mK olduğunu bildirmişlerdir.

Ceylan (2005) yılında yaptığı çalışmada, farklı bölgelerden temin edilen pomza agrega kullanılarak ürettikleri hafif betonun sıcaklık etkisini incelemiştir. Çalışmada, İzmir-Menderes bölgesinden temin edilen perlitik pomzaları ve Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göre bölgesinden temin edilen pomzalar kullanılmıştır. Üretilen numunelere kuru birim hacim ağırlık, su emme, dayanım ve sıcaklık etkisinde dayanım deneyleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, farklı pomzadan üretilen hafif betonların sıcaklık etkisinde göstermiş olduğu dayanımı belirlemişlerdir.

Yazıcıoğlu ve Bozkurt (2006) yılında yaptıkları çalışmada, mineral katkı olarak silis dumanı, agrega olarak ise pomza taşı kullanılarak taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Numune üretiminde ince agrega olarak nehir kumu, iri agrega olarakta pomza taşı kullanmışlardır. Bağlayıcı olarak kullandıkları CEM I 42,5 N çimentosuna ağırlıkça %10 oranında silis dumanı ikame etmiştir. Çalışmada, 3, 7, 14 ve 28 günlük numuneler, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenlik, yarmada çekme dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak; silis dumanı katkılı taşıyıcı hafif betonların referans numuneye kıyasla daha iyi dayanıma sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Öz (2007) yılında yapmış olduğu çalışmada, değişik oranlarda asidik pomza ve dere kumu agregası, kimyasal katkı ve uçucu kül kullanarak hafif beton üretimi yapmıştır. Üretilen numunelere birim hacim ağırlık, ısı ve ses yalıtım ve dayanım belirleme deneyleri uygulamıştır. Çalışma sonunda; tek başına asidik pomzanın agrega olarak kullanılması durumunda istenilen sonuçları elde edilemeyeceğini bildirmiştir. En iyi karışım oran ve miktarlarının %60 asidik pomza, %40 dere kumu, 200 kg uçucu kül, 400 kg çimento, 96 kg su ve çimento miktarının %1,5'i oranında kimyasal katkı olduğunu tespit etmiştir. Bu oran ve miktarlarda üretilen hafif betonun birim ağırlığının 1 700 kg/m^3, ısı iletkenliğinin 0.48 kcal/m^2h°C, ses yalıtımının 20,17 dB ve tek eksenli basınç dayanımının ise 31 MPa olduğunu belirtmiştir.

Türkel ve Kadiroğlu (2007) yılında yapmış oldukları çalışmada, Kayseri bölgesi pomza agregasının agrega olarak kullanılmasıyla taşıyıcı hafif beton üretimi yapmışlardır. Taşıyıcı hafif beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 çimentosu, mineral katkı olarak silis dumanı ve uçucu kül kullanmışlardır. Taze beton üzerinde hava içeriği, birim hacim ağırlık ve çökme deneyleri, sertleşmiş beton üzerinden ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, üretilen hafif betonların, TS EN 206-1 standardında belirtilen hafif beton şartları sağladığını tespit etmiştir. Bunun yanı sıra betonların ACI 213R-87'de belirtilen dayanım değerinin (17,2 MPa) üzerinde dayanıma sahip olduğu bildirilmiştir.

Dikici (2010) yılında yapmış olduğu çalışmada, pomza ve farklı oranlarda mineral katkı kullanılarak taşıyıcı hafif beton üretimi yapmıştır. Ürettiği numunelere su kürü ve buhar kürü uygulayarak, 7, 28 ve 56 günlük kuru yüzey doygun ve etüv kurusu durumdaki mekanik değerlerinin tespiti için çeşitli deneyler yapmıştır. Sonuç olarak; Tüm numunelerin kuru yüzey doygun haldeki birim hacim ağırlık değerlerinin 2 000 kg/m^3' ün altında olduğunu tespit etmiştir. Etüv kurusu numunelerde bu değerin 1 500-1 600 kg/m^3 olduğunu bildirmiştir.

Akkaş (2011) yılında yapılan çalışmada, Isparta bölgesinden çıkarılan pomza agregası kullanılarak taşıyıcı hafif beton üretimi yapılmıştır. Katkı ve agrega oranlarını değiştirerek Taşıyıcı Hafif Beton ve %100 pomza agregası kullanarak hafif beton üretilmiştir. Üretilen numunelere mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda; hafif betonun 28 günlük

basınç dayanımının 14.04 MPa, taşıyıcı hafif beton numunelerinin ise 16,50-20,17 MPa olduğunu tespit etmiştir. Pomza agregası ile normal agrega karışımlı üretilen taşıyıcı hafif betonların, taşıyıcı eleman olarak kullanılabileceği ve taşıyıcılık özelliğinin standartlara uygun olduğu bildirilmiştir.

Öztürk (2012) yılında yaptığı çalışmada, hafif agrega ve EPS kullanarak hafif beton üretimi yapmıştır. Üretilen numunelere fiziksel, mekanik ve ısı yalıtım özelliğinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar normal betonun özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen verilere göre; üretilen hafif betonun, enerji verimliliği açısından normal betona kıyasla daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Tapan vd. (2012) yaptıkları çalışmada, Van ve Ağrı bölgelerinden temin edilen asidik pomza ve bazik pomzanın betonda katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Elde edilen verilere göre; beton üretiminde, çimentoya belirli oranlarda pomza ikame edilmesinde herhangi bir sakınca olmadığını tespit etmişlerdir. Asidik pomzanın %30 oranına kadar katıldığında katkısız referans numunelerine göre daha fazla dayanıma sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bazik pomza numunelerinde ise %10 oranına kadar katılabileceğini ifade etmişlerdir.

Temiz ve Akçekale (2014) yaptıkları çalışmada, pomza agregası kullanarak hafif beton üretimi yapmış, numunelerin dayanım ve yalıtım özellikleri incelemişledir. Karışım içerisine uçucu kül, ahşap talaşı ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısı katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Elde edilen veriler ışığında, uçucu kül, ahşap talaşı ve portakal kabuğu kırıntısının katkı maddesi olarak kullanılarak üretilen malzemenin ısı ve ses yalıtım özellikleri iyi olduğunu bildirmişlerdir.

Faust ve Gert Konig (1997) yılında yapmış oldukları çalışmada, değişik hafif agrega granülometrisi ve dozajı kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretmişlerdir. Ürettikleri numunelere birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; üretilen hafif beton numunelerinin basınç dayanımının 15-100 MPa ve birim hacim ağırlığının 1,0-2,0 kg/dm^3 olduğunu bildirmişlerdir.

Kılıç et al (2003) farklı mineral katkı ve bazik pomza agregası kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretimi yapmışlardır. Çalışma sonucunda; üretilen yüksek

dayanımlı hafif beton numunelerinin hava kurusu birim hacim ağırlıklarının 1 800-1 850 kg/m^3 olduğunu bildirmişlerdir. Uçucu kül katkılı hafif betonların 28 günlük basınç dayanımı 30 MPa iken, silis dumanı katkılı betonların basınç dayanımının ise 40 MPa olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca eğilmede çekme dayanımlarının 6-8 MPa arasında olduğunu belirtmişlerdir.

Uysal vd. (2004) yaptıkları çalışmada; pomza agrega oranı, çimento miktarı ve çökme değerinin hafif betonun ısı iletkenliği ve birim ağırlığı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada; 200, 250, 300, 400 ve 500 kg/m^3 çimento, normal agrega ve normal agreganın yerine %25, %50, %75 ve %100 oranında pomza kullanarak beton üretimi yapmışlardır. Çalışmada çökme değeri 3, 5 ve 7 cm olan taze beton üretmişlerdir. Elde edilen verilere göre; pomza agregası miktarının artmasıyla, betonun birim ağırlığında %40 ve ısı iletkenliğinde %46 oranında bir azalmanın meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Ürettikleri betonların birim ağırlıklarının 1 329-2 270 kg/m^3, ısı iletim katsayısının ise 0,75 ile 1,5 w/mK olduğunu bildirmişlerdir.

Khandaker ve Hossain (2002) yaptıkları çalışmada, hafif beton üretiminde iri agrega ve çimento ikame malzemesi olarak pomzanın kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çimento ikamesi olarak %0–25 oranında öğütülmüş pomza ve iri agreganın yerine hacimce %0 – 100 oranında pomza agrega kullanılarak hafif beton üretimi yapmışlardır. Sonuç olarak; çimento ikamesi olarak kullanılan öğütülmüş pomza agregasının %15 üzerinde olması hafif beton için istenilen sonuçları vermediğini tespit etmişlerdir.

Ünal vd. (2003) yaptıkları çalışmada, hafif beton üretiminde kullandıkları diyatomit ve pomzanın özelliklerini araştırmışlardır. Üç farklı tane boyutuna sahip pomza ve diyatomiti hafif agrega olarak, kum ve kırma kumu ise normal agrega olarak kullanmıştır. Üretilen hafif beton numunelerine kılcal su emme, ultrases hızı ve basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; pomza ve diyatomitin tuğla duvar elemanı üretiminde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Hossain (2004), bazaltik pomzayı iri agrega yerine %0–100 oranında ikame ederek hafif beton üretmiş ve üretilen bu numunelerin yüzeysel emme, işlenebilirlik, permeabilite, basınç ve çekme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özellikleri

incelemiştir. Sonuç olarak; üretilen betonun hafif beton kriterlerine (yoğunluk ve basınç dayanımı) uygun olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra üretilen hafif beton referans numunesiyle karşılaştırıldığında yüksek geçirgenliğe, düşük elastisite modülü sahip olduğunu ifade etmiştir.

