

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POMZA AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF
BETON ÖZELLİKLERİNİN UÇUCU KÜL İKAMESİ İLE
İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA**

Mehmet Oğuzhan KALE

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Prof. Dr. Savaş CANBULAT
Prof.Dr.Ahmet Celal APAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2020

TEZ ONAYI

Mehmet Oğuzhan KALE tarafından hazırlanan " **Pomza Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Uçucu Kül ikamesi ile İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Araştırma** " adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Kastamonu Üniversitesi


.....

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Savaş CANBULAT
Kastamonu Üniversitesi


.....

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Düzce Üniversitesi


13.12.2020

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Nur BELKAYALI


.....

TAAHHÜTNAME

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

İmza

Mehmet Oğuzhan KALE



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POMZA AGREGASI KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF BETON ÖZELLİKLERİNİN UÇUCU KÜL İKAMESİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ARAŞTIRMA

Mehmet Oğuzhan KALE

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Dnişman: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Bu tez çalışmasında; Endüstriyel atık olan uçucu külün farklı oranlarda (%1, %3 ve %5) çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu hafif beton üretimi hedeflenmiştir. Üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik açıdan hafif betona göre daha üstün özellikli, basınç dayanımı yüksek ve hafif bir yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır. Hafif beton üretiminde Nevşehir yöresi asidik pomza agrega olarak kullanılmıştır. Üretilen bu hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmış ve mikro yapısal analizi yapılmıştır.

Fiziksel farklılıkların tespiti için, kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, kompasite ve donma çözülme deneyleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerin tespiti için ise yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Malzeme içerisinde meydana gelen yapısal farklılıkları incelemek için SEM görüntüleri yorumlanmıştır.

Çalışma sonucunda; uçucu kül miktarının artması ile numunenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonuç %5 uçucu kül ikameli numunelerden elde edilmiştir. Ekolojik dengeyi olumsuz etkileyen endüstriyel atıkların inşaat gibi büyük bir sektörde kullanılması, atıkları bertaraf etmek için bir fırsat olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, uçucu kül, pomza, SEM, fiziksel ve mekanik özellik.

2020, 66 sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE IMPROVEMENT WITH FLY ASH SUBSTITUTE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE PROPERTIES PRODUCED USING PUMICE AGGREGATE

Mehmet Oğuzhan KALE
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Hakan ÇAĞLAR

In this thesis; As a result of the use of fly ash which is industrial waste in different ratios (1%, 3% and 5%) as cement substitute material, lightweight concrete production is aimed.

It is aimed to obtain the physical and mechanical properties of the produced samples are superior properties, high compressive strength and lightweight building material according to light concrete. In light concrete production was used as aggregate acidic pumice of Nevsehir region. The physical and mechanical properties of this lightweight concrete were investigated and microstructural analysis was performed.

For the determination of physical differences, dry unit volume weight, capillary water absorption, porosity, composite and freeze thaw tests were performed. For the determination of mechanical properties, tensile splitting strength and compressive strength tests were applied. SEM images were interpreted to examine the structural differences in the material.

In the result of study; the increase in the amount of fly ash was found to improve the physical and mechanical properties of the sample. The best result was obtained from 5% fly ash substitute samples. The use in a large sector such as construction of industrial wastes which adversely affects the ecological balance will be an opportunity to eliminate wastes.

Key Words: Light concrete, fly ash, pumice, SEM, physical and mechanical properties.

2020, 66 pages

Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Öncelikle, çalıőmalarımın eseri olan bu yüksek lisans tezim süresince her türlü bilgi ve teknik birikimini benden esirgemeyen ,değerli danışmanım sayın Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÇAĞLAR 'a, tez çalışması süresince manevi desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Arzu ÇAĞLAR'a sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Son olarak, beni yüksek lisans çalıőmamı tamamlama hususunda her zaman teşvik eden ve destekleyen aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Mehmet Oğuzhan KALE
Kastamonu, Ocak, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı Ve Önemi.....	2
1.2. Kaynak Araştırması.....	4
2. KURAMSAL ÇERÇEVE.....	10
2.1. Beton.....	10
2.1.1. Beton Çeşitleri.....	11
2.1.1.1. Basınç Dayanımlarına Göre Betonlar.....	11
2.1.1.2. Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar.....	11
2.1.1.3. Üretildikleri Yerlere Göre Betonlar.....	12
2.1.1.4. Özel Betonlar.....	12
2.1.2. Betonun Avantajları Ve Dezavantajları.....	17
2.2. Hafif Beton.....	17
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Pomza.....	21
3.1.2. Uçucu Kül.....	26
3.1.3. Çimento.....	32
3.1.4. Kum.....	34
3.1.5 Karışım Suyu.....	35
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Hafif Beton Numunelerinin Üretilmesi.....	35
3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler.....	37
3.2.1.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık (KBHA).....	37
3.2.1.2. Kılcal Su Emme.....	38
3.2.1.3. Porozite.....	38
3.2.1.4. Kompasite.....	39
3.2.1.5. Donma-Çözülme Dayanımı.....	39
3.2.3. Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler.....	40
3.2.2.1. Basınç Dayanımı.....	40
3.2.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı.....	41
3.2.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (SEM).....	41
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME.....	43
4.1. Numunelerin Fiziksel Deney Sonuçları.....	43
4.2. Numunelerin Mekanik Deney Sonuçları.....	44
4.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (SEM).....	45

4.4. Numunelerin Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	47
4.4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık (KBHA)	47
4.4.2. Kılcal Su Emme.....	48
4.4.3. Porozite.....	49
4.4.4. Komposite.....	50
4.4.5. Donma-Çözülme Etkisi.....	50
4.5. Numunelerin Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	51
4.5.1. Basınç Dayanımı.....	51
4.5.2. Yarmada Çekme Dayanımı.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	54
KAYNAKLAR.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Lifli betonlarda kullanılan bazı lif çeşitleri.....	13
Şekil 2.2. Bir kemer baraj kütle betonu.....	13
Şekil 2.3. Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem.....	14
Şekil 2.4. Püskürtme beton uygulaması.....	15
Şekil 2.5. Kendiliğinden yerleşen beton.....	16
Şekil 2.6. Hava sürüklenmiş betonun içyapısı.....	16
Şekil 3.1. Pomza agregasının gözenekli yapısı.....	21
Şekil 3.2. Asidik ve Bazik pomza örnekleri.....	22
Şekil 3.3. Pomza Türkiye Rezerv Haritası.....	24
Şekil 3.4. Pomzanın ülkemizde rezerv durumu.....	24
Şekil 3.5. Uçucu kül ve taban külü üretim süreci.....	27
Şekil 3.6. Uçucu küllerin SEM görüntüleri; a) F sınıfı uçucu kül b) C sınıfı uçucu kül.....	28
Şekil 3.7. İngiltere’de kullanılan uçucu kül alanları ve oranları.....	31
Şekil 3.8. Çimento üretim tesisi çizimi.....	33
Şekil 3.9. Hafif beton malzemelerinin karıştırılması.....	36
Şekil 3.10. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi.....	36
Şekil 3.11. Numunelerin kür edilmesi.....	37
Şekil 3.12. Donma-çözünme deney cihazı.....	40
Şekil 3.13. Basınç dayanımı deneyi.....	41
Şekil 4.1. Referans numunenin SEM görüntüsü	45
Şekil 4.2. a) %1 oranında uçucu kül katkı, b) %3 oranında uçucu kül katkı, c) %5 oranında uçucu kül katkı hafif betonların SEM görüntüleri.....	46
Şekil 4.3. KBHA değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.4. Kılcal su emme değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.5. Porozite değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.6. Komposite değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 4.7. Donma-çözülme etkisi değerlerinin karşılaştırılması.....	51
Şekil 4.8. Basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.9. Yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	52

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Türkiye’deki pomza kayalarının genel fiziksel özellikleri.....	23
Tablo 3.2. Türkiye’deki pomza kayalarının genel kimyasal özellikleri.....	23
Tablo 3.3. Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonuna örnek.....	23
Tablo 3.4. Çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimleri.....	30
Tablo 3.5. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar, kullanım amacı ve yeri.....	31
Tablo 3.6. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri.....	34
Tablo 3.7. Hafif beton üretiminde kullanılan malzeme oranları.....	35
Tablo 4.1. Hafif beton numunelerinin fiziksel deney sonuçları.....	44
Tablo 4.2. Hafif beton numunelerinin mekanik deney sonuçları.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Si	Silisyum
Al	Alüminyum
K	Potasyum
Na	Sodyum
°C	Santigrad Derece
SiO ₂	Silisyumoksit
Al ₂ O ₃	Alüminyumoksit
µm	Mikrometre
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat

Kısaltmalar

MPa	Megapaskal
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TS	Türk Standartları
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
cm	Santimetre
MW	Megawatt
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
DSİ	Devlet Su İşleri
CEM	Çimento
REF	Referans Numune
UK	Uçucu Kül
V	Hacim
L	Silindir Yüksekliği
Ft	Yarmada Çekme Dayanımı
P _{max}	Maksimum Yük
m _{son}	Son Ağırlık
m _{ilk}	İlk Ağırlık
KBHA	Kuru Birim Hacim Ağırlık
ACI	Amerikan Beton Endüstrisi

1. GİRİŞ

İnsanoğlu barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılara ihtiyaç duymaktadır. Sağlam ve güvenli yapılar elde etmek için ise en önemli unsur malzemedir (Gül, 2018). İnşaat endüstrisinde en yaygın kullanılan malzeme ise beton yapı malzemesidir (şimşek, 2007). Beton, üretim prosesinden kullanım prosesine kadarki tüm aşamalarında dikkat ve titizlik isteyen bir malzemedir. Köprü, alt ve üst yapı, baraj vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kolay şekil verebilme, ekonomiklik, dayanıklılık gibi özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine oranla daha fazla tercih edilmektedir. (Özkul vd., 2004).

21. Yüzyılda teknolojinin gelişmesine paralel olarak beton endüstrisinde de gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen kullanım amacına göre çok çeşitli betonlar üretilmiştir. Geleneksel betonun yanı sıra, bilimsel çalışmaların artması ve teknolojinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen birçok beton çeşidi üretilmiştir (Baradan ve Yazıcı, 2003). Beton teknolojisi alanında kısa zamanda yer eden bu betonlara özel betonlar denilmektedir (Yazıcıoğlu ve Bozkurt, 2006). Ağır beton, püskürtme beton, kendiliğinden yerleşen beton bu özel betonlardan birkaçıdır (Yılmaz, 2017). Özel betonlar arasında yer alan betonlardan biri de hafif betonlardır (Aruntaş vd., 2007).

Son yıllarda hafif beton kompozit, düşük yoğunluk, ölü yükün azaltılması ve düşük taşıma maliyetleri nedeniyle daha popüler inşaat malzemesi haline gelmiştir (Bala vd., 2014). Hafif betonlar, birim ağırlığı az, yalıtımı yüksek betonlardır (Topçu, 2006). Birim ağırlığı normalden daha az olan ve mekanik direnci göz önüne alındığında yapı ağırlığını azaltacağı için yapı teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Razavi, 2011). Geleneksel betona kıyasla birim ağırlığının az olması yapının zati yükünün azalmasına dolayısıyla yapıya etki edecek deprem yükünün de azalmasını sağlayacak ve depremde oluşabilecek zararı en aza indirecektir (Akkaş, 2011). Ayrıca yapı ağırlığının azalmasına paralel olarak taşıyıcı elemanların kesitlerinin azalması hafif betonun inşaat sektöründeki kullanım oranını arttırmaktadır (Taşkın, 2016).

Hafif betonda geleneksel agregaların yerine uçucu kül, geliştirilmiş kil, geliştirilmiş perlit, pomza vb. kısmen veya tamamen kullanılabilir (Biçer vd., 2017).

Termik santrallerin çok miktarda ürettiği kömürün son ürünü olan uçucu kül, inşaat sektöründe kullanılması popülerlik kazanmıştır. Beton uygulamalarının çeşitliliği için sürdürülebilir bir seçenek olmuştur (Yılmaz ve Değirmenci, 2009).

Uçucu kül, çevreye zararlı potansiyel olarak önemli miktarda bileşen içerir. Dünyada yılda yaklaşık 600 milyon ton uçucu kül üretildiği bilinmektedir. Türkiye'de yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon tondur ve bunun sadece küçük bir kısmı kullanılmaktadır (Çiçek ve Çinçin, 2015).

Bu organik ve inorganik atıkların bertaraf edilmesi, ciddi çevresel problemler nedeniyle ciddi bir problemdir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, inşaat endüstrisi bu endüstriyel atıkların taşınması için bir geçit açmıştır (Ganjian vd., 2009).

Bu tez çalışmasında, agrega olarak Nevşehir yöresinde bulunan asidik pomza agrega olarak kullanılmıştır. Endüstriyel atık olan uçucu kül ise çimento ikame malzemesi olarak kullanılarak hafif beton üretimi yapılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı Ve Önemi

Bu tez çalışmasında; doğal kaynaklarımızdan olan pomza agrega olarak ve endüstriyel atık olan uçucu külün farklı oranlarda (%1, %3 ve %5) çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu hafif beton üretimi hedeflenmiştir. Üretilen bu hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılacaktır.

Mekanik özelliklerin tespiti için Yarmada Çekme Dayanımı ve Basınç Dayanımı deneyleri gerçekleştirilecektir.