Dinçer ve Çağatay (2004) yaptıkları çalışmada %0, %25, %50, %75, %100 oranlarında pomza malzemesini agreganın yerine ikame ederek taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Ürettikleri beton numunelerin, elastisite modülleri, birim hacim ağırlığı ile ilişkili basınç dayanımları, çekme dayanımları ve enerji yutma kapasitelerini araştırmıştır. Sonuç olarak pomza katkılı hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinde azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu azalmaya rağmen, normal agregaya %50 oranına kadar iri pomza ilave edildiğinde, gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan bölgelerde iyileşme olduğunu ifade etmişlerdir.

Yanık (2007) yaptığı çalışmada, uçucu kül, pomza ve kimyasal katkı kullanarak beton üretimi gerçekleştirmiştir. Ürettiği betonun dayanım, birim hacim ağırlık, ısı-ses yalıtım özelliklerini araştırmıştır. Sonuç olarak; %43 dere kumu, %57 bazik pomza, 200 kg kül, 350 kg çimento, 143 kg su ve çimentonun %1,8' i kadar hiper akışkanlaştırıcı kullanıldığında en hafif, en iyi ısı ve ses yalıtımı, en yüksek dayanım değerlerini verdiğini bildirmiştir.

Serin vd. (2007) yaptıkları çalışmada normal, pomza ve diyatomit kullanarak geleneksel beton blok, yarı hafif ve hafif beton bloklar üretmişlerdir. Ürettikleri bu beton bloklara fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için özgül ağırlık, su emme, porozite, kompasite, birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı ve iki eksenli basınç deneyi uygulamışlardır. Sonuç olarak; geleneksel betonların pomzalı ve diyatomitli beton kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğunu bildirmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda pomza ve diyatomit agregalı yarı hafif ve hafif betonların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağını tespit etmişlerdir. Bu blokların ara bölme duvar ya da yalıtım bloğu olarak kullanılmasının daha uygun olacağını ifade etmişlerdir.

Binici vd. (2010) yaptıkları çalışmada, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, kolemanit, bazaltik pomza ve bariti çimento ve ince agrega yerine kullanarak katkılı beton üretmişlerdir. Ürettikleri beton numunelerinin dayanım ve dayanıklılığını

araştırmışlardır. Ürettikleri betonların, sülfat dayanımı, basınç dayanımı, donma-çözünme direnci, aşınma dayanımı ve permeabilite özelliklerini incelemişlerdir. Yüksek fırın cürufu katkılı numunelerde katkı miktarının artmasıyla sülfat etkisine karşı direncinde arttığını gözlemlemişlerdir.

Kozak ve Ünal (2010) çalışmalarında Isparta pomzası ve Afyonkarahisar tüfünün agrega olarak kullanarak ürettikleri hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelemişlerdir. Agregalarda çamurlu madde miktarı, organik madde miktarı, aşınma miktarı, birim hacim ağırlık, su emme, özgül ağırlık ve tane dağılımı deneyleri yapmışlardır. Karışımda kullanılan agregaların granülometrisi ve su/çimento oranı sabit tutulmuşlardır. Çimentodan ağırlıkça 120 kg/m^3,140 kg/m^3, 160 kg/m^3, 180 kg/m^3 ikame ederek iki farklı malzemeden üretmişlerdir. Bu betonlara, birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik ve basınç dayanımı deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak; birim hacim ağırlığı düşük olan agrega kullanılarak üretilen betonların binaların zati yükünde azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Gökçe vd. (2010) yaptıkları çalışmada, ham perlitin agrega olarak kullanıldığı hafif betonlar içerisinde genleştirilmiş perlit agregalarının kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada ham perlit agregasına %10 oranında üç farklı özellikte genleştirilmiş perlit ikame ederek karışım oluşturmuşlardır. Üretilen numuneler 28 günlük basınç dayanımı, su emme ve birim hacim ağırlık deneylerine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, uygun özellik ve oranlarda genleştirilmiş perlit agregası kullanımının ham perlit agregalı hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşme sağlandığını tespit etmişlerdir.

Akyüncü (2019) yapmış olduğu çalışmada, hafif agrega olarak Kayseri ili Talas bölgesinden temin edilen pomza kullanılarak beton bloklar üretilmiş ve normal agregalı betonlarla karşılaştırmıştır. Üretilen beton bloklar 1m^3 lük bir alanda yangına maruz bırakmıştır. Deney sonucunda, hafif beton blokların yüzey sıcaklıklarının normal betonlara göre %50 daha az olduğunu bildirmiştir. Yangın etkisine maruz kalan normal ve hafif beton bloklara basınç dayanımı testine tabi tutulmuş hafif beton bloklarda %6 oranında, normal beton bloklarda ise %18 oranında düşüş meydana geldiğini tespit etmiştir.

Yıldırım vd. (2018) bu çalışma kapsamında, granüle edilmiş fındıkkabuğunu, %0-5-10-15-20-25-30-35-40 ve 50 oranlarda ikame ederek beton üretimi yapmışlardır. Ürettiği betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda fındık kabuğu miktarının artmasıyla birim ağırlık ve basınç dayanımında azalmalar meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak; granüle edilmiş fındık kabuğunun hafif beton üretiminde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

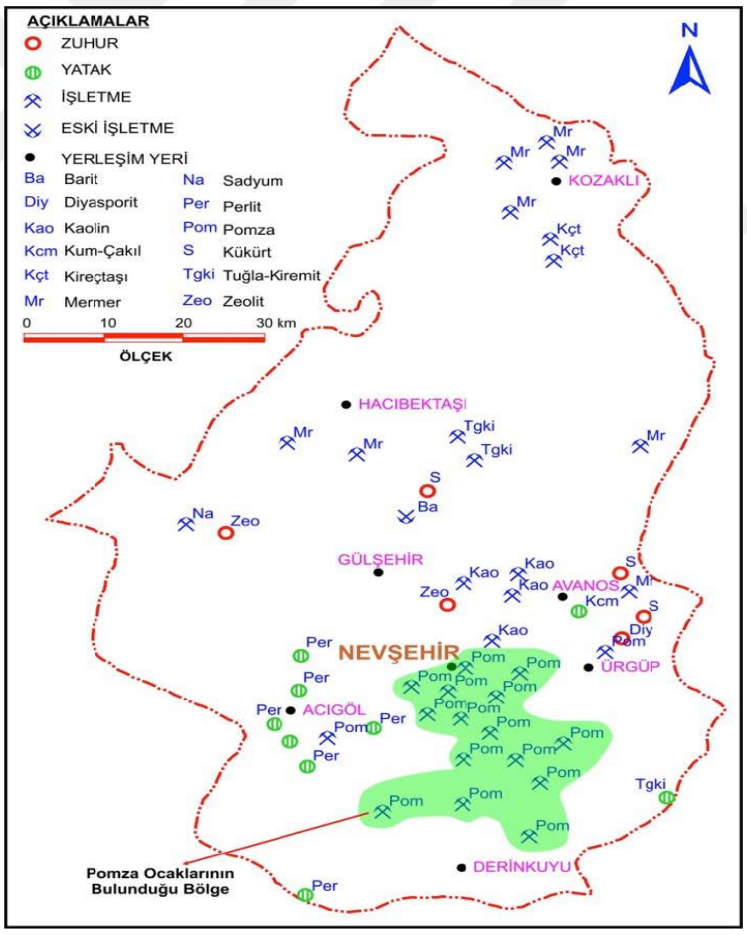
Serin, (2016) yaptığı çalışmada normal agrega, Isparta-Atabey agregası, Isparta pomzası ve diyatomit agregaları kullanarak hafif agrega ile üretilen beton üretimi yapmıştır. Normal betonda Isparta-Atabey agregası kullanırken hafif ve yarı hafif betonda, Isparta pomzası, diyatomit agregaları ve Isparta-Atabey agregası kullanmıştır. Üretilen bu numunelerin 7. ve 28. günde iki eksenli basınç deneyi, özgül ağırlık, su emme miktarı, birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı, porozite ve kompasite değerleri bulunmuştur. Çalışma sonucunda, Atabey agregası ile üretilen beton numunelerinin, pomzalı ve diyatomitli beton numunelere kıyasla daha yüksek olduğu, pomzalı ve diyatomitli hafif ve yarı hafif beton blokların taşıyıcı beton değil, ara bölme duvar elemanı veya yalıtım bloğu olarak kullanılabileceğini tespit etmiştir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Materyal

4.1.1 Pomza

Bu tez çalışması kapsamında, Nevşehir/Çardak bölgesinde Metaş Madencilik Ltd. Şti'ye ait ocaktan alınan pomza hafif agrega olarak beton üretiminde kullanılmıştır. Nevşehir ilinde bulunan pomza ocaklarının maden haritası Şekil 4.1'de sunulmuştur (Dinçer vd., 2017). Maden Tetkik Arama verilerine göre, Çardak bölgesinde, iyi kalitede, 82612500 m^3 görünür rezerv, 87592000 m^3 muhtemel rezerv ve 68445000 m^3 mümkün rezervin bulunmaktadır (Bideci, 2013).