Fiziksel farklılıkların tespiti için ise, kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, kompasite ve donma çözülme deneylerinin yapılması, malzeme içerisinde

meydana gelen yapıları incelemek için SEM görüntülerinin alınması planlanmaktadır.

Çalışma sonucunda fiziksel ve mekanik açıdan hafif betona göre daha üstün özellikli, basınç dayanımı yüksek ve hafif bir yapı malzemesi elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışması uygulamaya geçirildiğinde;

- ✓ Üretilen hafif beton yapının zati yükünü düşürecektir. Bu durum temele aktarılan yüklerin azalmasını, dolayısıyla temel giderlerinin de azalmasını sağlayacaktır.
- ✓ Hafif betonla üretilen yapının depremler sırasında alacağı yatay kuvvetler düşük olacaktır ve bu yatay kuvvetlerin etkisinde oluşan kesit etkileri de küçük olacaktır. Dolayısıyla hafif beton yatay yönlü kuvvetlere dayanım açısından yarar sağlayacaktır.
- ✓ Uygulama kolaylığına sahip hafif betonun yapı malzemesi olarak kullanılması ile malzeme yönünden ekonomik kazançlar elde edilecektir.
- ✓ Depreme karşı dayanıklılık ve ses yalıtımı için ikinci bir yalıtım malzemesi kullanımının ortadan kalkması şeklinde yarar sağlayacaktır.
- ✓ Deprem etkisi, ekonomiklik, ısı ve ses izolasyonu, donma-çözülme gibi birçok problemin çözümünde önemli bir rol oynayacaktır.
- ✓ Uçucu kül ve bor atığı gibi endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması geri dönüşümü sağlanarak çevre kirliliği önleyecek ve ülke ekonomisine destek sağlayacaktır.
- ✓ Doğal hammaddelerimiz ve endüstriyel atıklarımızdan üretilen hafif beton ile sürdürülebilir yapı üretimine katkıda bulunulacaktır.

- ✓ Bina yapımında kullanılan bu malzemeler gelecek kuşaklara daha iyi bir çevre bırakılması bakımından önem taşımaktadır.
- ✓ Yeni bir malzeme üretiminde yurt dışından malzeme almak yerine yerel hammaddelerimizin üretime katılması da ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.
- ✓ Deneyler sonucunda yeni bir malzeme üretimine veya mevcut malzemede iyileştirmeye gidilmesi teknolojiye; tez sonunda elde edilen verilerin bilimsel ortama aktarılması ile bilime katkı sağlanacaktır.

1.2. Kaynak Araştırması

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

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

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

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

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

Gündüz ve Uğur (2005), herhangi bir mineral katkı ve akışkanlaştırıcı kullanmada pomza agregası ile hafif beton üretimini araştırmışlardır. Numune üretiminde farklı agregası ve çimento oranları kullanmışlardır. Sonuç olarak; çimento miktarının artmasına paralel olarak üretilen numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinde artış meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Mannan vd., (2006), palmye kabuklarını kaba agregası olarak kullanarak hafif beton üretimi yapmışlardır. Sonuç olarak; %20 oranında palmye kabuklarıyla üretilen hafif beton numunelerinin su emme oranlarının %18 ila %20 arasında değiştirdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca birim ağırlıklarının 1860-1930 kg/m³ ve 28 günlük basınç dayanımlarının 234 kg/cm² olduğunu tespit etmişlerdir.

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

Türkel ve Kadiroğlu (2007) yaptıkları çalışmada, pomza agregası, uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak taşıyıcı hafif betonlar üretmeyi amaçlamışlardır. Ürettikleri betonları çökme, birim hacim ağırlık, basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı deneylerine tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, ürettikleri taşıyıcı hafif betonların ACI 213R-87 standardında belirtilen taşıyıcı hafif beton dayanımının (17.2 MPa) üzerinde bir değere sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Uygunoğlu ve Ünal (2007) yaptıkları çalışmada, pomza agregası kullanarak ürettikleri hafif beton harçlarının basınçlı buhar ile kür edildikten sonra fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. 300 kg/m³ çimento miktarına, 0.15 su/çimento orana ve 0-4 mm boyutunda pomza agregası kullanarak harç karışımı üretimi yapmışlardır. Ürettikleri numunelere birim hacim ağırlık, porozite, su emme ve basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; pomzalı harç numunelerinin 8 saat boyunca basınçlı buhar kürü uygulamasına tabi tutulmaları sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik özellik verileri, havada ve suda kür edilen numunelere göre daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir.

Erdoğan (2007) yaptığı çalışmada, Nevşehir ve Toprakkale yöresi pomzalarını agrega olarak kullanarak beton üretimi yapmıştır. Farklı oranlarda bazaltik pomza kullanarak ürettiği beton numunelerinin fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; Nevşehir ve Toprakkale yöresi pomzalarından üretilen beton ve briketlerin yapı sektöründe hem deprensellik hem de ısı ve ses izolasyonu sağlaması yönünden oldukça uygun bir malzeme olduğunu tespit etmiştir.

Polat (2007) yaptığı çalışmada, ince agrega yerine %10, %20 ve %30 oranlarında geliştirilmiş perlit agregası ve pomza kullanarak beton numuneleri üretmiştir. Ayrıca karışıma %0,1 oranında hava sürükleyici katkı eklemiştir. Numunelere 100 kez uygulanan donma-çözülme çevriminin ardından, ürettiği betondaki birim ağırlığının, kılcal geçirimsizliğin ve basınç dayanımının fiziksel ve mekanik etkilerini incelemiştir. Çalışma sonucunda; geliştirilmiş perlit agregası ve pomza oranlarının artmasıyla basınç dayanımı ve birim ağırlığın azaldığını tespit etmiştir. Bunun yanı

sıra kılcal geçirimsizlik katsayısının arttığını ve donma-çözülme çevrimi sonucunda betonun, birim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığını bildirmiştir.

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

Kozak ve Ünal (2010) yaptıkları çalışmada, agrega olarak Isparta pomzası ve Afyonkarahisar tufünün ayrı ayrı olarak kullanılması ile hafif beton üretimi yapmışlardır. Karışımdaki agregaların granülometrisi ve su/çimento oranı sabit tutulmuş, çimentodan ağırlıkça ikame edilerek (120, 140, 160, 180 kg/m³) iki farklı malzemedan hafif beton üretmişlerdir. Kullanılan agregalarda aşınma miktarı, çamurlu madde miktarı, birim hacim ağırlık, organik madde miktarı, özgül ağırlık, su emme ve tane dağılımı değerleri tespit etmişlerdir. Betonlar üzerinde; ısı iletkenlik, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerini bulmuşlardır. Sonuçta; blok eleman üretiminde kullanılan hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının küçük olması binalarda kullanılacak olan blok elemanların bina zati ağırlığında azalma meydana geleceğini bildirmişlerdir.

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

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

Temiz ve Akçekale (2014) yapmış oldukları çalışmada, pomza agregası kullanarak hafif beton üretimi yapmışlardır. Üretim sırasında ahşap talaşı, uçucu kül ve öğütülmüş portakal kabuğu kırıntısından katkı maddesi olarak kullanmışlardır. Ürettikleri hafif beton numunelerinin yalıtım özellikleri ve dayanımını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; ahşap talaşı, uçucu kül ve portakal kabuğu kırıntılarının pomza ile birlikte kullanılmasıyla ses ve ısı yalıtım özelliklerinde iyileşme olduğunu ifade etmişlerdir.

Serin (2016) yaptığı çalışmada normal agrega, Isparta-Atabey agregası, Isparta pomzası ve diyatomit agregalarını kullanarak hafif beton üretimi yapmıştır. Üretilen numunelere iki eksenli basınç deneyi, özgül ağırlık, su emme miktarı, birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı, porozite ve kompasite deneyleri uygulamıştır. Çalışma sonucunda, Atabey agregası ile üretilen beton numunelerinin, pomzalı ve diyatomitli beton numunelere oranla 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.

Yıldırım vd., (2018) bu çalışma kapsamında, granüle edilmiş fındık kabuğunu, %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.

Akyüncü (2019) yapmış olduğu çalışmada, hafif agregası olarak Kayseri ili Talas bölgesinden temin edilen pomza kullanılarak beton bloklar üretilmiş ve normal agregalı betonlarla karşılaştırmıştır. Üretilen beton bloklar 1m³ lük bir alanda yangına maruz bırakılmıştır. 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.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Beton

Kullanılan malzeme miktarları belli standartlara göre belirlenen beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra istenilen karışım ve ebatlardaki kalıplar içerisine boşluksuz olarak yerleştirilen, başlangıçta plastik kıvamda olan ve çimentonun hidrasyonu ile sertleşen kompozit bir malzemedir (Öztürk, 2012 ; Bakır, 2011 ; TS 802, 1985 ; Kocataşkın, 1991). Günümüzde birçok farklı yapılarda (yollar, binalar, köprüler, limanlar, hava alanları vb.) kullanılan beton ucuz ve kolay üretilebilirliği sayesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Topçu vd., 2006). Dünyada beton tüketimi her yıl yaklaşık 11 milyar metrik tondur. Bu kadar fazla miktarda kullanılması üç başlıca nedenle açıklanabilmektedir:

- 1- Beton, suya karşı son derece dayanıklı bir malzemedir. Su ile temas ettiğinde ahşap gibi çürümemekte, çelik gibi korozyona uğramamaktadır.
- 2- Betonun oluşturan malzemelere ulaşımının, temin edilmesinin ve bir araya getirilmesinin kolay olmasıdır.
- 3- Betonun oluşturan malzemelerin diğer malzemelere göre ucuz olmasıdır. Beton birleşim malzemelerine dünyanın her yerinden kolaylıkla ulaşmak ve maliyetinin düşük olması betonu cazip hale getirmektedir (Mehta, 2006)

Kaliteli bir betonda üretim maksadına bakılmaksızın üç ana özelliğe sahip olması istenmektedir (Yılmaz, 2017 ; Öztürk, 2012). Bunlar;

- İşlenebilir olma,
- Dayanımlı olma,
- Dış etkilere karşı dayanıklı olma

Beton yapı malzemesinin özellikleri taze beton ve sertleşmiş beton özellikleri olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir (Bostancı, 2014).

A. Taze Betonun Özellikleri

- ✓ İşlenebilme ve Kıvam
- ✓ Olgunluk
- ✓ Priz Süresi
- ✓ Birim Ağırlık
- ✓ Üniformluk

B. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

- ✓ Basınç Dayanımı
- ✓ Çekme Dayanımı
- ✓ Elastisite Modülü ve Poisson Oranı
- ✓ Yorulma Dayanımı
- ✓ Dayanıklılık

2.1.1. Beton Çeşitleri

Betonlar basınç dayanımlarına, yoğunluklarına, üretim yerlerine ve özel betonlar olmak üzere 4 guruba ayrılmaktadır.

2.1.1.1. *Basınç Dayanımlarına Göre Betonlar*

- ❖ *Düşük Dayanımlı Betonlar:* 28 günlük basınç dayanımı 20 MPa'dan az olan betonlara denilmektedir (Mehta, 2006),
- ❖ *Normal Dayanımlı Betonlar:* C50'ye kadar basınç dayanımına (20-40 N/mm²) sahip olan betonlardır. (Serinoğlu, 2011 ; Bakır, 2011).
- ❖ *Yüksek Dayanımlı Betonlar:* C 50 ve üstü basınç dayanımına (40 N/mm²'den fazla) sahip betonlardır. Bu betonların üretiminde kullanılacak agregalar TS 802 de belirtilen agrega gruplarından üretilmektedir (Eren, 2009 ; Öztürk, 2012 ; Yılmaz, 2017 ; Serinoğlu, 2011 ; Bakır, 2011).

2.1.1.2. *Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar*

- ❖ **Hafif Beton:** Etüv kuru durumu durumundaki yoğunluğu 2000 kg/m³'den az olan betonlara denilmektedir. Hafif betonlar yoğunlukla atık maddelerin değerlendirilmesi ya da yalıtım ve hafifliğin istenildiği durumlarda üretilen

beton türüdür. (Serinoğlu, 2011 ; Öztürk, 2012 ; TS EN 206-1, 2002 ; Bakır, 2011).