Şekil 4.1 Nevşehir ili maden haritası ve pomza ocaklarının dağılımı

Beton karışımı için kullanılan pomza agregasının tane boyutu 8/16 mm ve 4/8 mm elek aralığında bulunmaktadır. Tablo 4.1'de deneylerde kullanılan pomza agregalarının kimyasal özellikleri sunulmuştur (Anonim 1, 2017).

Tablo 4.1 Pomza agregaların kimyasal analizi

Kimyasal Özellikleri	
Bileşenler (%)	**Oran (%)**
SiO_2	74,10
Al_2O_3	13,45
Fe_2O_3	1,40
CaO	1,17
MgO	0,35
K_2O	4,10
Na_2O	3,70
SO_3	-
Kızdırma Kaybı	1,54

4.1.2 Kum Agregası

Üretilen hafif beton karışımında ince agrega olarak Ankara ili dere kumu kullanılmıştır. Agrega boyutu 0/4 mm aralığında bulunmaktadır. Doğal kuma ait fiziksel özellikler Tablo 4.2'de sunulmuştur.

Tablo 4.2 Doğal kumun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	
Özgül Ağırlık	2,63
Su Emme (%)	1,5

4.1.3. Çimento

Hafif beton üretiminde Kocaeli ili Hereke ilçesinde bulunan Nuh Çimento fabrikası tarafından üretilen CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3 Deneylerde kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Bileşim %		
Bileşen		**Çimento**
		Nuh CEM I 42,5R
CaO, toplam		63,41
CaO, serbest		1,2
SiO2, toplam		20,22
Al2O3		5,67
Fe2O3		2,91
MgO		0,96
SO3		2,92
Na2O		
K2O		
Mn2O3		
TiO2		
Kızdırma kaybı		3,32
Çözünmeyen kalıntı		0,93
Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Özgül Ağırlık		3,19
İncelik Blaine (cm^2/gr)		3654
Basınç Dayanımı (MPa)	2- Gün	29,8
	7- Gün	49,6
	28- Gün	61,1

4.1.4 Borik asit

Borik asit ekonomik değere sahip, çok sayıda sanayi alanında aktif olarak kullanılan, kolemanitten üretilen bir katkıdır. Beyaz renge ve katı bir forma sahip borik asit Sigma Aldrich firmasından alınmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Borik asit

4.1.5 Karışım suyu

Betonda her ne kadar içme suyu niteliğinde olmayan su ile iyi beton üretilse de arışım sularında aranan en önemli özellik içilebilir olmasıdır. Uygun olmayan karışım suyunun betonda kullanımının priz süresi, rötre ve basınç dayanımında azalma gibi olumsuzluklar meydana getirmektedir. Bu yüzden organik madde, erimiş tuzlar ve erimiş madde katkılı sular karışım suyu olarak kullanılmaması gerekmektedir.

Çimentonun hidratasyona girmesi için çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadar su kullanılmalıdır. İstenilen işlenebilirliğin sağlanması için gerekli su miktarının kullanılmasına dikkat edilmelidir. Dikkat edilmediğinde ise betonun dayanıklılık ve dayanım özellikleri negatif yönde etkilenmektedir (Özkul vd., 2004).

4.2 Yöntem

Borik asit katkılı pomza agregalı hafif beton üretimi ve üretilen hafif beton numunelerine uygulanacak fiziksel ve mekanik deneyler ve mikro yapısının incelenmesi için yapılan SEM analizi başlıklar halinde sunulmuştur.

4.2.1 Bor Asit Katkılı Hafif Beton Üretimi

Bu tez çalışmasında 4 farklı seri hafif beton numunesi (REF; referans numune, BA2; %2 oranında borik asit katkılı numune, BA4; %4 oranında borik asit katkılı numune, BA6; %6 oranında bor asit katkılı numune) üretilmiştir. Çalışmada su/çimento oranı 0,25-0,35 arasında tutulmuştur. Borik asit katkısı, hafif beton üretiminde kullanılacak karışım suyuna eklenecektir.

Çalışmada referans numunelerinde %90 oranında pomza kullanılmıştır. Hafif beton dayanımını arttırmak için %10 oranında kum karışıma ilave edilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Hafif beton üretiminde kullanılan agrega ve borik asit oranları

	Pomza (P) (%)	**Kum (%)**	**Borik Asit (BA) (%)**
REF	90	10	0
BA2	90	10	2
BA4	90	10	4
BA6	90	10	6

Karışımlar TS 2511 standardı baz alınarak üretilmiştir. Bu standarda göre hafif agrega olarak kullanılacak pomza ile ilgili ön deneyler yapılmıştır.

İlk etapta katı haldeki borik asit karışıma katılacak olan su miktarından alınarak 80 ^{0}C'de çözelti oluşturulmaktadır (Şekil 4.3).

Daha sonra pomza agregası karışım kabına konulmuştur. Agregaların ön doyurma işlemi için belirlenen su miktarı karışım kabına dökülerek agregalar doygun hale getirilmiştir. Doyurma işlemi tamamlandıktan sonra %10 oranında ince agrega olan kum eklenerek homojen bir agrega karışımı elde etmek için karıştırılmıştır. Elde

edilen agrega karışımına karışım hesabında belirlenen çimento miktarı da eklenerek karıştırılmıştır. Son olarak belirlenen su miktarı içerisine börk asit çözeltisi eklenmiş ve karışım işlemine devam edilmiştir. Karışım homojen bir hal aldığında karıştırma işlemi bitirilmiştir. (Şekil 4.4).



Şekil 4.3 Borik asit çözeltisinin hazırlanması



Şekil 4.4 Hafif beton malzemelerinin karıştırılması

İşlem tamamlandıktan sonra üretilen hafif beton 15x15x15 cm^3 boyutlara sahip plastik küp ve yarmada çekme dayanımı deneyi için silindir kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.5).

Sıkıştırma ve yerleştirme işlemi yapıldıktan sonra hafif beton numuneleri prizini alıncaya kadar (24 saat sonra) kalıplarda bekletilmiştir. 24 saatin sonunda kalıplardan

çıkarılan hafif beton numuneleri 28 gün boyunca kürleme işleminin yapılması için +20°C sıcaklıktaki su dolu kür havuzlarına bırakılmıştır.



Şekil 4.5 Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

28 günün sonunda hafif beton numunelerine fiziksel ve mekanik karakteristiklerini ölçmek için farklı deneyler uygulanmıştır.

4.2.2 Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler

Hafif beton numunelerinin fiziksel farklılıklarını belirlemek amacıyla numuneler;

- ✓ Birim Hacim Ağırlık,
- ✓ Su Emme,
- ✓ Porozite,

4.2.2.1 Kuru birim hacim ağırlık

Numunelere kuru birim hacim ağılık deneyi TS EN 12390-7 baz alınarak uygulanmıştır. Kuru birim hacim ağırlıklarının tespiti için 15x15x15 mm ebatlarında üretilen hafif beton numunelerinden her seri için (REF, BA2, BA4, BA6) altı adet, toplamda 24 adet küp numune kullanılmıştır. İlk olarak numuneler 24 saat su küründe bekletilmiştir. 24 saatin ardından numuneler etüvde 105°C'de 24 saat kurutulmuştur. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra hassas terazide tartılan numuneler formül 4.1'de yerine yazılarak kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Formülde bulunan Sk; Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığını (kg/m^3), W; Numunenin etüv kurusu ağırlığını (kg), V; Numune hacmini (m^3) ifade etmektedir.

$$S_k = W/V \tag{4.1}$$

4.2.2.2 Su emme

Numunelere uygulanan su emme deneyi TS EN 12390-7 standardı baz alınarak yapılmıştır. Hafif beton numuneleri, 24 saat boyunca su küründe bekletilmiş ve süre sonunda tartılmıştır. Ölçüm işlemi tamamlanan numuneler 24 saat boyunca etüv fırınında 105°C'de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sonunda elde edilen veriler hafif beton numunelerinin su emme yüzdelerinin tespiti için Formül 4.2'de yerine yazılarak hesaplanmıştır. Formülde yer alan As; Ağırlıkça su emme yüzdesini (%), W_0; Numunenin kuru ağırlığını (gr), Wsh; Suya doygun numunenin havadaki ağırlığını (gr) ifade etmektedir.

$$A_s=(W_{sh}-W_0)/W_0 \qquad (4.2)$$

4.2.2.3 Porozite

Malzemenin boşluk yapısının belirlenmesi için yapılan porozite deneyi TS EN 772-4 standardına baz alınarak yapılmıştır. Hafif beton numuneleri su dolu bir kap içerisine yerleştirilmiş ve 3 saat boyunca kaynatılmıştır. Kaynatma işlemi bittikten sonra kap içerisinden alınan numuneler su dolu bir kaba yerleştirilerek kap içerisindeki asılı ağırlıkları (P3) ölçülmüştür. Ölçümleri tamamlanan hafif beton numuneleri su içerisinden alınmış ve kuru bir bez vasıtasıyla yüzey kuru (P2) hale getirilerek tartılmıştır. Ardından numuneler etüv fırınında değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan numunelerin kuru ağırlıkları belirlenmiş (P1) ve tüm veriler formül 4.3' te yerine yazılarak porozite değeri hesaplanmıştır.