- ❖ **Normal Beton:** Normal agregalarla üretilen ve yoğunluğu 2000-2600 2600 kg/m³ arasında değişen betonlara denir. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanım ve kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı en yaygın kullanım alanına sahip, taşıyıcı amaçlı üretilen beton türüdür. (Serinoğlu, 2011) (Öztürk, 2012) (TS EN 206-1, 2002). (Bakır, 2011).
- ❖ **Ağır Beton:** Etüv kurusu yoğunluğu 2600 kg/m³'ten büyük betonlara denilmektedir. Özellikle zararlı ışınlardan korunmak istenilen durumlarda üretilmektedir. Nükleer santrallerde ve hastanelerin ışın tedavisi ve radyasyon içeren alanlarında kullanılmaktadırlar (Serinoğlu, 2011) (TS EN 206-1, 2002) (Bakır, 2011). Bu betonlar üretilirken agrega olarak limonit, magnetit, barit gibi ağır agregalar kullanılmaktadır (Serinoğlu, 2011)

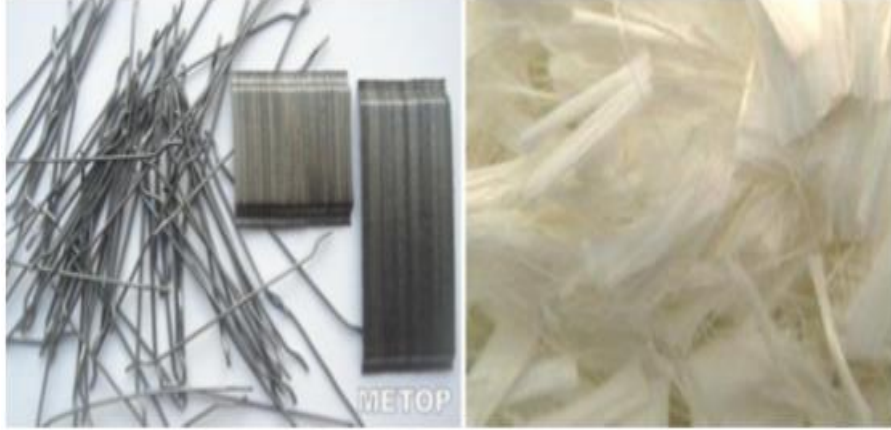
2.1.1.3. Üretildikleri Yerlere Göre Betonlar

- ❖ **Şantiye betonu:** Betonun oluşturan malzemelerin şantiye ortamında betonier ya da elle homojen bir şekilde karıştırılarak üretilen betonlardır. Bu betonların 5 km ye kadar dağıtımları mümkündür. Üretim için kalifiye işçi kullanılmasına dikkat edilmelidir. (Serinoğlu, 2011) (Bakır, 2011).
- ❖ **Santral betonu:** Hazır beton santrallerinde üretimi yapılan, transmikserler yardımıyla şantiye alanına taşınan betonlara denir (Bakır, 2011).

2.1.1.4. Özel Betonlar

- ❖ **Lifli beton:** Betonun zayıf yönlerini iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine değişik yöntemlerle ve farklı miktarlarda liflerin süreksiz olarak dağıtılması sonucu üretilen betonlara denilmektedir (Şimşek, 2007; Can vd., 2009). Lifli betonlarda lif olarak genellikle çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlar kullanılmaktadır (Şekil 2.1). Beton içerisine homojen bir şekilde dağıtılan lifler betonda oluşabilecek çatlakları önleyerek daha dayanıklı bir beton elde edilmesini sağlamaktadır. Lifler betonun eğilme, çekme ve darbeye karşı dayanımını olumlu yönde etkilemesinden dolayı yol,

hava alanları, büyük fabrika inşaatları vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Sağlık vd., 2007).



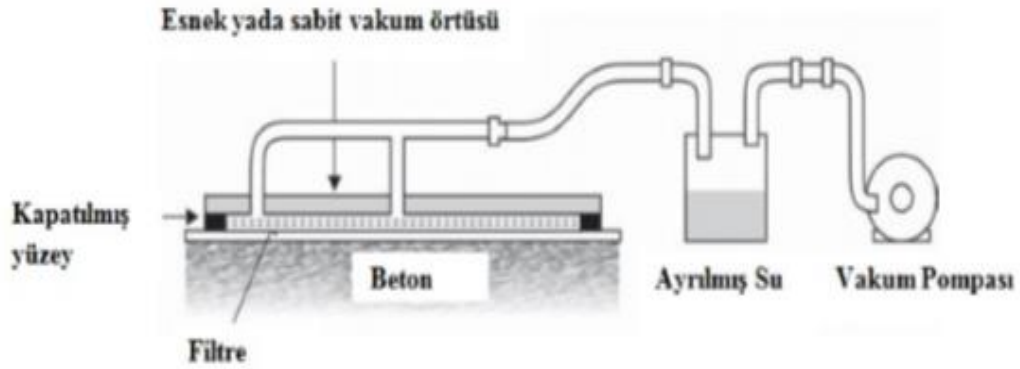
Şekil 2.1. Lifli betonlarda kullanılan bazı lif çeşitleri (Bostancı, 2014)

- ❖ **Kütle beton:** Çimentonun su ile hidratasyonu sonucu açığa çıkan hidratasyon ısı ve akabinde gerçekleşen hacim değişikliği nedeniyle oluşan termal çatlakların minimize edilmesi amacıyla tedbirler alınarak üretilen büyük ebatlı betonlara denir (Bakır, 2011). Kütle betonunda dayanımdan ziyade termal etkiler, dayanıklılık ve ekonomi daha ön plana çıkmaktadır. Şekil 2.2’de verilen kütle betonu, liman, baraj, mendirek gibi su ile temas eden büyük hacimli elemanlarda kullanılmaktadır (Bostancı, 2014).



Şekil 2.2. Bir kemer baraj kütle betonu (Bostancı, 2014)

- ❖ **Vakumlu beton:** Kalıplı ya da kalıpsız olarak dökülen geleneksel taze betona vakum uygulanarak içerisindeki su ve hava kabarcıklarının alınması sonucu üretilen betonlara denilmektedir (Güner, 2000). Beton içerisindeki suyun alınmasıyla s/ç oranında azalma meydana gelmektedir. Bu durum betonun basınç dayanımında artışa neden olmaktadır. Ayrıca kalıp söküm süresi kısalmış olup zamandan tasarruf edilmektedir (Bostancı, 2014). Vakumlu beton, havaalanı, akaryakıt istasyonu ve karayolu gibi betonlara uygulanmaktadır (Bakır, 2011). Şekil 2.3’de vakumlu betonun üretilmesi için oluşturulan sistem verilmiştir.



Şekil 2.3. Vakumlu beton üretmek amacıyla oluşturulan sistem (Bostancı, 2014)

- ❖ **Püskürtme beton:** Önceden hazırlanmış yüzeye, basınca dayanıklı lastik ya da özel imal edilmiş saç borularla iletilen ve uygulama alanına basınçlı bir şekilde püskürtülen betona püskürtme beton denilmektedir (Çakıroğlu ve Terzi, 2010). Püskürtme beton yüzeye iki farklı yöntemle uygulanmaktadır. Bunlar
 - ✓ Kuru yöntem; Çimento ve agregadan oluşan kuru karışım püskürtme tabancasından çıktığı anda su ve katkı maddeleriyle karışması sonucu üretilen yöntemdir.
 - ✓ Yaş yöntem; betonu oluşturan tüm bileşenlerin homojen bir şekilde karıştırılıp uygulandığı yöntemdir.

Şekil 2.4’de püskürtme beton uygulaması verilmektedir. Püskürtme beton her tip inşaat, kavisli ya da kubbeli elemanlarda kolaylıkla uygulanabilmektedir (Çakıroğlu ve Terzi, 2010).



Şekil 2.4. Püskürtme beton uygulaması (Bostancı, 2014)

- ❖ **Ferrocement beton:** Belirli aralıklarla dizilen demirler üzerine çok katlı tel örgülerin bağlanması ve tüm donatının harçla kaplanmasıyla üretilen betona denilmektedir. Ferrocement beton üretiminde fazla işçiliğe gerek duyulmamaktadır. Deniz yapılarında, alt yapı elemanlarında, tarım alanlarındaki yapılarda vb. değişik alanlarda uygulanmaktadır (Topçu vd., 2005)
- ❖ **Silindirle sıkıştırılmış beton:** Düşük dozlu çimentodan üretilen, uygulama alanına kamyonlarla taşınabilen, buldozer ya da greyder 30-40 cm tabakalar halinde yayılabilen, vibrasyonlu silindirler ile sıkıştırılabilen, yüksek dayanımlı beton çeşididir (Şimşek, 2007). Yol, baraj ve liman yapımında kullanılmaktadır.
- ❖ **Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB):** KYB, 1990'lı yıllarda Japonya'da ortaya çıkan, geleneksel betonun kolay yerleşememesi ve ayrışması gibi problemlere çözüm olan beton çeşididir. Vibrasyon gerektirmeden kendi ağırlığı ile sıkışabilen, terleme ve ayrışmaya uğramadandöküldüğü kalıba yerleşen yüksek dayanımlı ve akıcı kıvamına sahip bir betondur (Felekoğlu, 2003). KYB (Şekil 2.5) düşük s/ç oranı sayesinde yüksek dayanıma sahip olmasının yanı sıra üstün durabilite özelliğine de sahiptir (Bostancı, 2014)



Şekil 2.5. Kendiliğinden yerleşen beton (Bostancı, 2014)

- ❖ **Hava Sürüklenmiş Beton:** Çimento hamuru içerisinde birbirlerine çok yakın olmalarına rağmen aralarında bağlantı bulunmayan çok sayıda hava kabarcığı bulunan betonlara denilmektedir. Soğuk hava şartlarına karşı dayanıklılık göstermeleri için ortaya çıkmıştır. Donma-çözülme ve buz çözücü tuzların etkilerine karşı dayanıklılık gösteren bu betonlarda, bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen yağ asitlerin tuzları ve ağaç reçinelerinin alkali tuzları hava sürükleyici katkı olarak kullanılmaktadır. Hava sürüklenmiş betonun içyapısı Şekil 2.6' da sunulmuştur (Koç, 2012).



Şekil 2.6. Hava sürüklenmiş betonun içyapısı (Bostancı, 2014)

2.1.2. Betonun Avantajları Ve Dezavantajları

Betonun avantajları;

- Taze beton plastiklik özelliğinden dolayı beton elemanların istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilmesi,
- Sertleşmiş beton elemanlarının yerinde üretilebilmesi veya fabrikada önceden üretilip sertleştikten sonra yerine getirilip monte edilmesi,
- Yerleştirme yöntemlerinin kolay ve çeşitlilik arz etmesi,
- Yüksek basınç dayanımına sahip olması,
- Sertleşmiş betonun, çevreden oluşabilecek etkilere karşı diğer yapı malzemelerine oranla dayanıklılığının yüksek olması
- Bakım işlemlerinin fazla maliyet gerektirmemesi,
- Betonun, betonarmeyi oluşturan çelik donatılarla aderans özelliğinin iyi olması,
- Diğer yapı malzemelerine oranla daha ekonomik olması (Erdoğan, 2013).

Betonun dezavantajları;

- Çekme dayanımı düşük bir malzeme olması,
- Gevrek bir malzeme olması
- Islanma-kuruma veya sıcaklık farklılıkları gibi olaylar karşısında hacim değişikliğine uğrayabilmesi
- Zaman içerisinde, sabit yükler altında kalıcı deformasyona uğrayabilmesi,
- Birim ağırlıklarının diğer yapı malzemelerine göre daha fazla olması (Yılmaz, 2017).

2.2. Hafif Beton

Hafif beton; etüv kurusu yoğunluğu 800-2000 kg/m³ arasında değişen betonlar olarak tanımlanmaktadır (Ceylan, 2005) (TS EN 206-1, 2002) (Gönen, 2009) (Taşkın, 2016) (Şimşek, 2016). Son zamanlarda yapılarda kullanım oranı artan hafif beton, gerek teknik, gerek ekonomik gerekse çevresel faydaları açısından çok yönlü kullanılan yapı materyali olmuştur (Haque vd., 2004). Hafif betonlar ısı ve ses

yalıtımı sağlaması ve yapının zati yükünü azaltması nedeniyle beton çeşitleri arasında oldukça önemli bir konumdadır (Akol, 2010) (Öztürk, 2012). Düşük dayanıma sahip hafif betonlarda dayanımı arttırmak amacıyla su/çimento oranı düşük tutulmaktadır. Yani yüksek bir dayanım için çimento miktarının normal betona kıyasla daha fazla olması gerekmektedir (Yılmaz, 2017).

Hafif betonların farklı yöntemlerle üretimi yapılmaktadır. Bunlar;

- ✓ Agregada olarak yoğunluğu düşük agrega kullanımı ile,
- ✓ Kum kullanmaksızın boşluklu beton üretimi ile,
- ✓ Köpüklü beton üretimi ile,
- ✓ Gaz beton üretimi şeklinde sıralanabilmektedir (Şimşek, 2016)

En yaygın ve ekonomik hafif beton üretim yöntemi hafif agrega kullanımı ile üretilen hafif betonlardır.

Geleneksel betonlara kıyasla daha düşük birim ağırlığına sahip hafif betonlar mukavemetlerine, kullanım amacına ve birim ağırlıklarına göre sınıflandırılırlar (Sancak, 2005) (Taşkın, 2016). Basınç dayanımlarına ve birim ağırlıkları göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar;

- ✓ *Yalıtım betonu*: Basınç dayanımı 0.2-2.5 MPa ve birim ağırlığı 0.2-0.6 kg/dm³ arasında değişen betonlara denilmektedir. Havalı veya hafif agrega kullanımı ile üretilmektedirler.
- ✓ *Taşıyıcı hafif beton*: Basınç dayanımı 15-60 MPa ve birim ağırlığı 1.2-2.0 kg/dm³ arasında değişen ve yoğunluğu 14 kN/m³ olan betonlara denilmektedir.
- ✓ *Hem taşıyıcı, hem yalıtım betonu*: Basınç dayanımı 2.5-10 MPa birim ağırlığı 0.6-1.2 kg/dm³ arasında değişen betonlara denilmektedir (Topçu, 2006 ; Öztürk, 2019 ; Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005 ; şışman vd., 2008).

Hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri, kendini oluşturan bileşenlerinin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Hafif betonun en önemli özelliği dayanımdır ve bu da betonun yoğunluğuyla ilişkilidir. Hafif beton prizini

alıp sertleştğinde hacminde değişiklikler meydana gelir. Aşağıda maddeler halinde verilen bu değişiklikler fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilişkilidir (Uygunoğlu, 2008 ; Yılmaz, 2017)

- Dayanım,
- Elastiklik,
- Yoğunluk,
- Isıl özellikler,
- Su emme,
- Yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlar,
- Aşınma direnci.

Hafif betonun avantajları:

- Yapının zati yükünü azaltması nedeniyle düşey yüklerde de azalma meydana gelmektedir. Bu durum yapıya etkileyen atalet kuvvetlerinin azaltarak depremin yapıya vereceği zararları minimize etmektedir.
- Hafif betonla üretilen yapı elemanlarının birim ağırlığının düşük olmasından dolayı yapıya etkileyen ölü yüklerde azalma meydana gelmektedir. Bu durum yapı elemanlarının daha küçük kesitlerde üretilmesine olanak sağlamaktadır.
- Yapıya ısı ve ses izolasyonu sağlaması,
- Yangın direncinin fazla olması,
- Hafifliği nedeniyle taşınması ve montajının kolay olması,
- Homojen olması (Dikici, 2010)

Hafif betonun dezavantajları:

- Gözenekli içyapısından dolayı basınç dayanımlarının düşük olması,
- Taşıyıcı hafif betonlu kirişlerde, sehim ve dönmelerin olma ihtimalinin artması,
- Sünme ve rötre değerlerinin geleneksel betona kıyasla fazla olması,
- Normal betona kıyasla daha fazla çimentoya ihtiyaç duyulması nedeniyle maliyette artış meydana getirmesi,

- Aşınma direncinin düşük olması,
- Hafif agregayı temin zorluğundan dolayı ek maliyet gerektirmesi,
- Üretimi ve uygulaması için daha nitelikli işçiliğe ihtiyaç duyulması (Yılmaz, 2017).

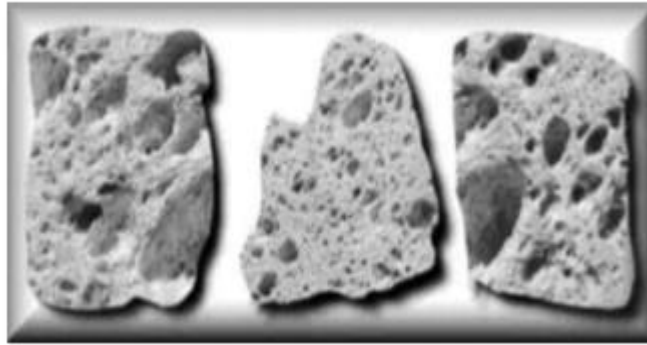
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Pomza

Pomza volkanik aktiviteler sonucu oluşan doğal bir volkanik kayadır (Uygunoğlu ve Ünal, 2007). Bunlar silikat esaslı, amorf yapıda, camsı, süngerimsi görünümlü, birim hacim ağırlığı küçük olan kayalardır (Uygunoğlu, 2008). Ayrıca birbiriyle bağlantısız boşluklu, birim hacim ağırlığı 1 g/cm³'ten küçük, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli ve camsı bir kayadır (Koçyiğit, 2016). Almanca'da bimstein, Fransızca'da ponce, İtalyanca'da ponza, İngilizce'de pumice veya pumicite olarak adlandırılmaktadır. Türkçe' de sünger taşı, topuk taşı ve hışır taşı gibi isimlerde kullanılmaktadır (Güner, 1999) (Öztürk, 2012).

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



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

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

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

- ✓ *Asidik karakterli pomza*; Dünyada en yaygın ve kullanım türü açısından en geniş yelpazeye sahip pomza türüdür. Yoğunluğu yaklaşık 0,5-1 gr/cm³'tür. İçerdiği Si, Al, K ve Na elementlerinden dolayı beyaz ve kirli renge (Şekil 3.2) sahiptir. Silis oranı bazik karakterli pomzaya göre daha yüksektir. İnşaat sektöründe yaygın kullanılmaktadır.
- ✓ *Bazik karakterli pomza*; özgül ağırlığı 1-2 gr/cm³, kahverengi ve siyahımsı renkte olan pomza türüdür (Gündüz ve Uğur, 2000). Bünyelerinde yüksek oranlarda alüminyum, kalsiyum, demir ve magnezyum bileşenleri bulunması sebebiyle diğer endüstriyel alanlarda da kullanılmaktadır (Ceylan, 2019) (DPT, 2001) (Yılmaz, 2017).



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

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

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

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

Tablo 3.1. Türkiye’deki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri (Koçyiğit, 2016)

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

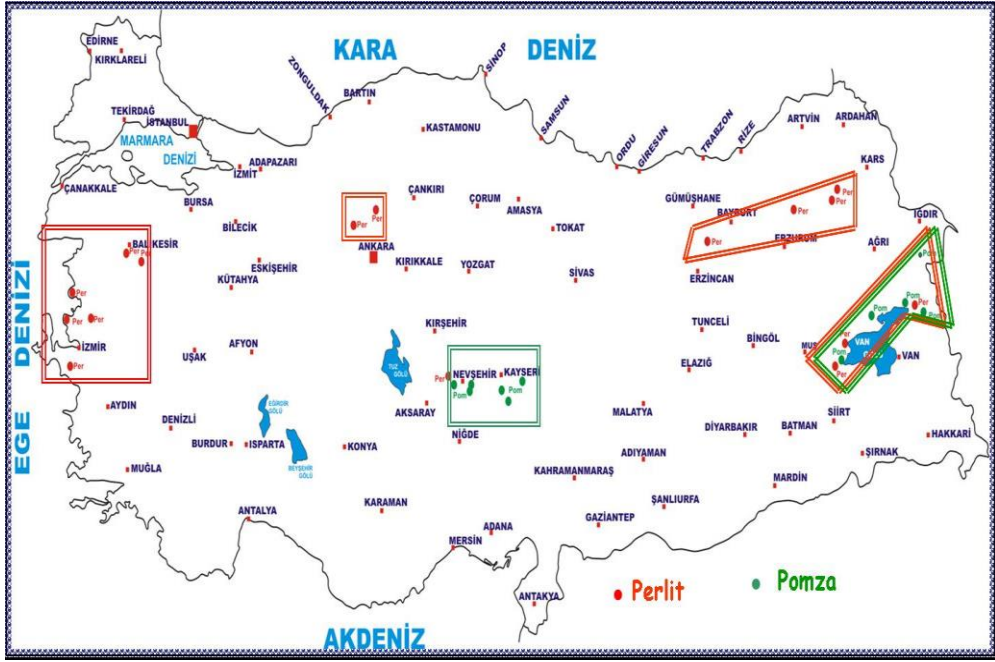
Tablo 3.2. Türkiye’deki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri (Koçyiğit, 2016)

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

Tablo 3.3. Pomza tiplerinin kimyasal kompozisyonuna örnek (Gündüz, 1998)

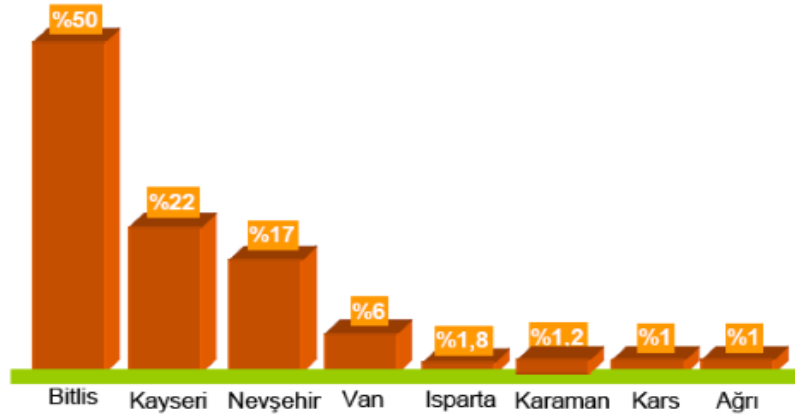
Bileşim	Asidik Pomza	Bazik Pomza
% SiO ₂	70	45
% Al ₂ O ₃	14	21
% Fe ₂ O ₃	2.5	7
% CaO	0.9	11
% MgO	0.6	7
% Na ₂ O+% K ₂ O	9	8
%Ateş Kaybı	3	1

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



Şekil 3.3. Pomza Türkiye Rezerv Haritası (URL-1)

Türkiye’de pomza rezervlerinin durumu Şekil 3.4’de sunulmuştur.



Şekil 3.4. Pomzanın ülkemizde rezerv durumu (Akkaş, 2011)

Pomza farklı endüstri dallarında vazgeçilmez bir hammadde kaynağı olma özelliği taşımakta ve farklı dallarda kullanılmaktadır.(Koçyiğit, 2016). Dünyada ve Türkiye’de en yaygın kullanım alanı ise inşaat endüstrisidir. Türkiye’de çıkarılan pomzanın ortalama %90’ı yurt içinde inşaatlarda malzeme olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2012).

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

İnşaat endüstrisinde;

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

Tekstil sektöründe;

- ✓ Kot kumaşların taşlanması işleminde kullanılmaktadır.

Tarımda sektöründe;

- ✓ Toprak ıslahında, topraksız ortamlarda bitki yetiştirilmesi amacıyla ve suyun az olduğu tarım alanlarda kullanımını mevcuttur.
- ✓ Tarım ilaçlarının toz şeklinde kullanılmak üzere taşıyıcı eleman olarak,

Kimya ve diğer sektörlerde,

- ✓ İzolatif duvar boyası, motifli boya, astar macunu, pürüzlü kaplama ve vernik dolgusu olarak
- ✓ Kâğıt ve plastik sanayinde dolgu malzemesi olarak,
- ✓ 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,
- ✓ Eşyaların pürüzlülüğünün giderilmesi ve cilalanmasında parlaticı olarak,
- ✓ Atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı malzemesi olarak pomzadan yararlanılmaktadır (Yılmaz, 2017) (Ceylan, 2005).

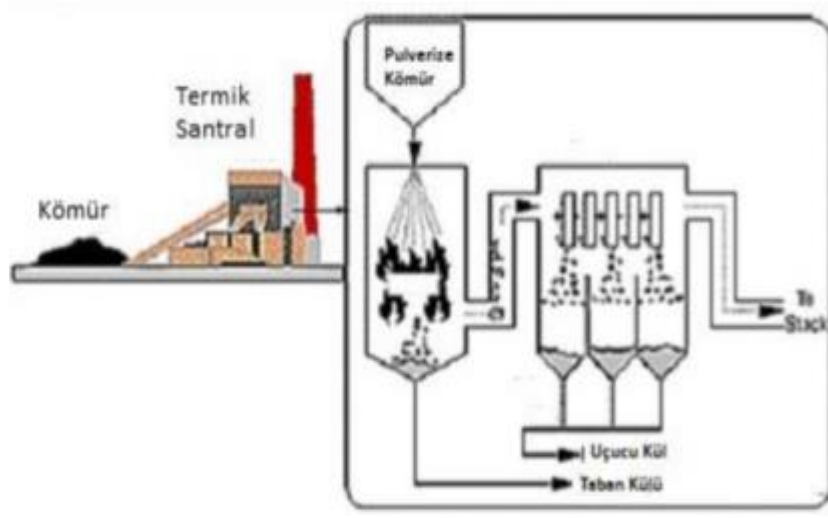
Tez çalışması kapsamında Nevşehir yöresinde bulunan asidik pomza agrega olarak kullanılmıştır.

3.1.2. Uçucu Kül

Elektrik üretmek amacıyla inşa edilen çoğu termik santrallerde, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Türkiye’de 40 adet termik santral bulunmakta ve bu santraller tüketilen elektriğin %40 ını (18.000 MW) karşılamaktadır (Keskin vd., 2014). Bu üretimi karşılamak amacıyla 45.000.000 pulverize kömür yakılmaktadır. Bunun sonucunda farklı karakteristiğe sahip 15.000.000 ton atık kül elde edilmektedir (Yılmaz, 2018). Kömürün yanması ile açığa çıkan küllerin %20-25’i ocak tabanında birikirken %75-80’i bacadan dışarıya çıkmaktadır. Dışarı çıkan bu küllere “uçucu kül” adı verilmektedir (Yılmaz, 2014).

Şekil 3.5’de üretim şeması verilen ve TS EN 450-1 de tanımlanan uçucu kül; *“Pulverize kömürün yanmaya yardımcı malzemeler ile birlikte veya tek başına yakılmasından elde edilen, puzzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak SiO₂ ve Al₂O₃’ten meydana gelen, reaktif SiO₂ muhtevası kütlece en az %25 olan, büyük ölçüde küresel ve camsı taneciklerin ince tozlarıdır.”* şeklinde tanımlanmaktadır (TS EN 450-1, 2013).

Bacadan sürüklenen uçucu kül parçacıkları, elektro filtrelerde ve siklonlarda elektrostatik yöntemler yardımıyla tutulmaktadır. Uçucu kül tanecikleri çoğunlukla 1-200 µm arasında değişen büyüklüğe sahiptir. Küllerin tane boyutları termik santralde kullanılan kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlı olarak değişmektedir. Elektro filtrelerde toplanan uçucu küller siklonlarda toplanan küllerden daha ince tanelidir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).