$$Porozite\ (\%) = ((P_2-P_1) / (P_2-P_3)) \times 100 \qquad (4.3)$$

4.2.3 Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler

Tez çalışmasında üretilen hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti için;

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

4.2.3.1 Basınç dayanımı

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi TS EN 772-1, 2012 standardına göre uygulanmıştır. Deneyde bilgisayar kontrollü basınç cihazı kullanılmıştır. Hafif beton numunelerinin basınç dayanımı değerleri, kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesi ile belirlenmiştir. Deney Ankara Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

4.2.3.2 Yarmada çekme dayanımı

Öncelikle hafif beton numuneleri kür havuzundan çıkarılmış ve etüv fırınında (1050C'de) kurutulmuştur. Numuneler pres makinesine yerleştirilmiş ve deney sırasında herhangi bir aksilik yaşanmaması için sabitleme işlemi yapılmıştır. Numuneler üzerine yükleme hızı ortalama 0,05 MPa olan yük uygulanmıştır. Cihazın yük göstergesinde bulunan ve kırılma anındaki en büyük yükü (Pmax) gösteren değer kaydedilmiştir (Şimşek, 2007). Bulunan değerler formül (3.5) te yerine yazılarak yarmada çekme dayanımı hesaplanır (Özalp, 2016). Deney sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli unsur pres başlığı ve numunenin yük uygulanan yüzeyinin merkezlerinin çakışmasıdır.

$$\mathbf{ft = (2.\ Pmax) / (\pi\ .\ D.\ L)} \qquad (4.4)$$

ft: Yarmada çekme dayanımını (N/mm2),

L, Silindir yüksekliği

b: Numune kesitinin boyu

4.2.4 Hafif Beton Numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

SEM cihazı görüntü oluşturma işlemi numuneleri üzerine gönderilen elektron demetlerinin numuneden yansıması ve yansıyan sinyallerin cihaz tarafından algılanması esasıyla çalışmaktadır. SEM tekniğinin kullanım amacı; görüntülerde

mükemmel alan derinliğini sağlarken aynı zamanda numune morfolojisini tanımlamaktır (Yanez ve Barbosa, 2003; Ergün ve Yenisey, 2006).

SEM cihazı görüntüyü büyütmek ve derinleştirmek için elektron ışını kullanılmaktadır. Görüntünün çözünme gücü cihazdan gönderilen dalga boyuna göre değişiklik göstermektedir. SEM cihazı elektron lensleri tarafından odaklanan elektron ışın demeti numune yüzeyini taramakta ve numuneden gönderilen sinyaller görüntü olarak algılanmaktadır (Chescoe ve Goodhew, 1990).

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelerden SEM görüntüleri alma işlemi, FEI marka Quanta FEG 250 model SEM cihazı ile yapılmıştır.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Tezin araştırma sonuçları ve tartışma bölümünde borik asit katkılı hafif beton numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları ve SEM görüntüleri başlıklar halinde verilmiştir. Bulunan değerler literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılarak konu tartışılmıştır.

5.1 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçları

Referans numunelerinin ve borik asit katkılı hafif beton numunelerinin fiziksel deney sonuçları başlıklar halinde verilmiştir.

5.1.1 Referans Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları

Referans numunesinin fiziksel özelliklerinin tespiti için kuru birim ağırlık, su emme ve porozite deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de verilmiştir. Fiziksel deneylerde her deney için 6 adet olmak üzere toplam 18 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Tablo hafif beton numunelerinden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Tablo incelendiğinde referans numunesinin kuru birim hacim ağırlığının 993 kg/m^3, su emme oranının %0,91 ve porozitesinin %22,4 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 Referans numunelerine ait fiziksel deney sonuçları

Referans Numune Değerleri		
Fiziksel Deneyler	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	993
	Su Emme (%)	0,91
	Porozite (%)	22,4

5.1.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları

Tablo 5.2'de, %2, %4, %6 oranlarında bor asit katkılı üretilen hafif beton numunelerinin fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerin aritmetik ortalaması alınarak bulunan değerler sunulmuştur. Tez çalışmasında her bir deney için 6 adet olmak üzere toplamda 54 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Tablo incelendiğinde;

%2 (BA2) oranında borik asit katkılı hafif beton numunesinin kuru birim hacim ağırlığının 998 kg/m^3, su emme oranının %0,88 ve porozitesinin %21,8 olduğu görülmektedir.

%4 (BA4) oranında borik asit katkılı hafif beton numunesinin kuru birim hacim ağırlığının 1 003 kg/m^3, su emme oranının %0,82 ve porozitesinin %21,1 olduğu görülmektedir.

%6 (BA6) oranında borik asit katkılı hafif beton numunesinin kuru birim hacim ağırlığının 1 010 kg/m^3, su emme oranının %0,79 ve porozitesinin %20,3 olduğu görülmektedir.

Tablo 5.2 Borik asit katkılı numunelere ait fiziksel deney sonuçları

Borik Asit Katkılı Numune Değerleri				
		BA2	**BA4**	**BA6**
Fiziksel Deneyler	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	998	103	1010
	Su Emme (%)	0,88	0,82	0,79
	Porozite (%)	21,8	21,1	20,3

5.2 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçları

5.2.1 Referans Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları

Tablo 5.3'de referans numunesine ait mekanik özelliklerden olan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deney sonuçları sunulmuştur. Her bir deney için 6 adet olmak üzere toplamda 12 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Sunulan tabloda hafif beton numunelerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır. Tablo incelendiğinde; referans numuneye ait basınç dayanımının 16,3 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,12 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3 Referans numunelerine ait mekanik deney sonuçları

Referans Numune Değerleri		
Mekanik Deneyler	Basınç Dayanımı (MPa)	16,3
	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	1,12

5.2.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları

Tablo 5.4'de %2, %4 ve %6 oranında borik asit katkılı hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlemek için yapılan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deney sonuçları verilmiştir. Basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi için 18 adet, yarmada çekme dayanımının belirlenmesi için 18 olmak üzere toplamda 36 adet hafif beton numunesi kullanılmıştır. Verilen tabloda numunelerin aritmetik ortalaması alınarak elde edilen değerler bulunmaktadır.

Tablo incelendiğinde; %2 oranında borik asit katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 17,1 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,15 MPa olduğu görülmektedir.

%4 oranında bor asit katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 17,8 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının ise 1,19 MPa olduğu tespit edilmiştir.

%6 oranında borik asit katkılı hafif beton numunesinin basınç dayanımının 18,5 MPa olduğu, yarmada çekme dayanımının 1,23 MPa olduğu görülmektedir.

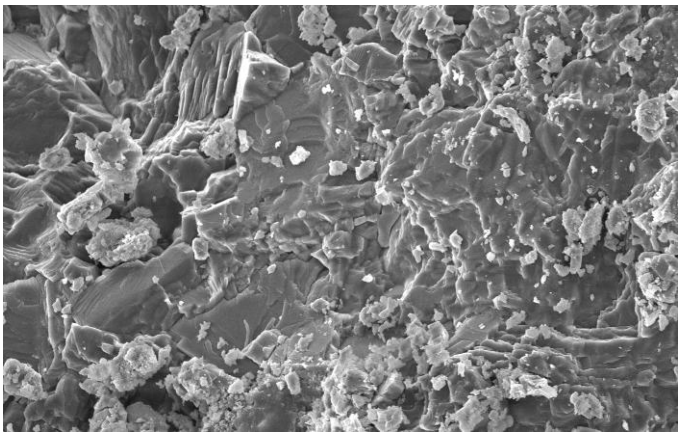
Tablo 5.4 Borik asit katkılı numunelere ait mekanik deney sonuçları

Borik Asit Katkılı Numune Değerleri				
		BA2	**BA4**	**BA6**
Mekanik Deneyler	Basınç Dayanımı (MPa)	17,1	17,8	18,5
	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	1,15	1,19	1,23