Şekil 3.5. Uçucu kül ve taban külü üretim süreci (Eren, 2018)

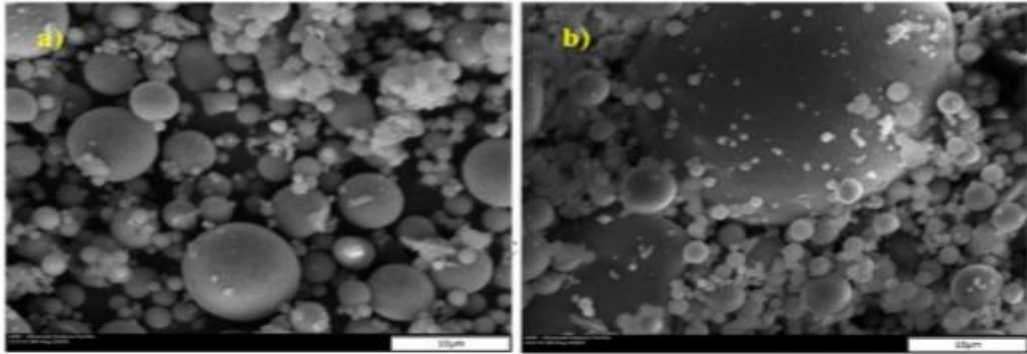
TÜİK verilerine göre; 2014 yılında Türkiye’de kurulu gücü 100MW ve üzeri termik santrallerde 24,2 milyon ton atık meydana gelmiştir. 9.100 tonu tehlikeli atık olarak nitelendirilmektedir. Açığa çıkan bu atıkların %98,5’i mineral atıktır. Oluşan bu atıkların %48,3’ü kül barajına, %21,7’si düzenli depolama sahalarına, %15’i satılma ya da lisanslı atık bertaraf ve geri kazanım firmalarına, %15’i ise maden ve taş ocağına veya belediye çöplüklerine atma şeklinde ortadan kaldırılmıştır (TÜİK, 2014).

Uçucu küllerin betonda kullanım süreci 20.yy ilk çeyreğine dayanmaktadır. Bu küller hakkında yapılan ilk geniş çapta çalışma 1937 yılında R.E.Davis tarafından gerçekleştirilmiştir. Amerika’da bulunan ve 1931 yılında inşasına başlanılan Hoover Barajı uçucu küllerin kullanıldığı ilk proje olma özelliği taşımaktadır (Duyar vd., 2015). Ülkemizde ise DSİ tarafından başlanılan ve 1971 yılında yapımı tamamlanan Gökçekaya Barajı’dır (Yılmaz, 2018).

Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olmak üzere 2 guruba ayrılmaktadır:

- ✓ F sınıfı uçucu küller; içeriğinde bulunan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam yüzdesi %70'den fazla olan ve antrasit, bitümlü ve yarı bitümlü kömürden elde edilen uçucu küllere denilmektedir. Bu uçucu küller puzolanik özellik göstermektedirler.
- ✓ C sınıfı uçucu küller; içeriğinde bulunan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplam yüzdesi %50'den fazla olan ve linyit ya da yarı bitümlü kömürden elde edilen uçucu küllere denilmektedir. Bu küllerin, puzolanik özelliğinin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de bulunmaktadır. C ve F sınıfı uçucu küllerin SEM görüntüleri Şekil 3.6'da verilmiştir.
- ✓ N sınıfı uçucu küller; ASTM C618 standardında yer alan şartların sağlanması koşuluyla bazı diatomik topraklar, opal yapıda bazı şistler, tüfler, doğal volkanik küller veya pümisit gibi ham veya kalsine edilmiş doğal puzolanlardır (ASTM C 618, 2017)



Şekil 3.6. Uçucu küllerin SEM görüntüleri; a) F sınıfı uçucu kül b) C sınıfı uçucu kül (Khoshnoud vd., 2014)

TS EN 197-1'e göre uçucu küller;

- ✓ V sınıfı uçucu küller (Silissi); Silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) den meydana gelen, küresel yapıdaki

partiküllerden oluşan ince toz taneli ve puzolanik özelliğe sahip küllerdir (Gündeşli, 2008).

- ✓ *W sınıfı uçucu küller (Kalkersi)*; Silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3) ve kalsiyum oksit (CaO) den meydana gelen, ince toz halinde bulunan ve puzolanik özelliğinin yanı sıra hidrolik özelliğe de sahip küllerdir (TS EN 197-1, 2012).



Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri, genellikle santralde yakılan kömürün özelliklerine ve kompozisyonlarına, yanma şekline ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Aruntaş 2006) (Tokyay, 2013). Küller açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar farklı tonlarda renge sahiptirler (Ünal ve Uygunoğlu, 2004). Küllerin rengi içerisinde bulunan yanmamış karbon miktarı ve yanma özelliğine göre değişmektedir (Güler, 2005). İçerisinde bulunan yanmamış karbon miktarı arttıkça ya da yanma olayı yeterince gerçekleşmemişse uçucu küller siyaha yakın koyu bir renk almaktadır (Yılmaz, 2014). İyi bir yanma gerçekleşmiş ise uçucu kül açık renkte olmaktadır (Davraz, 2005).

Uçucu Küller , %60-90 oranında değişen camsı bileşen içeren çok ince taneciklerden oluşmaktadır. Uçucu küllerin inceliği yakma işlemi için kullanılan kömürün öğütülme şekline bağlı olarak değişmektedir. Tane formu yuvarlak olan küller 1-200 μm arasında değişen çaplara sahiptirler. Kül taneciklerinin ortalama % 75'inin çapı 45 μm 'den küçüktür. %50'den fazlasının ise 20 μm 'den daha küçük olduğu bilinmektedir. Uçucu küllerin spesifik yüzeyleri 1800 – 5000 cm^2/gr arasında, yoğunluğu ise 2.2- 2.7 g/cm^3 arasında değişmektedir (Eren, 2018) (Aruntaş, 2006).

Tez çalışması kapsamında kullanılan uçucu küller Afşin-Elbistan termik santralinden temin edilmiş olup, kimyasal bileşimleri ve TS 639 ve ASTM C 618 sınır değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir (Yılmaz, 2014).

Tablo 3.4. Çalışmada kullanılan uçucu külün kimyasal bileşimleri (Yılmaz, 2014)

Bileşim		TS639 Sınırları	ASTM C618 sınırları	
			F	C
SiO ₂	27,4	-	-	-
Al ₂ O ₃	12,8	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5,5	-	-	-
S+A+F	45,7	>70	>70	>50
CaO	47,0	-	-	-
MgO	2,5	<5	<5	<5
Na ₂ O	(N+K)0,3	-	<1,5	<1,5
K ₂ O	-	-	-	-
SO ₃	6,2	<5	<5	<5
K.K	2,4	<10	<12	<6

İnşaat sektöründe uçucu kül kullanımı

İnşaat sektörü uçucu küllerin en çok kullanıldığı alanların başında gelmektedir. Bu küller;

- ✓ Çimento sanayi,
- ✓ Beton üretimi,
- ✓ Tuğla üretimi,
- ✓ Hafif agrega üretimi,
- ✓ Zemin stabilizasyonu
- ✓ Dolgu işlerinde değerlendirilmektedirler.

İnşaat sektörü dışında uçucu küller;

- ✓ Atık suların arıtılmasında absorban görevinde,
- ✓ Asidik karakterli toprak ıslahında,
- ✓ Metal sanayisinde,
- ✓ Sondaj çalışmalarında
- ✓ Karlanma ve buzlanmayı önlenmesinde kullanılmaktadırlar (Baradan, 2012)

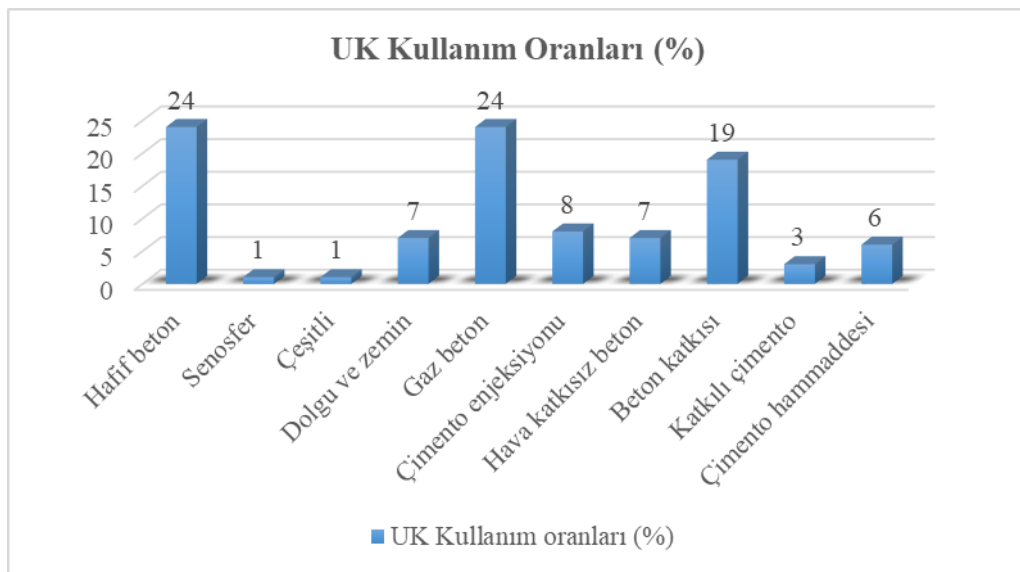
Uçucu küllerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri incelendiğinde, inşaat sektöründe kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı görülmektedir. Küllerin bu

sektörde kullanılmasıyla hem malzeme ve enerji üretiminde ekonomi sağlanacak hem de çevre kirliliği önlenerek ekolojik dengenin bozulmasının önüne geçilecektir (Yılmaz, 2014)

Tablo 3.5. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar, kullanım amacı ve yeri (Yılmaz, 2014)

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

Ülkemizde Uçucu kül kullanımına dair detaylı datalar bulunmamaktadır. Ancak yapılar çalışmalar incelendiğinde çimento, tuğla sektöründe ve baraj yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Avrupa’da ise İngiltere örneği baz alındığında (Şekil 3.7) uçucu kül genellikle gaz beton, hafif beton ve beton katkısı olarak kullanıldığı görülmektedir (Aruntaş, 2006).



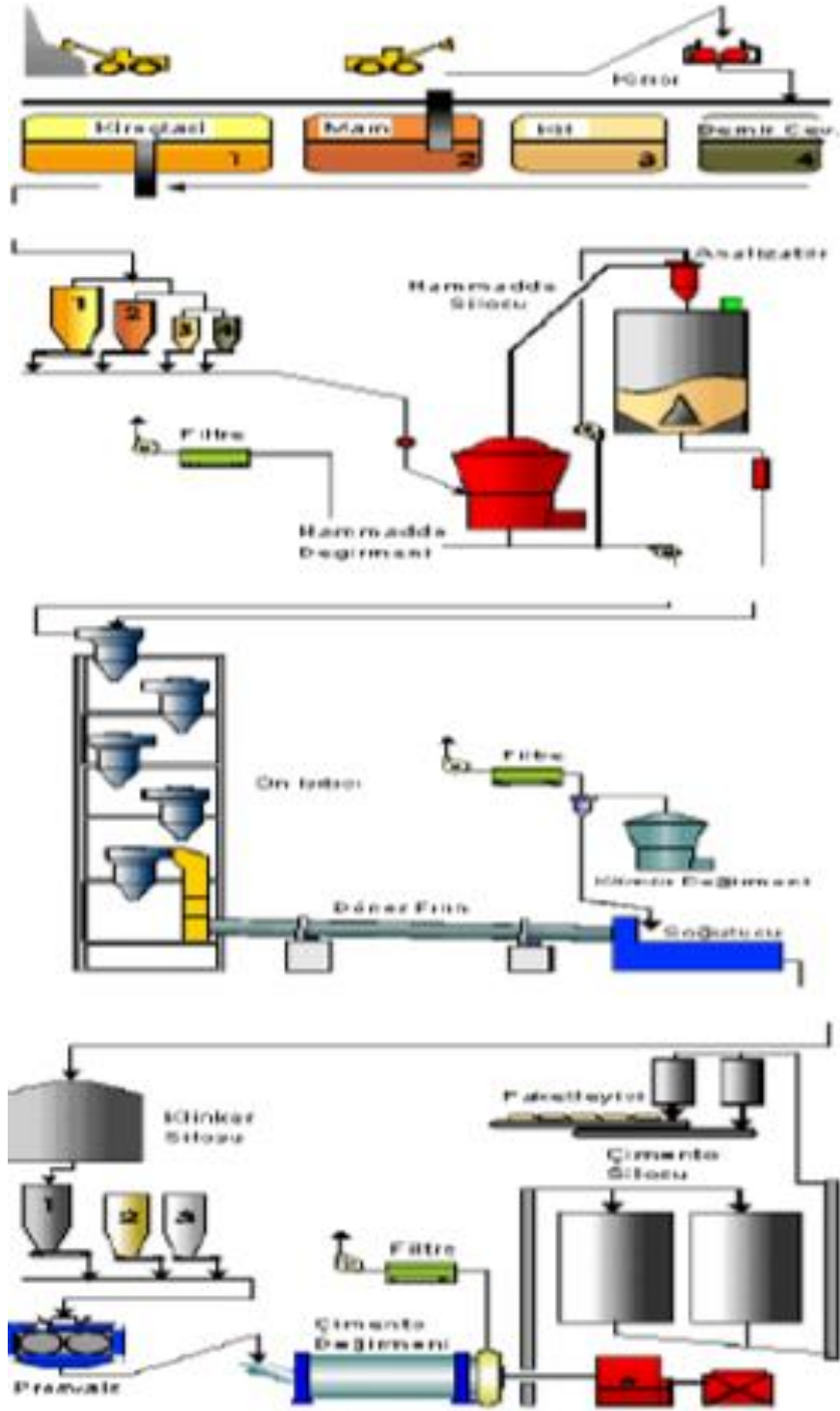
Şekil 3.7. İngiltere’de kullanılan uçucu kül alanları ve oranları

3.1.3. Çimento

TS EN 197-1'e göre çimento; su ile temas ettiğinde hidrasyona uğrayan ve priz olarak sertleşmiş bir hamur olan, suyun altında dayanıklılığını koruyabilen hidrolik bir bağlayıcıdır (TS EN 197-1, 2009). Çimento malzemesi, kil ve kalker taşlarının belirli oranlarda pişirilip öğütülmesi sonucu meydana gelmektedir (Yardımcı, 2005). Üretime başlanmadan önce kil ve kalker karıştırılıp toz haline getirilmektedir. Oluşturulan malzeme %76-78 oranında CaCO_3 ve %22-24 oranında kilden meydana gelmektedir. Bu karışım 1400°C ile 1500°C 'de döner fırınlarda sıcaklığın kademeli bir şekilde artırılması ile pişirilmektedir (Şekil 3.8) (Ceylan, 2005). Ham maddelerin kavrulmadan alüminatlarının ayrılması için sıcaklık kademeli bir şekilde arttırılmaktadır (Alkan, 2018). Pişirilen bu karışım pişirme işlemi tamamlandıktan sonra "klinker" adını almaktadır (Dinçer, 2013).

Döner fırınlarda pişirildikten sonra elde edilen klinker bağlayıcı özelliği sahip olması için öğütme işlemine tabi tutulmaktadır. Elde edilen klinkere öğütülmüş alçı taşı ilave ederek betonun priz süresi uzatılıp ani çatlaması önlenmektedir (Alkan, 2018).

Türkiye'de çimento üretilirken (TS EN 197-1, 2002) baz alınmakta ve üretim prosesi Şekil 3.8 de verilmiştir.



Şekil 3.8. Çimento üretim tesisi çizimi (Serinoğlu, 2011)

Hafif betonlarda bağlayıcı malzeme görevi gören çimento çeşitleri ve uygunluk değerlendirmesi TS EN 196 standardı baz alınarak belirlenmektedir. Çimento yapı malzemesi TS EN 197-1'e göre "CEM" ismiyle tanımlanmaktadır.

Çimentolar;

- ✓ CEM I Portland Çimentosu
- ✓ CEM II Portland Kompoze Çimentosu
- ✓ CEM III Portland Yüksek Fırın Cürüflü Çimento
- ✓ CEM IV Puzolanik Çimento
- ✓ CEM V Kompoze Çimento olarak sınıflandırılmaktadır (Görür, 2007).

Tez çalışmasında, TS EN 197-1 ile uyumlu CEM I 42.5 N tipi Portland Çimento kullanılmıştır. Çimento, Mersin’de bulunan Medcem çimento fabrikasından temin edilmiştir. Deney sonuçlarının daha sağlıklı çıkması amacıyla, tüm deney serileri için kullanılacak çimento miktarı hesaplanarak tek seferde temin edilmiştir. Çimento rutubetsiz ve kuru yerde muhafaza edilmiştir. Çimento yaklaşık olarak hesaplanıp tek seferde temin edilerek rutubetsiz ve kuru bir ortamda saklanmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve bazı fiziksel özellikler Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel değerler ile TS EN197-1 sınır değerleri

Analiz Sonuçları	CEM I 42,5 N	TS EN 197-1
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22.4	≥ 20.0
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39.4	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51.0	$62.5 \leq X \leq 42.5$
SO ₃ (%)	2.6	≤ 3.5
MgO (%)	2.1	≤ 5.0
Cl (%)	0.007	≤ 0.1
Kızdırma Kaybı (%)	1.7	≤ 5.0
Çözülmeyen Kalıntı (%)	0.3	≤ 5.0
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3749	
Priz Başlangıcı (dakika)	161	≤ 60.0
Priz Sonu (Saat)	04:20	
Hacim Sabitliği (mm)	0.4	≤ 10.0
Serbest Kireç (%)	0.5	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)	-	-
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29.6	-

3.1.4. Kum

Çalışmada kullanılan ve Mersin il sınırları içerisinde temin edilen dere kumu yıkanmış ve elenmiştir. Kullanılan kumun dane çapı 0-4 mm arasında değişmektedir.

3.1.5 Karışım Suyu

Tez kapsamında yapılan deneysel çalışma boyunca, deney numunelerinin üretiminde TS EN 1008 standardına uygun, Mersin ili şehir şebeke içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyuna herhangi bir işlem uygulanmadan şebekeden alındığı şekliyle üretime katılmıştır.

3.2. Yöntem

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

3.2.1. Hafif Beton Numunelerinin Üretilmesi

Bu tez çalışmasında 4 farklı seri hafif beton numunesi (REF; referans numune, %1 UK; %1 oranında uçucu kül ikameli numune, %3 UK; %3 oranında uçucu kül ikameli numune, %5 UK; %5 oranında uçucu kül ikameli numune) üretilmiştir. Hafif beton üretiminde su/çimento oranı 0,25-0,35 arasında tutulmuştur.

Çalışmada referans numunelerinde %90 oranında pomza kullanılmıştır. Dayanımı arttırmak için %10 oranında kum karışıma ilave edilmiştir. Kullanılan çimento miktarının %1, %3 ve %5 oranında uçucu kül ikame ederek bağlayıcı karışım elde edilmiş ve üretimde bu karışımlar kullanılmıştır (Tablo 3.7). Karışımlar TS 2511 standardına göre hazırlanmıştır.

Tablo 3.7. *Hafif beton üretiminde kullanılan malzeme oranları*

	Pomza (%)	Kum (%)	Çimento (%)	Uçucu Kül (%)
REF	90	10	100	0
%1 UK	90	10	99	1
%3 UK	90	10	97	3
%5 UK	90	10	95	5

İlk olarak hafif agregalar mikserle konulmuş ve ön doyumma işlemi için belirlenen miktarda su ilave edilerek karıştırılmış agregaların suyu emmesi sağlanmıştır. Ardından kum eklenerek karışım homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır.

Oluşan karışıma çimento ve belirlenen oranlarda uçucu kül eklenerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Son olarak karışım hesabında belirlenen su karışıma eklenerek homojen bir karışım elde edilip karıştırma işlemi sonlandırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Hafif beton malzemelerinin karıştırılması

Hazırlanan hafif beton karışımı 15x15x15 cm³ küp kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesi

Prizini alan hafif beton numuneleri 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca +20°C sıcaklıktaki kür havuzunda kür edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Numunelerin kür edilmesi

Kürleme işlemi bittikten sonra hafif beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için deneylere tabi tutulmuş ve mikro yapısının incelenmesi için SEM görüntüleri alınmıştır.

3.2.2. Numunelere Uygulanan Fiziksel Deneyler

3.2.1.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık (KBHA)

Numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları TS EN 12390-7 göre bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarının tespiti için 15x15x15 mm ebatlarında üretilen hafif beton numunelerinden her seri için (REF, %1 UK, %3 UK, %5 UK) dört adet, toplamda 24 adet küp numune kullanılmıştır.

İlk aşamada 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 3.1'de yerine yazılarak kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Formülde bulunan S_k ; Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığını (kg/m^3), W ; Numunenin etüv kurusu ağırlığını (kg), V ; Numune hacmini (m^3) ifade etmektedir.

$$S_k = W/V \quad (3.1)$$

3.2.1.2. Kılcal Su Emme

Kılcal kanallar beton içinde meydana gelen gözle görülmeyen ince boşluklardır. Bu kanalların sayısını azaltmak için beton içerisindeki ince taneli malzeme miktarının artırılması gerekmektedir. Bu sayede kanallar kapanmış ve kılcal geçirimsizlik azalmış olacaktır. Kılcal geçirimsizliğin olması donma çözülme olaylarında betonun daha az zarar görmesi anlamına gelmektedir (Dal vd., 2013).

Su kılcallık etkisi ile beton bünyesinde bulunan kapiler boşluklar vasıtasıyla beton içerisinde ilerleyebilmektedir. Su ile temas halinde olan yapılarda suyun temas ettiği yüzeylerden beton içerisine su emilmektedir. İstenmeyen bir durum olan ve beton veya betonarme yapılarda emilen su miktarı belirlemek amacıyla betonda kılcal su emme deneyi yapılır (Kandil, 2014).

Kılcal su emme deneyi TS EN 772-11 “Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gazbetondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini” sayılı standardı baz alınarak yapılmıştır. İlk olarak numuneler 24 saat süreyle 70 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından taban ölçüleri 4x4 cm olan numunelerin taban yüzeyleri suyun yüzeyine degecek şekilde, ızgaralı, 1 cm yüksekliğinde su dolu kaba yerleştirilmiştir. Numunelerin yan yüzeylerinin suya temas etmemesi için 1cm yükseklikle parafin ile kaplanmıştır. Numunelerin 60, 120 ve 180. Dakikalarda ağırlıkları ağırlık ölçülmüştür. Bulunan değerler Formül 3.2’de yerine konularak numunelerin kılcal su emme miktarı bulunmuştur (TS EN 772-11, 2012). m_{son} , son ağırlığı, m_{ilk} , ilk ağırlığı ifade etmektedir.

$$\text{Kılcal Su Emme (Kapilarite) (gr): } m_{son} - m_{ilk} \quad (3.2)$$

3.2.1.3. Porozite

Porozite deneyi TS EN 772-4 “Kâgir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kâgir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini” standardına göre uygulanmıştır. Numuneler, su dolu bir

kap içerisinde 3 saat süreyle kaynatılmış, ardından kap içerisinden alınarak, su dolu bir kaba konmuştur. Su içerisindeki asılı ağırlıkları belirlenmiştir. Ölçüm tamamlandıktan sonra numuneler su içerisinden alınarak kuru bir bez yardımıyla yüzey suyu alınmıştır. Son olarak numunelerin suya doymuş yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra numuneler etüvde +105 °C’de değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen verilere göre numunelerin porozite değerleri formül 3.3’ de verilen formülde yerine yazılarak elde edilmiştir. Formülde verilen P₁, kuru ağırlığı, P₂, suya doymuş havadaki ağırlığı, P₃, suya doymuş sudaki ağırlığı ifade etmektedir.

$$\text{Porozite (\%)} = ((P_2 - P_1) / (P_2 - P_3)) \times 100 \quad (3.3)$$

3.2.1.4. Kompasite

28 günlük kürün ardından suya doymuş ağırlıkları hesaplanan hafif beton numuneler etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra kuru ağırlıkları belirlenerek kompasite yüzdeleri formül 3.4 yardımıyla hesaplanmıştır. Formülde verilen P poroziteyi ifade etmektedir.

$$\text{Kompasite (\%)} = 100 - P \quad (3.4)$$

3.2.1.5. Donma-Çözülme Dayanımı

Hafif beton numunelerine donma-çözülme deneyi TSE CEN/TS 12390-9 standardına göre uygulanmıştır. İlk aşamada numuneler 1 saat boyunca su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra kuru bir bez ile numunelerin yüzey suları alınmıştır. Ardından numunelere, iki saat boyunca -20 °C’ de donma işlemi uygulanmıştır. Donma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler bir saat çözülmeye bırakılmıştır. Bu işlemler 20 kez tekrarlanarak donma-çözülme deneyi tamamlanmıştır. Bu işlem BESMAK marka donma çözülme deney cihazında yapılmıştır (Şekil 3.12). Döngü sonunda donma-çözülmenin basınç dayanımına üzerindeki etkisi yüzde olarak hesaplanmıştır (TSE CEN/TS 12390-9, 2017).