5.3 Hafif Beton Numunelerinin SEM Görüntüleri

5.3.1 Referans Numunelerinin SEM Görüntüsü

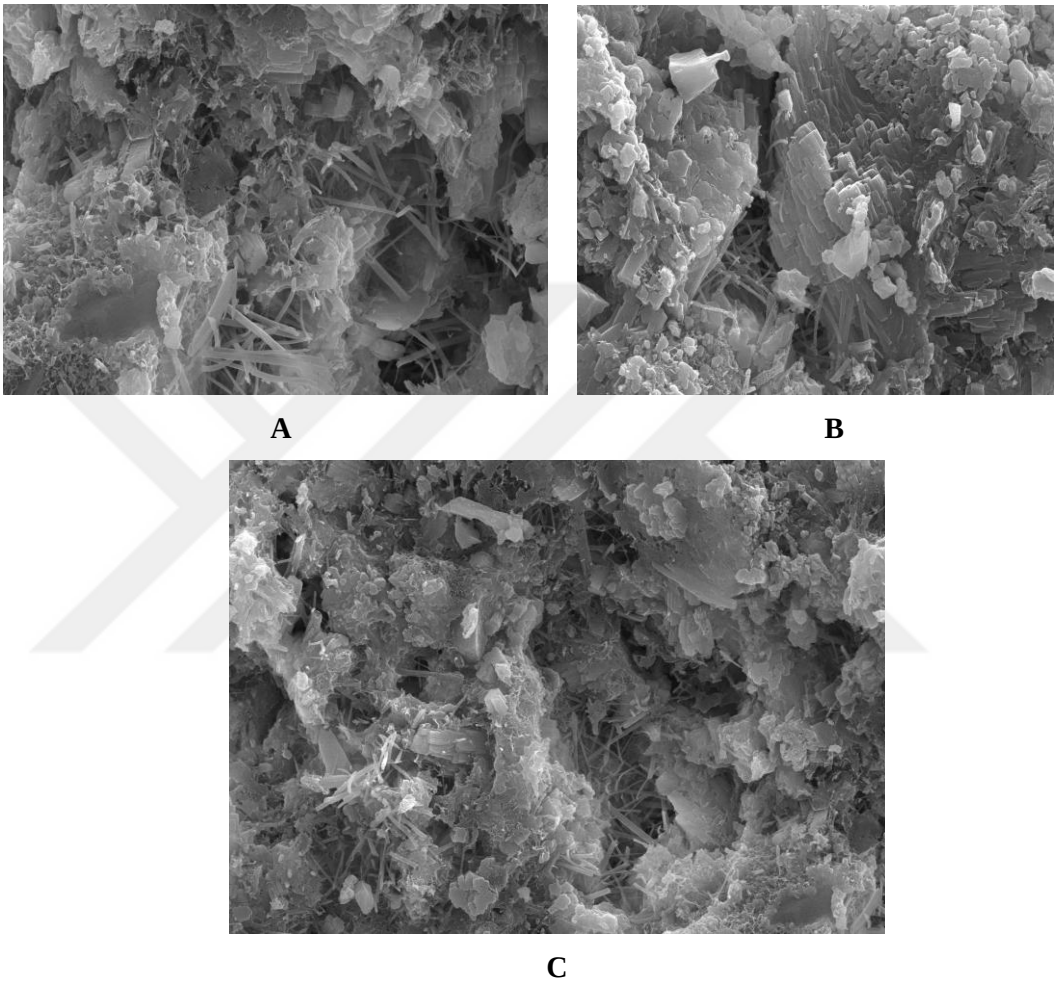
Bir malzemede olması istenilen en önemli özellik porlu yapının düzenli ve kristal yapıda olmasıdır. Şekil 5.1' de Nevşehir bölgesinden temin edilen pomza agregası ile üretilen hafif beton numunesinin makro porlu ve düzensiz kristal yapısında olduğu görülmektedir. Oluşan bu makro porlu ve düzensiz kristal yapıda pomza agregası bünyesinde bulunan boşlukların etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu yapı malzemenin basınç dayanımının düşük olmasını sağlamaktadır.



Şekil 5.1 Referans numunenin SEM görüntüsü

5.3.2 Borik Asit Katkılı Numunelerinin SEM Görüntüleri

Şekil 5.2'de %2 oranında borik asit katkılı numune (A), %4 oranında borik asit katkılı numune (B), %6 oranında borik asit katkılı numunenin (C) yapısal karakterizasyonunun tespiti için çekilen SEM görüntüleri sunulmuştur.



A **B**

C

Şekil 5.2 A; %2 oranında borik asit katkılı, B; %4 oranında borik asit katkılı, C; %6 oranında borik sit katkılı hafif betonların SEM görüntüleri

Borik asit katkılı numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde; lifli, düzenli, mikro porlu ve grain yapıda olduğu görülmektedir. Malzemenin kristal yapısında görülen grainlerin çok ince katmanlı ve homojen *leaf like* yapılar olduğu gözlenmektedir. Genel olarak borik asit miktarının artmasıyla kristal yapıların da arttığı tespit edilmiştir. Çınar vd., (2014) yapmış oldukları çalışmada borik asit katkısının belirli oranlarda ikame edilmesiyle kristal yapıya destek sağladığını bildirmişlerdir. Aksi halde malzeme yapısını amorflaştıracağını ifade etmişlerdir. Tez çalışması kapsamında kullanılan borik asit miktarının numune yapısını amorflaştırmadığını

aksine kristal yapısını desteklediği görülmektedir. Ayrıca borik asit katkılı tüm numunelerde tabakamsı kristal yapı ile birlikte kürecikli kristal yapılarında bulunduğu görülmektedir. İncelenen tüm görüntülerde sonuç olarak; en iyi yapının %6 oranında borik asit katkılı numuneden elde edildiği görülmüştür. Üretilen hafif betonun numunelerinin diğer özellikleri göz önüne alındığında çekilen SEM görüntülerin bulunan değerleri destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

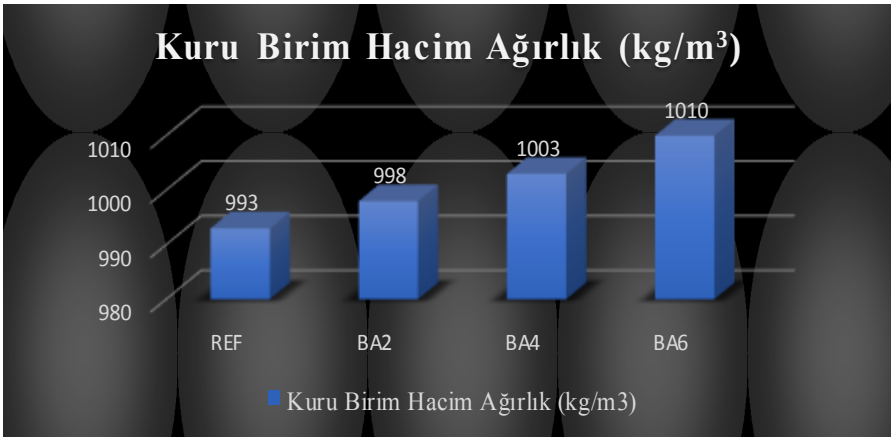
5.4 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

5.4.1 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde üretilen hafif beton numuneleri kuru birim hacim ağırlık, su emme ve porozite deneylerinin karşılaştırılması başlıklar halinde verilmiştir.

5.4.1.1 Kuru birim hacim ağırlık

Şekil 5.3'de referans, %2 oranında bor atığı katkılı (BA2), %4 oranında bor atığı katkılı (BA4), %6 oranında bor atığı katkılı (BA6) hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3 Numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde; referans numunesinin 993 kg/m^3 ile en düşük kuru birim hacim ağırlığa sahipken %6 oranında borik asit katkılı numunelerin 1 010 kg/m^3 ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Numunelere ikame edilen borik asit

miktarının arttırılması ile numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında artış meydana geldiği görülmüştür.

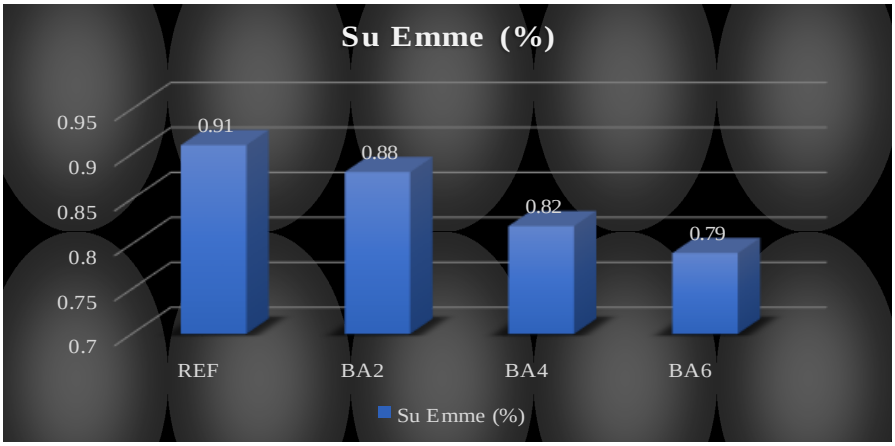
Literatür incelendiğinde; Ceylan (2005), Nevşehir ili Göre bölgesinde ve Kayseri ili Talas bölgesinden temin edilen pomzadan üretilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerin 659 ile 978 kg/m^3 arasında olduğunu bildirmiştir.

Düzgün (2001), betona karışımı içerisine normal agregaya hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında pomza agregası ikame ederek yapmış olduğu beton üretiminde betonun birim ağırlığını %9-%28 oranında azalttığını bildirmiştir.

5.4.1.2 Su emme

Hafif betonun su emme oranı, içerisindeki gözenek oranı ile bağlantılıdır. Beton katı bir cisim olmasına rağmen bünyesinde büyüklü küçüklü, görülebilen veya görülemeyen, sürekli ya da süreksiz boşluklar bulundurmaktadır. İç yapısında bulunan bu boşluklar betonun dayanıklılığına ve dayanımına etki etmektedir (Akyıldız, 2012).