Şekil 3.12. Donma-çözünme deney cihazı

3.2.3. Numunelere Uygulanan Mekanik Deneyler

Tez kapsamında üretilen hafif beton numunelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için;

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

3.2.2.1. Basınç Dayanımı

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi (TS EN 772-1, 2012) “Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini” standardı baz alınarak yapılmıştır. Bilgisayar kontrollü basınç presinde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Numuneler değişmez ağırlığa gelinceye kadar, etüvde kurutulmuş ve basınç dayanımı değeri, kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesi ile belirlenmiştir (Şekil 3.13). Deney Mersin Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.(25 EN 732)



Şekil 3.13. Basınç dayanımı deneyi

3.2.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Hafif beton numuneleri kür havuzundan çıkarılarak pres makinesine yerleştirilip sabitlenmiştir. Pres başlığı ve numunenin yük uygulanan yüzeyinin merkezlerinin çakışmasına dikkat edilerek yükleme hızı yaklaşık 0,05 MPa olan yük uygulanmıştır. Yük göstergesinde kırılma anındaki en büyük yük değeri (Pmax) kaydedilmiştir (Şimşek, 2007). Yarmada çekme dayanımı (Formül 3.5) verilen formüle göre hesaplanır (Özalp, 2016). Formülde verilen f_t , yarmada çekme dayanımını (N/mm²), L, silindir yüksekliğini, b, numune kesitinin boyunu ifade etmektedir.

$$f_t = (2 \cdot P_{max}) / (\pi \cdot D \cdot L) \quad (3.5)$$

3.2.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (SEM)

Çimento ve betonda birçok uygulamaya sahip taramalı elektron mikroskopisi (SEM), malzemelerin hem topografik hem de içerik analizini sağlayan bir tekniktir (Winter, 2012). Numunede alan derinliği sağlamak ve morfolojiyi tanımlamak için SEM teknikleri mükemmel bir yöntemdir (Yanez ve Barbosa, 2003). Taramalı elektron

mikroskopisinde görüntü oluşturma, numune üzerine gönderilen elektron demetinin numuneden yansıması ve yansıyan elektronların algılanması prensibi esas alınmaktadır. SEM de görüntü alma işlemi yüksek hızlarda elektronların numune üzerine gönderilmesi esasına dayanmaktadır (Ergün ve Yenisey, 2006) Görüntüyü istenilen büyüklüğe getirmek için elektron ışını kullanılmakta ve çözülme gücü dalga boyuna göre farklılık göstermektedir. SEM elektron lensleri tarafından numune üzerine gönderilen elektron ışınları numuneyi taramakta ve sinyaller görüntü oluşturmaktadır (Chescoe ve Goodhew, 1990).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

4.1. Numunelerin Fiziksel Deney Sonuçları

Tez çalışmasında 4 farklı seride (REF, %1 UK, %3 UK ve %5 UK) hafif beton numunesi üretimi yapılmıştır. Fiziksel deneylerin her biri 6 adet numune üzerinde yapılmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Fiziksel deneyler için toplam 120 adet numune kullanılmıştır.

Referans numunelerinin ve uçucu kül ikameli hafif beton numunelerinin fiziksel deney (Kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, kompasite ve donma-çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi) sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloda yer alan REF terimi referans numuneyi, %1 UK, %1 oranında uçucu kül ikame edildiğini, %3 UK, %3 oranında uçucu kül ikame edildiğini, %5 UK ise %5 oranında uçucu kül ikame edildiğini ifade etmektedir. Tablo incelendiğinde;

Referans numunenin kuru birim hacim ağırlığı 990 kg/m^3 iken %1 UK’da 988 kg/m^3 , %3 UK’da 985 kg/m^3 , %5 UK’da ise 981 kg/m^3 olduğu görülmektedir.

Kılcal su emme miktarlarına bakıldığında; Referans numunenin 120 g, %1 UK’nın 116 g, %3 UK’nın 111g, %5 UK’nın ise 107g olduğu görülmektedir.

Porozite değerlerine bakıldığında; Referans numunenin %22,4, %1 UK’nın %22,1, %3 UK’nın %21,7, %5 UK’nın ise %21,3 olduğu görülmektedir.

Kompasite değerlerine bakıldığında; Referans numunenin %77,6, %1 UK’nın %77,9, %3 UK’nın %78,3, %5 UK’nın ise %78,7 olduğu görülmektedir.

Donma-çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi değerlerine bakıldığında; Referans numunenin %17, %1 UK’nın %16,4, %3 UK’nın %16,0, %5 UK’nın ise %15,7 olduğu görülmektedir.

Tablo 4.1. Hafif beton numunelerinin fiziksel deney sonuçları

Fiziksel Deney Sonuçları				
	REF	%1 UK	%3 UK	%5 UK
Kuru birim hacim ağırlık (kg/m ³)	990	988	985	981
Kılcal Su Emme (g)	120	116	111	107
Porozite (%)	22,4	22,1	21,7	21,3
Komposite (%)	77,6	77,9	78,3	78,7
Donma-Çözülme Etkisi (%)	17	16,4	16,0	15,7

4.2. Numunelerin Mekanik Deney Sonuçları

Tez çalışmasında mekanik deneylerin her biri 6 adet numune üzerinde yapılmış ve bulunan değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Mekanik deneyler için toplam 48 adet numune kullanılmıştır.

Referans numunelerinin ve uçucu kül ikameli hafif beton numunelerinin mekanik deney (Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı) sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde;

Referans numunenin basınç dayanımı 16,4 MPa iken, %1 UK’da 16,9 MPa, %3 UK’da 17,5 MPa, %5 UK’da ise 18,1 MPa olduğu görülmektedir.

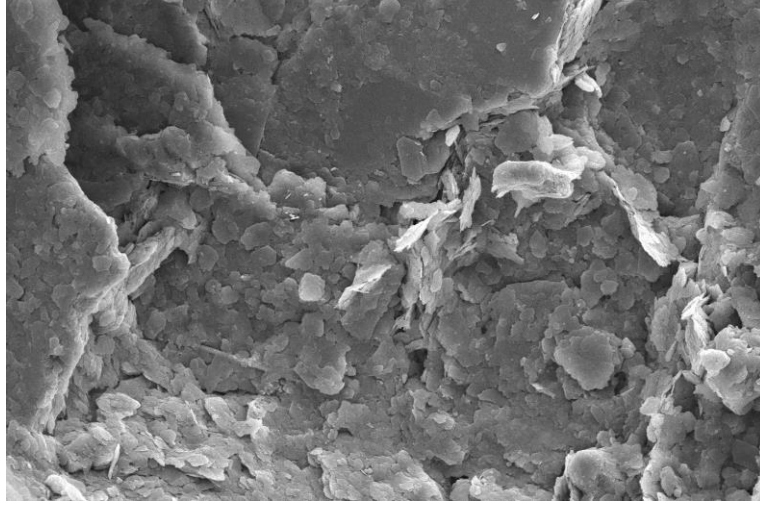
Yarmada çekme dayanımı değerlerine bakıldığında; Referans numunenin 1,12 MPa iken, %1 UK’da 1,07 MPa, %3 UK’da 1,03 MPa, %5 UK’da ise 0,98 MPa olduğu görülmektedir.

Tablo 4.2. Hafif beton numunelerinin mekanik deney sonuçları

Mekanik Deney Sonuçları				
	REF	%1 UK	%3 UK	%5 UK
Basınç Dayanımı (MPa)	16,4	16,9	17,5	18,1
Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	1,12	1,07	1,03	0,98

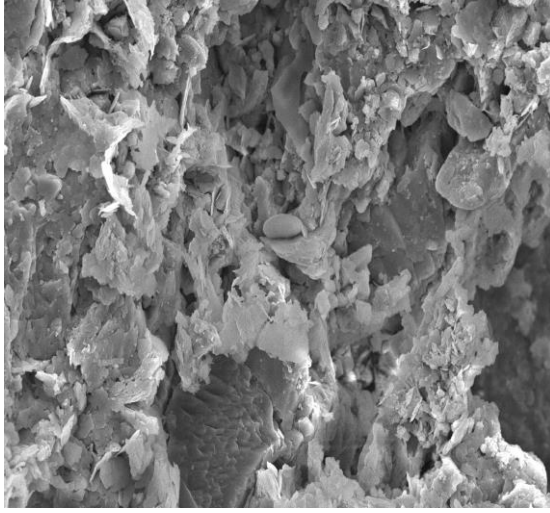
4.3. Numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu Görüntüleri (SEM)

Bir malzemede olması istenen ve aranan özellik, malzeme bünyesinde bulunan porlu yapının düzenli ve kristal yapıda olmasıdır. Şekil 4.1’de verilen referans numunesinin SEM görüntüsü incelendiğinde; malzemenin makro porlu ve düzensiz bir yapıda olduğu görülmektedir. Görülen bu makro porların pomza agregası bünyesinde bulunan boşluklu yapılardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu boşluklu yapı ve bundan kaynaklanan düzensiz makro porlu yapı malzemenin basınç dayanımı düşük olmasına neden olmaktadır.

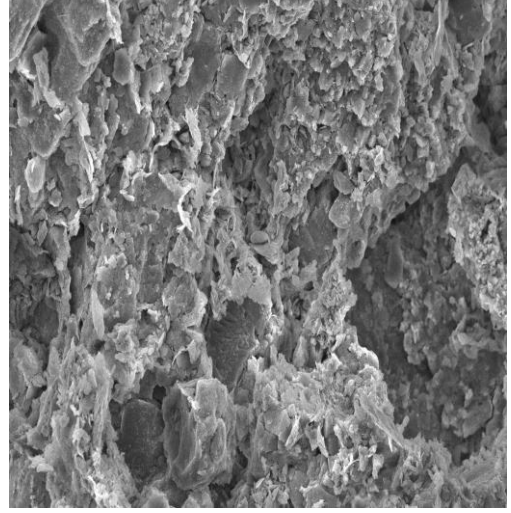


Şekil 4.1. Referans numunenin SEM görüntüsü

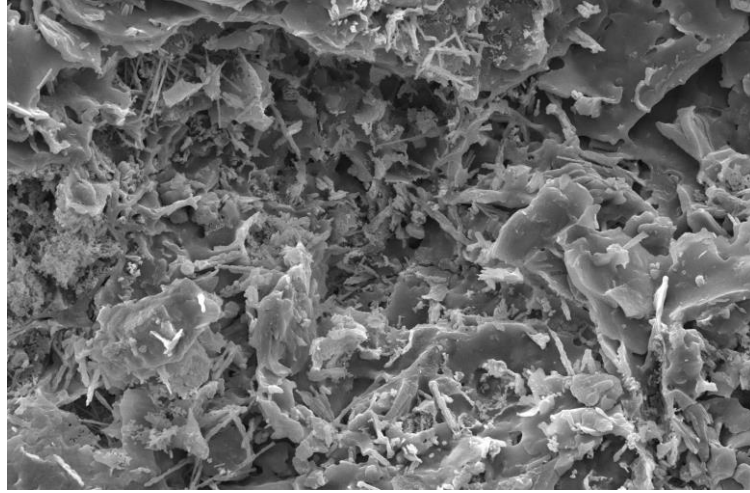
Şekil 4.2’de uçucu kül katkılı hafif beton numunelerinin sem görüntüleri sunulmuştur. a), %1 oranında uçucu kül katkılı numuneyi, b), %3 oranında uçucu kül katkılı numuneyi, c), %5 oranında uçucu kül katkılı numuneyi ifade etmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 4.2. a) %1 oranında uçucu kül katkı, b) %3 oranında uçucu kül katkı, c) %5 oranında uçucu kül katkı hafif betonların SEM görüntüleri.

SEM görüntüleri incelendiğinde %1 oranında uçucu kül katkı hafif beton numunesinin referans numuneye oranla daha mikro porlu ve düzenli yapıda olduğu görülmektedir. %3 oranında uçucu kül katkı numune mikro porlu yapının arttığını ve daha düzenli bir yapı meydana geldiği görülmektedir. Bu durum uçucu külün pomza agregası bünyesindeki boşluklara dolarak yapıyı daha düzenli hale getirdiği düşünülmektedir. %5 oranında uçucu kül katkı numune de ise malzeme lifli düzenli kristal, mikro porlu ve grain yapıda olduğu görülmektedir. Kristal yapıdaki grainlerin ince katman şeklinde olduğu görülmektedir.

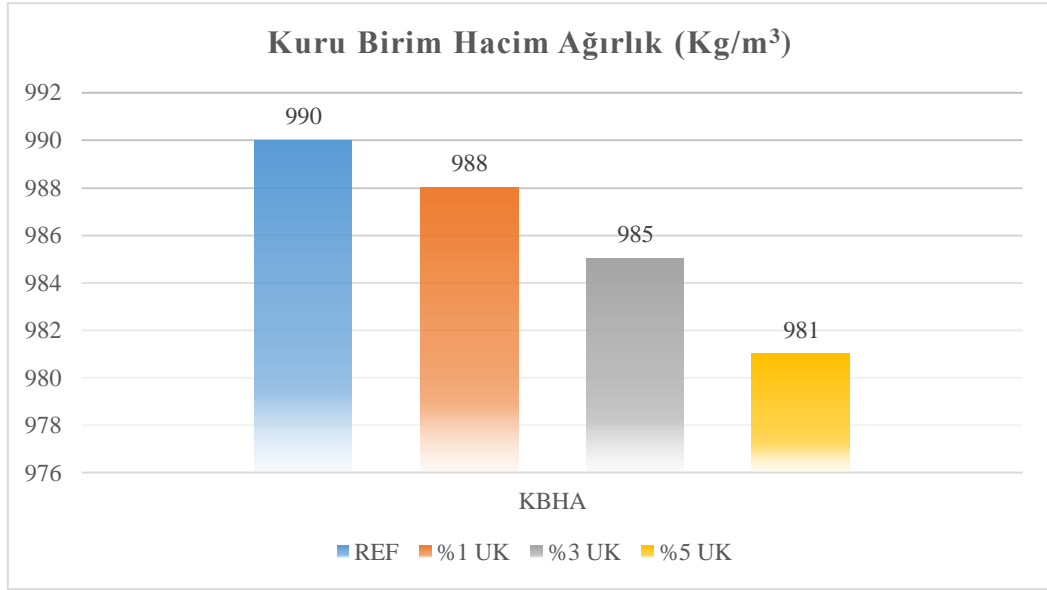
SEM görüntüleri hafif beton numunelerinde uçucu kül miktarının artmasıyla düzenli ve mikro porlu bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bu durum basınç dayanımına olumlu yönde etki sağlamaktadır. Ayrıca pomza agregasında bulunan boşlukların uçucu kül katkısıyla dolması ve üretim sırasında gerçekleşen reaksiyonlarla malzeme yapısı makro pordan mikro pora dönüşmüştür. Ayrıca malzeme içerisindeki boşlukların dolmasıyla numunelerin porozite değerleri azalmıştır.