Hafif beton numunelerinin su emme oranlarının verildiği Şekil 5.4 incelendiğinde; en düşük su emme oranının %6 oranında borik asit katkılı numunelerden sağlanırken en yüksek su emme miktarı referans numuneye ait olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.4 Numunelerin su emme oranlarının karşılaştırılması

Tez çalışması kapsamında yapılan su emme deneyi sonucunda borik asit miktarının artmasıyla su emme oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu azalmanın

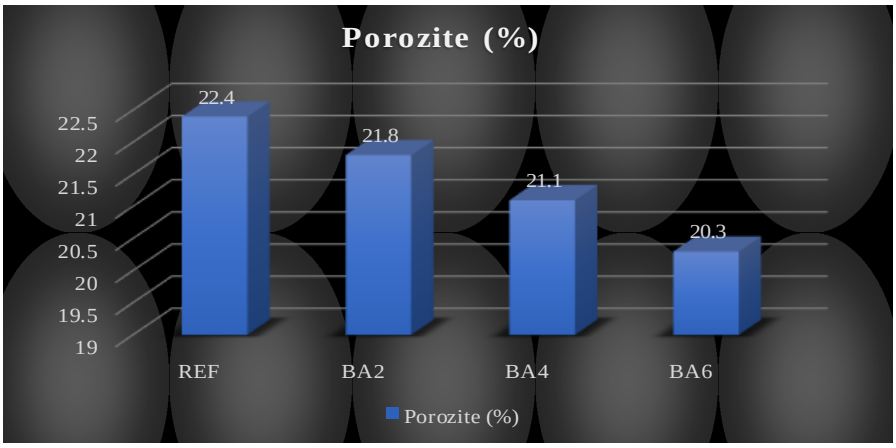
sebebinin borik asitin hafif beton numunesi içyapısında bulunan gözenekleri doldurması olduğu düşünülmektedir.

Literatüre katılan çalışmalar incelendiğinde; Ceylan (2005), İzmir-Menderes ve Kayseri-Talas bölgelerinden temin ederek ürettiği pomza agregaları hafif beton numunelerinin su emme değerlerinin %12,5 ile %46,1 arasında olduğunu bildirmiştir.

Öztürk (2012), Nevşehir bölgesinden temin ettiği pomza agregasını, %90 oranında, kum agregasını ise %10 oranında karıştırarak ürettiği hafif beton numunelerinde en düşük su emme oranının %0,7 olduğunu bildirmiştir. Yapılan bu çalışmanın tez çalışmasını destekler nitelikte olduğu görülmüştür.

5.4.1.3 Porozite

Şekil 5.5'de pomza agregasıyla üretilen hafif beton numunesine ait porozite değerleri sunulmuştur. Şekil incelendiğinde; referans numunesi en yüksek porozite değerine, %6 oranında borik asit katkılı hafif beton numunelerinin ise en düşük porozite değerine sahip olduğu görülmüştür. Numunelere ikame edilen borik asit miktarının artmasıyla porozite değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin borik asitin hafif beton numunelerinin bünyesinde bulunan boşlukları doldurması olarak görülmüştür. Porozite oranının azalması, su emme miktarının da azalması anlamına gelecek, bu durum hafif beton numunelerinin ömrünü uzatmasının yanı sıra yapı içi konfor şartlarını da istenilen düzeyde tutacaktır.



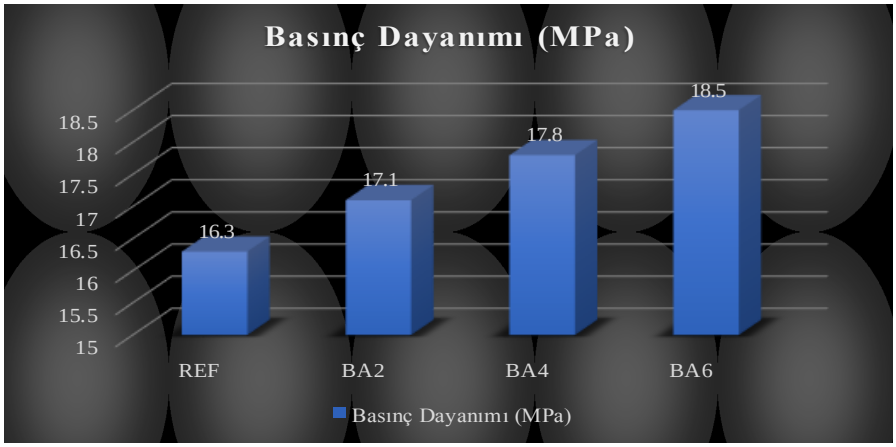
Şekil 5.5 Numunelerin porozite değerlerinin karşılaştırılması

5.4.2 Hafif Beton Numunelerine Uygulanan Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde tez çalışması kapsamında üretilen hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması başlıklar halinde yapılmıştır.

5.4.2.1 Basınç dayanımı

Şekil 5.6'de verilen basınç dayanım karşılaştırması grafiği incelendiğinde, borik asit miktarının artmasıyla basınç dayanımında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük basınç dayanımına 16,3 MPa ile referans numunesine ait olduğu, en yüksek basınç dayanımına ise 18,5 MPa ile %6 oranında borik asit katkılı numunelere olduğu görülmüştür. Basınç deneyi sonucunda elde edilen veriler ışığında, Nevşehir bölgesinden temin edilen pomza agregası kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin ACI 213R-87'de belirtilen hafif beton dayanım değerinin (17,2 MPa) üzerinde dayanım değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu da tez çalışmasında belirtilen oranların hafif beton üretiminde rahatlıkla kullanılabileceğini ifade etmektedir.



Şekil 5.6 Numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırılması

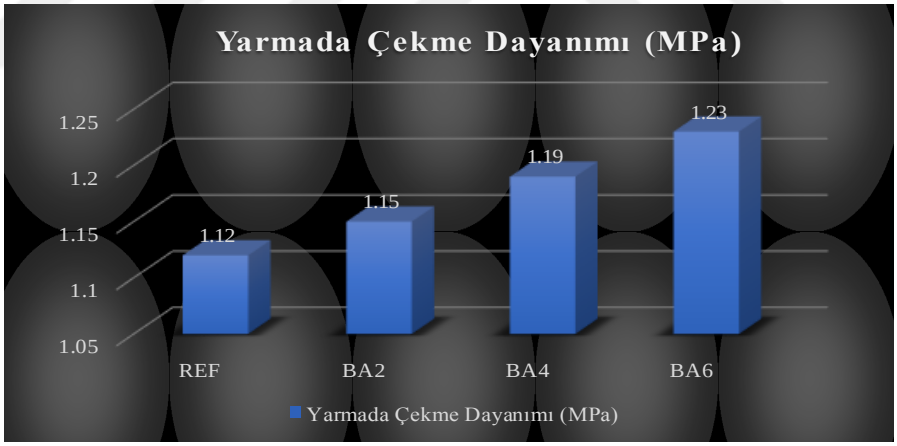
Literatür çalışmaları incelendiğinde, Akçakale (2010), Osmaniye ve Nevşehir yöresine ait pomza kullanılarak üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımının 4,9-16.3 MPa arasında olduğunu bildirmiştir.

Düzgün (2001), farklı oranlarda çelik lifli tel kullanarak ürettiği hafif betonlarda, %25-%100 oranları arasında pomza kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımının %16-%44 oranlarında azaldığını ifade etmiştir.

Hossain vd. (2011) sadece iri ve ince pomza agregası kullanarak ürettikleri hafif beton numunelerinin basınç dayanımlarının %10 oranında kum kullanıldığında elde edilen dayanımdan daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

5.4.2.2 Yarmada çekme dayanımı

Şekil 5.7'de hafif beton numunelerine ait yarmada çekme dayanım değerleri sunulmuştur. Şekil incelendiğinde; en yüksek yarmada çekme dayanım değerinin %6 oranında borik asit numunesine ait olduğu, en düşük değerin ise referans numunesine ait olduğu görülmüştür. Bor atığı miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanımlarında da artış meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 5.7 Numunelerin yarmada çekme dayanımlarının karşılaştırılması

Dikici (2010), çalışması kapsamında üretmiş olduğu taşıyıcı hafif betonun 7 günlük yarmada çekme dayanımının 2 MPa, 28 günlük yarmada çekme dayanımının 2,3 MPa ve 56 günlük yarma çekme dayanımının ise 2,4 MPa olduğunu bildirmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında üretilen pomza agregalı hafif beton numunelerine uygulanan deneyler sonucu elde edilen sonuç ve öneriler maddeler halinde verilmiştir.

- Fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan deneylerden biri olan kuru birim ağırlık deneyinde, borik asit miktarının artmasıyla kuru birim ağırlık değerinde de artış meydana gelmiştir.
- Borik asit miktarının artmasıyla hafif beton numunelerinin su emme oranlarında azalma meydana getirdiği görülmüştür. Deney sonucunda en iyi değerin %6 oranında borik asit katkısı ile sağlandığı görülmüştür.
- Borik asit miktarının artmasıyla porozite değerlerinde azalma meydana gelmiş, bu durum hafif beton bünyesinde bulunan boşluk oranının da azaldığını göstermiştir. En iyi sonuç %6 oranında borik asit katkısıyla sağlanmıştır.
- Hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerin tespiti için yapılan basınç dayanımı deneyi sonucunda; en iyi basınç dayanımının %6 oranında borik asit katkısı ile sağlandığı görülmüş, aynı zamanda borik asit miktarının artmasına paralel olarak basınç dayanımında da artış sağlanmıştır.
- Üretilen referans numuneleri ve %2 oranında borik asit katkılı numunelerin yapılarda bölme blok veya yalıtım amaçlı blok olarak kullanılabileceği görülmüştür.
- Hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanım değerleri incelendiğinde; borik asit miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanım değerlerinde de artış meydana gelmiştir.
- Yapısal karakterizasyonunun tespiti için yapılan SEM görüntüleri incelendiğinde; referans numunenin poroziteli, makro porlu ve düzensiz kristal yapısında olduğu gözlenmiştir. %2, %4 ve %6 oranında borik asit katkılı numunelerde borik asit miktarının artmasına paralel olarak numunenin kristal yapısında da artış olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu artış numunelerin tabakamsı olan numune iç yapısının kürecikli yapıya dönüşmesine neden olmuştur.

- SEM görüntüleri sonucunda %6 oranında borik asit katkılı hafif beton numunelerinin diğer numunelere göre daha üstün yapısal özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonucunda borik asitin hafif beton özelliklerini iyileştirdiği ve belirli oranlarda ikame edilmesi halinde kullanımında herhangi bir sakınca olmayacağı görülmüştür.
- İnşaat sektöründe bor mineralinin direkt olarak kullanılmasının inşaat sektörü için olumlu sonuçlar doğuracağı görülmüştür.
- Borik asit, türevleri ya da atıklarının pomza gibi yerel kaynakların 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.
- Yüksek miktarda enerji tüketimi sonucu üretilen yapay hafif agrega yerine, pomza, perlit ve zeolit gibi yerel kaynakların kullanılması ekonomiye katkıda bulunacaktır.
- Ülkemizde birçok pomza yatağı üzerinde ayrıntılı çalışmalar yapılmamıştır. Bu tür çalışmaların sayısı arttırılmalı, böylelikle Türkiye'de bulunan pomza madeninin teknik bir envanteri de çıkarılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Akakın T, Kılınç C, Işık A, Zengin H, (2013). Hazır Beton Sektörü ve Beton Kullanımındaki Gelişmeler. *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, Türkiye Hazır Beton Birliği*, 66 -72, Ankara.

Akçakale, A.H. (2010). Bazaltik Pomza ve Bims Agregalı Hafif Betonun Bazı Dayanıklılık Karakteristiklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.

Aker, A. (2011). Uçucu Külle Üretilen Genleştirilmiş Perlit Katkılı Gazbeton Numuneler Üzerinde Kür Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Afyonkarahisar.

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

Akman, S. (2003). Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi, *Türkiye Mühendislik Haberleri, 426(4),* 30-386.

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

Akyüncü, V., (2019). Pomza agregalı hafif beton blokların mekanik özeliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1)* 147-157.

Anonim, (1997). TS EN 932–1, Agregaların genel özellikleri için deneyler, kısım 1, numune alma metotları. *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Anonim 1, (2017), Pomza analiz raporu, *Blokbims Madencilik Hafif Yapı Elemanları,* Nevşehir.

Arslan, E. (2006). Betonun Yarma Dayanımında Geometrik Değişimlerde Boyut Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elâzığ.

Aruntaş, H.Y. (2006). Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 21(1),* 193-203.

Aydın, S. (2008). Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice. *Fire Safety Journal (43),* 610–617.

Azizi, S. (2007). Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.

Bakır, H. (2011). Dolgu Maddesi Oranının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.

Bapat, C.D. (2013). Mineral admixtures in cement and concrete, *CRC Press, 1. Baskı*, Florida.

Baradan, B., Yazıcı, H. (2003). Betonarme yapılarda durabilite ve TS EN 206-1 standardının getirdiği yenilikler. *Türkiye Mühendislik Haberleri, 426(4),* 62-69.

Barnes, R. E. (1962). Perlite industry. *AİME Transactions (Mining), (223)*, 180-183.

Bekkum, H., Flanigen, E. M., Jacobs, P.A., Jansen, J.C. (2001). Introduction to Zeolite. *Science and Practice. 2. Edition,* 11-45.

Bhagwanjeejha, D. N. S. (2016). "Fly ash and zeolites. *Springer*, 1-26.

Bideci, Ö. (2013). Bor Katkılı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Edirne.

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

Bilgiç M, (2009). Yüksek Performanslı Prefabrike Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Isparta.

Bilim, C. (2006). Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Adana.

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.

Bostancı, A. (2014). Eski Beton-Yeni Beton Aderansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Trabzon.

Bozkurt, N. (2009). Fiber Takviyeli Kendiliğinde Yerleşen Betonun Mekanik ve Durabilite Özeliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elâzığ.

Breese, R. O. Y. & Barker, J. M. (1994). Perlite. D. D. Carr, (Ed.). Industrial Minerals and Rocks (6th ed.), *USA: Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, 735-747.

Can, Ö., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K., Arslan, M. (2009). Lif katkılı betonların aşınma direnci üzerindeki etkileri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09),* 4, Karabük.

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

Chescoe, D. & Goodhew, P., J, (1990), The Operation Of Transmission And Scanning Electron Microscopes. *In: Microscopy Handbooks, Oxford Science*, England.

Çakıroğlu, M. A., Terzi, S. (2010). Püskürtme betonda yüzey hazırlığının önemi, *Süleyman Demirel University International Technologic Sciences*, 2(2), 85-92, Isparta.

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

Çok, G., Erdinç, M., Erdinç, E., (2003). Mesleki Perlit Maruziyetinde Bronkoalveoler Lavaj Sıvısı ve Difüzyon Kapasitesi Sonuçları. *Ege Üniversitesi, Tıp Fakültesi Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, Solunum Hastalıkları, (14),* 165-168, İzmir.

Davis, M. E. (1991). Zeolites and molecular sieves: not just ordinary catalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research, 30(8),* 1675-1683.

Davraz, M., Gündüz L. (2005). Amorf silika ve endüstriye katkısı, *Endüstriyel Hammaddeler ve Yapı Malzemeleri Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Fuarı*, İzmir.

Davraz, M., Yiğit, Y., Gündüz, L. (1997). Granülomertik pomza tanelerinin çatı ve taban döşemede değerlendirilebilirliği. *1. Isparta Pomza Sempozyumu,* 195-205, Isparta.

Demirboğa, R. (1999). Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Beton Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Erzurum.

Dikici, T, (2010). Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.

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, İ., Orhan, A., Çoban, S. (2017). Pomza araştırma ve uygulama merkezi fizibilite raporu, *Ahiler Kalkınma Ajansı*, Nevşehir.

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). Pomza, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu*, 6, Ankara.

DPT, (2001). VIII. Beş yıllık kalkınma planı madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, endüstriyel hammaddeler alt komisyonu kimya sanayi hammaddeleri çalışma grubu raporu cilt II, Ankara, 179.

DPT, (2004). Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer), 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı ÖİK Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyon Raporu, 24-49.

Düzgün, O.A. (2001). Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Erdoğan, S., T. & Erdoğan, T., Y., Portland Çimentosunun Joseph Aspdın Tarafından İcadı ve Çimento Üretiminde Aspdın Ailesinin Rolü. www.as-beton.com/pdf/portland_çimentosunun_icadi.pdf . Erişim Tarihi: 09.03.2019

Erdoğan, T. (2010). Beton, 3. Baskı, *ODTÜ Yayıncılık,* 757, Ankara.

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

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.

Ergün, G. & Yenisey, M. (2006), Fiberle Güçlendirilmiş Kompozit (FGK) Sabit Protezlerin Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile Değerlendirilmesi ve İçeriklerinin Element Analizlerinin (EDS) Yapılması, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi,* 7(2), 17-25.

Faust, T. & Gert König, E.H. (1997). Stres-Strain Curves of High Strength Lightweight Concrete, *LACER, (2),* 103-109.

Felekoğlu, B. (2003). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İzmir.

Gizlenci, Ö.S. (2018). Zeolit Kurutma Yataklarına Sahip Laboratuvar Ölçekli Bir Kurutma Sisteminin Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.

Gottardi, G., Galli, E. (1985). Mineral and rocks natural zeolites. *Springer Verlag*, 1-16.

Gökçe, H. S., Şimşek, O. Durmuş, G., Demir, İ., (2010). Ham perlit agregalı hafif beton özelliklerine alternatif genleştirilmiş perlit kullanımının etkisi, *Politeknik Dergisi, 13 (2)*, 159-163.

Gönen, T. (2009). Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Elâzığ.

Gönen, T., Onat, O, Cemalgil, C., Yılmazer, B., Altuncu, Y.T. (2012). Beton teknolojisi için yeni atık malzemeler üzerine bir inceleme. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8 (1)*, 36-43.

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.

Grubesa, I.N. (2016). Characteristics and uses of steel slag in building construction, *Woodhead Publishing*, Germany.

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

Gülen, J., Zorbay, F. & Arslan, S. (2012). Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 2 (1)*, 63-68.

Gündüz L, Hüseyin A, (2001). Türkiye ve dünyadaki pomza oluşumlarının malzeme karakteristiği analizi. *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 118-19, İzmir.

Gündüz L, Sarıışık A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O, 1998. Pomza teknolojisi, *Cilt II.*, 203, Isparta.

Gündüz, L., Uğur, İ., (2005). The Effects of different fine and corsapumice aggregate/cementratios on the structural concrete properties without using any admixturex. *Cement and Concrete Research, (35)*, 1859-1864.

Güner, M. & Süme, V. (2000). Yapı malzemesi ve beton, 2. Baskı, *Aktif Yayınevi*, Erzurum.

Gürfidan, A. (2006). Safranbolu Evlerinde Kullanılan Kerpiç Malzemenin Yüksek Fırın Cürufu ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Sakarya.

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

Hossain, K.M.A. (2006). Blended cement and lightweight concrete using scoria: mix design, strength, durability and heat insulation characteristics, *International Journal of Physical Sciences (IJPS), 1(1),* p. 5-16.

Ilıcalı, M. (1998). Karayolu Üstyapısında Erdemir Cürufunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

İzdar, K. E. (1975). Bazı Batı Anadolu perlitleri ve fiziksel özellikleri üzerine bir inceleme. *IV. Türkiye Madencilik Bilimsel Ve Teknik Kongresi*, 557-579, Ankara.

Jha, B. & Singh, D.N. (2016). Basics of zeolites. In: Fly Ash Zeolites: Innovations, *Applications And Direction, Springer*, 5-28, Singapore.

Kabadayı, O. (2018). Kitosan Kaplı Zeolit ile Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.

Kaçar, A. (2006). Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.

Kantarcı, A., Türkmen, İ., (2005). Kendiliğinden yerleşen betonların geçirimlilik katsayısı ve mekanik özellikleri üzerine farklı kür şartlarının ve genleştirilmiş perlit agregasının etkileri, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi,* 361-369, İstanbul.

Karagöz, H. (2013). Kendiliğinde Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Afyon.

Karaman, S. (2007). Tarımsal yapılarda kullanılan hafif inşaat malzemeleri, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(1/2),* 63-69.

Kayali, O. & Zhu, B., (2004). Chloride Induced Reinforcement Corrosion in Lightweight Aggregate High Strength Fly Ash Concrete. *Construction and Building Materials (19),* 327-336.

Keskin, T, Türkyılmaz, O., Kayadelen, M., Batur, E., (2014). Enerji ekipmanları yerli üretimi durum değerlendirmesi ve öneriler, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını (621),* 49-52.

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

Khanjarkhanı, A. (2014). Ham Perlit Agregası ile Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı (H_2SO_4, HNO_3). Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Kılıç, A., Atiş, C.D., Yaşar, E. & Özcan, F. (2003). High strength lightweigth concrete made with scoria aggregate containing mineral admixture. *Cement and Concrete Research, (33),* 1595-1599.

Kılıçarslan, Ş., Sancar, S. & Uzun, İ. (2011). Barit agregalı ağır betonların betonarmede kullanılabilirliği, *7th International Advanced Technologies Symposium*, 87-91, İstanbul.

Koç, M.E. (2012). Hava Sürüklenmiş Betonların Donma-Çözülme Dayanımları ve Görüntü İşleme Tekniği ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Niğde.

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

Kuzvart, M. (1984). Perlite. Industrial Minerals and Rocks. *Developments in Economic Geology*, 18. Czech Republic.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2006). Concrete, microstructure, properties an materials, *Mc Graw-Hiil Companies*, 3rd Edition, New York, 486.

Motz, H. (2002). Production and use of air-cooled blastfurnace and steel slags, *3rd European Slag Conference*, UK.

MTA, (1985). Türkiye perlit envanteri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, (193)*, 1-8, Ankara.

Neufert E. (1983). Neufert yapı tasarımı temel bilgileri, Çeviri: Abdullah Erkan, 1. Baskı, *Güven Yayıncılık*, İstanbul.

Neville, A. M. (1999). Properties of concrete, *4th Edition, Longman*.

Neville, A.M. (1981). Properties of concrete, *Longman Scientific & Technical*, England.

Orhun, O. (1969). Perlit. *Madencilik Dergisi, 8 (4),* 213-222.

Öner, M. (2001). Yüksek fırın cüruflarının çimento üretiminde kullanımında öğütmeyle ilgili parametrelerin etkilerinin belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, (23)*, 61–69.

Öz, A. (2006). Doğal Zeolit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü.* Erzurum.

Öz, E. (2007). Nevşehir Dolaylarında Yüzeylenen Asidik Pomzanın Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Adana.

Özkul, H.M. (2013). Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 76-95, Ankara.

Özkul, H., Taşdemir, M.A, Tokyay, M., Uyan, M. (1999). Her Yönüyle Beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.

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

Özturan, T. (2013). Özel Betonlar, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, 52-75, Ankara.

Öztürk, A., Yıldız, D. (1998). Silindirle sıkıştırılmış beton, baraj teknolojisi ve Türkiye'deki uygulamaları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 393-394, Ankara.

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

Padovani, D. & Corcoran, B. (2004). Improved performance of granulated blast furnace slag (gbs) cements with cement additives, *Cemtech Conference 2004*, İstanbul.

RILEM, (2008). Final report of RILEM TC 205-DSC: Durability of self-compacting concrete. *Materials and Structures (41)*, 225-233.

Sağlık A, (2013). Beton ve kimyasal katkı teknolojisinde yeni gelişmeler ve standartlar, *DSİ Genel Müdürlüğü, TAKK Daire Başkanlığı Beton-Malzeme Lab. Şb. Md.'lüğü ilgili bir çalışma*, Ankara.

Sağlık, A., Tunç, E., Kocabeyler, M. F. (2007). Kimyasal ve mineral katkıların kütle betonu tasarımında yeri ve önemi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 277-297, Ankara.

Sağsöz, A.E. (2007). Farklı Kür Şartlarının Doğal Perlit Agregalı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Erzurum.

Sar, M. (2013). Volkanik Pomza Tozunun Yalın ve Silis Dumanı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* Gaziantep.

Sarıkaya, H. (2006). Zeolit Katkılı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Isparta.

Serin. G., Cankıran,O., Basyiğit, 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, (10),* 15 – 22.

Serin, G., Çankıran, O., Başyiğit, C., Taş, H. H., Fenkli, M. (2016). Normal, hafif ve yarı hafif beton blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1),* 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.* Afyonkarahisar.

Subaşı, S. (2009). Portland Kompoze çimentolu betonlarda uçucu kül ikamesinin donmaçözülme dayanıklılığına olan etkisi. *E-Journal of New World Sciences Academy Technological Applied Sciences, 4(2),* 67-76.

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.

Şahin, R., Taşdemir, M.A., Gül, R. & Çelik, C. (2007). Taze beton özelliklerinin optimizasyonu, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2)*, 127-135. Erzurum.

Şimşek, O. (2007). Beton ve beton teknolojisi, *Seçkin Yayınları*, Ankara.

Şimşek, O., Sancak, E., Yaprak, H. (2005). Beton yollarda alternatif bir malzeme: vakumlu beton, *4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 1132-1137, Konya.

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

Tapan, M. Özvan, A., Erik, O., (2012). Van Gölü kuzeyindeki asidik pomza ve skoryanın betonda katkı olarak kullanılabilirliği, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17 (2),* 108-117.

Taşdemir M A (1982). Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.* İstanbul.

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

Tiber, B. (2011). Perlit İçeren Fonksiyonel Bir Tekstil Ürününün Tasarımı. Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İzmir.

Tokyay, M., Çetin, B.K. (1991). Preslenmiş, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç tuğlalarının dayanım ve su emme özellikleri, *Teknik Dergi, 2(4),* 385-394.

Tokyay, M. & Erdoğdu, K. (1998). Türkiye termik santralarından elde edilen uçucu küllerin karakterizasyonu. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ar-Ge*, Ankara.

Tokyay, M. & Erdoğdu, K. (2002). Cüruflar ve cüruflu çimentolar, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara.

Topçu, İ. B. Akman, A. (2005). Kalıp sökme sürelerinin olgunlukla belirlenmesi, *Deprem Sempozyumu*, 864-869, Kocaeli.

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

Topçu, İ.B. (2006). Beton Teknolojisi. *Uğur Ofset A.Ş.*, 570.

TS 3681, (1982). Genleştirilmiş perlit agregası, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 706 EN 12620+A1, (2009). Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS 802, (1985). Beton Karışımı Hesapları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 26,

TS EN 12390-7, (2010), Beton- Serleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğu tayini, *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 772-4, (2000), Kagir birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kagir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlesinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

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

Türker, P., Erdoğan, B., Katnas, F., & Yeğinobalı, A. (2004). Classification and properties of fly ashes in Turkey, *Turkish Cement Manufacturers Association*, Ankara.

Ulusoy, A. (2008). Uçucu Kül-Tekstil Fabrikası Atık Külü ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kahramanmaraş.

Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R. & Gül, R. (2004). The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete. *Pergoman 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,* 107– 115, İstanbul.

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

White, S. C. (1990). Characterization of fly ash from coal-fired power plants, *Journal of Material Science, 25(12),* 5215-5219.

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

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

Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N., (2006). Pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(40),* 675-680.

Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N. (2005). Pomza taşı ile elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi*, 153, Denizli.

Yıldırım, K., Sümer, M., Subaşı, S., (2018). Hafif beton üretiminde granüle edilmiş fındık kabuğunun kullanılabilirliğinin araştırılması, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 5(2),* 501-511.

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.

Zeybek, O. (2009). Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Tuğla Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Eskişehir.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Halil TEZEL
Doğum Yeri ve Yılı : Kırıkkale/22.01.1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce ve Almanca
E-posta : htezel25@mail.com

Eğitim Durumu

Lise : Kırıkkale Endüstri Meslek Lisesi
Lisans : Kırıkkale Üniversitesi

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Arasbey Mühendislik
İş Yeri : Tek Yapı Denetim