4.4. Numunelerin Fiziksel Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde hafif beton numunelerinin fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme, porozite, Kompasite ve donma-çözülmenin basınç dayanımı üzerine etkisi deneylerinin karşılaştırılması başlıklar halinde sunulmuştur.

4.4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık (KBHA)

Şekil 4.3’de referans ve uçucu kül ikameli üretilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde referans numunesinin 990 kg/m^3 ile en yüksek değere, %5 UK’nın ise 981 kg/m^3 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Uçucu kül miktarının artması ile üretilen numunelerin KBHA değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bir başka deyişle %5 oranında UK kullanılmasıyla daha hafif bir beton malzemesi elde edilmiştir.



Şekil 4.3. KBHA değerlerinin karşılaştırılması

(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.

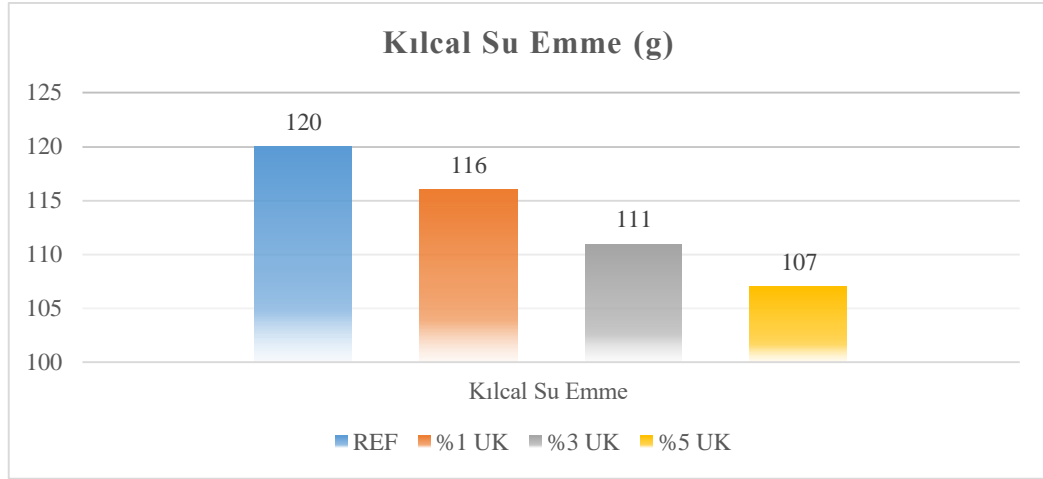
4.4.2. Kılcal Su Emme

Malzemelerin kılcal su emme miktarları bünyelerinde bulunan gözle görülen veya görülmeyen boşluklarla ilişkilidir (Akyıldız, 2012). Bir cisim ne kadar çok su emiyorsa bünyesinde o oranda boşluk bulunuyor demektir.

Şekil 4.4'de referans ve uçucu kül ikameli üretilen hafif beton numunelerinin kılcal su emme miktarları verilmiştir. Şekil incelendiğinde referans numunesi 120 g ile en yüksek değere sahipken, %5 oranında UK 107 g su emme miktarı ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Uçucu kül miktarının artması ile üretilen numunelerin kılcal su emme miktarlarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Kılcal su emme miktarı bulguları porozite ile birlikte değerlendirildiğinde; Bilindiği gibi hafif agregalı beton numuneleri yüksek poroziteli ve yüksek kılcal su emme miktarlarına sahiptir. Uçucu kül ikamesi poroziteyi düşürürken kılcal su emme miktarında da azalma meydana getirmiştir. Bu azalma hafif beton numunesinin

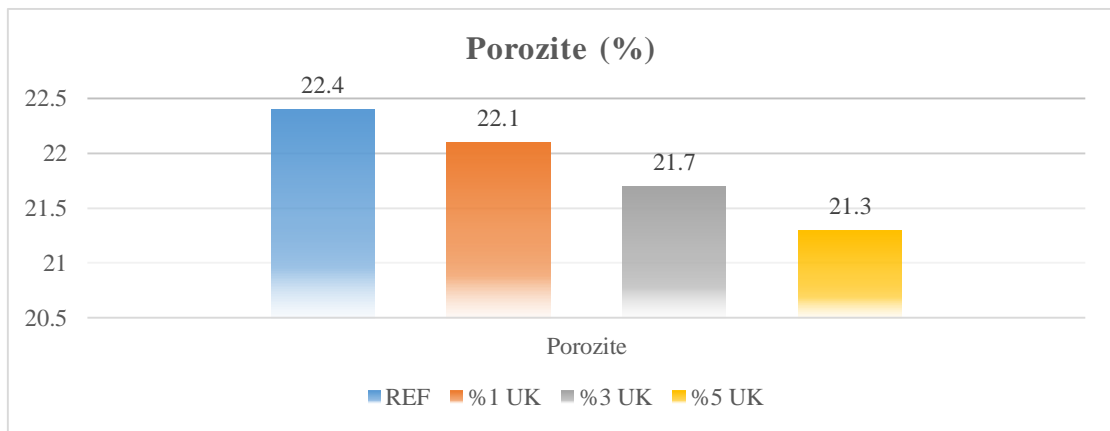
bünyesine daha az su alması anlamına gelmektedir. Bu da uzun vade de hem hafif beton ömrünü uzatacak hem de yapı içi konfor şartlarını olumsuz yönde etkilemeyecektir.



Şekil 4.4. Kılcal su emme değerlerinin karşılaştırılması

4.4.3. Porozite

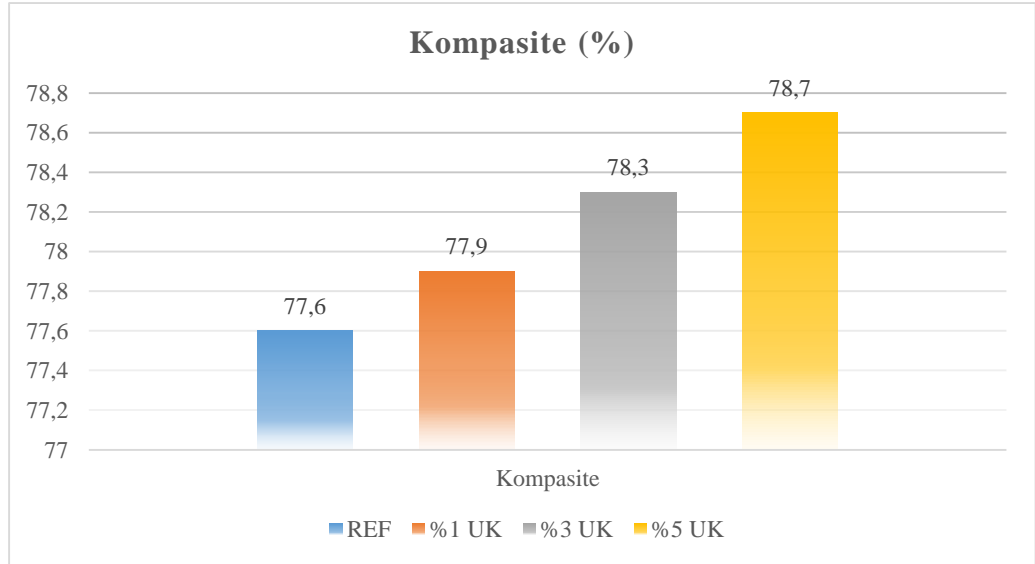
Malzemenin iç yapısında bulunan boşluk miktarı anlamına gelen porozite değerleri incelendiğinde (Şekil 4.5); %22,4 ile referans numunesinin en yüksek poroziteye sahip olduğu görülmektedir. En düşük porozite değeri %21,3 ile %5 oranında UK ikamesiyle elde edilen numunelerden sağlanmıştır. Uçucu kül miktarının artması ile malzemenin porozite değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Porozite değerlerinin karşılaştırılması

4.4.4. Kompasite

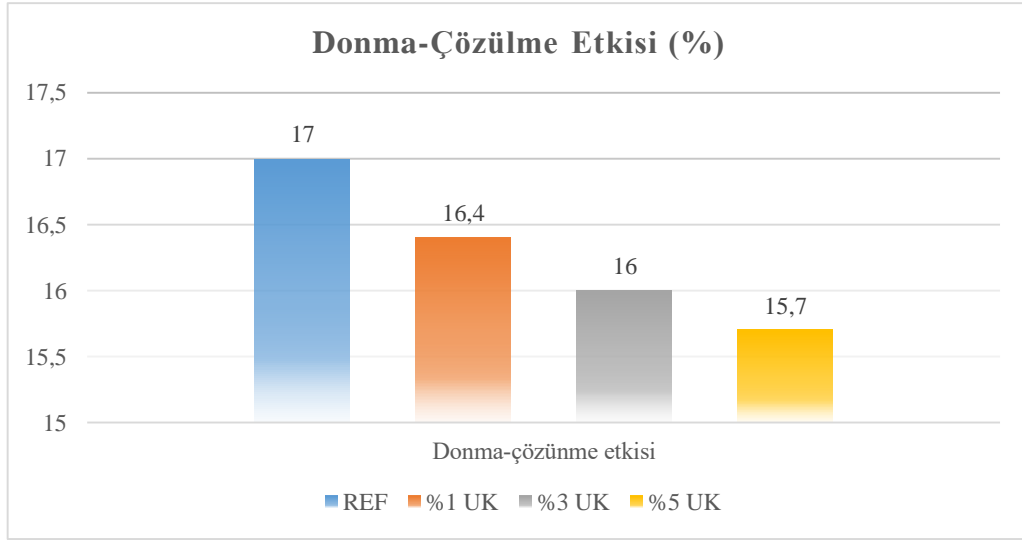
Malzemenin dolu kısmının hacminin, malzemenin tüm hacmine oranı olarak tanımlanan ve Şekil 4.6 sunulan kompasite değerleri incelendiğinde; %77,6 ile referans numunesinin en düşük kompasiteye sahip olduğu görülmektedir. En yüksek kompasite değeri %77,8 ile %5 oranında UK ikamesiyle üretilen numunelerden elde edilmiştir. Uçucu kül miktarının artması ile malzemenin kompasite değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bir başka deyişle uçucu kül malzeme bünyesinde bulunan boşlukları doldurarak kompasite oranı yüksek bir malzeme üretimini sağlamıştır.



Şekil 4.6. Kompasite değerlerinin karşılaştırılması

4.4.5. Donma-Çözülme Etkisi

Şekil 4.7’de referans ve uçucu kül ikameli üretilen hafif beton numunelerinin donma-çözülme etkisi verilmiştir. Şekil incelendiğinde referans numunesi %17 ile en yüksek değere sahipken, %5 oranında UK ikamesinin %15,7 ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Uçucu kül miktarının artması ile üretilen numunelerin donma çözülme etkisinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Donma-çözülme etkisi değerlerinin karşılaştırılması

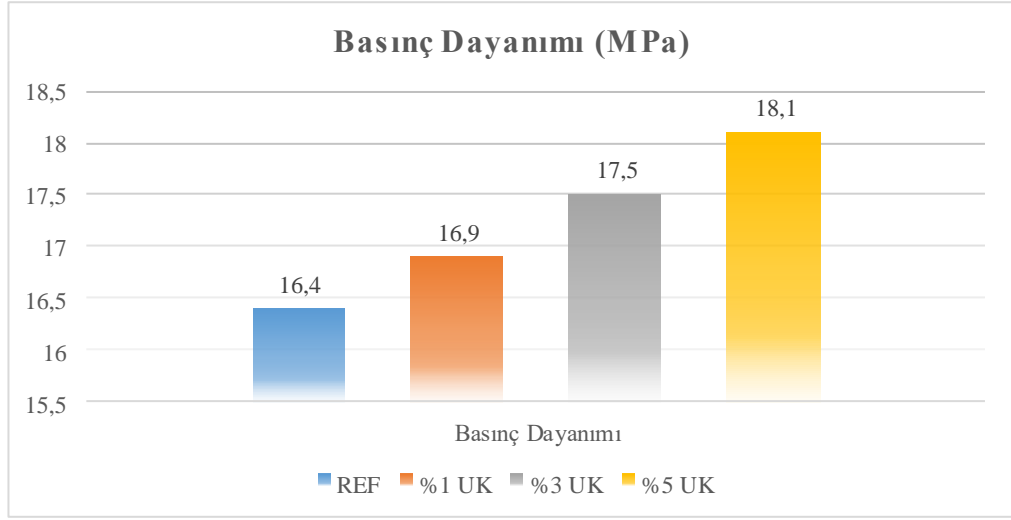
4.5. Numunelerin Mekanik Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.5.1. Basınç Dayanımı

Şekil 4.8’de referans ve uçucu kül ikameli üretilen hafif beton numunelerinin basınç dayanım değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde referans numunesi 16,4 MPa ile en düşük basınç değerine sahipken, 18,1 MPa ile %5 oranında UK ikameli üretilen hafif beton numunesi en yüksek basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmektedir. Uçucu kül miktarının artması ile üretilen numunelerin basınç dayanımlarında artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Basınç deneyi sonucunda elde edilen veriler, pomza agregası ve %3 ve %5 oranında UK kullanılarak üretilen numunelerin ACI 213R-87’de hafif betonlar için belirtilen dayanım değerinin (17.2 MPa) üzerinde dayanım değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum tez çalışmasında belirtilen oranlar kullanılarak hafif betonlar üretilebileceğini göstermiştir.

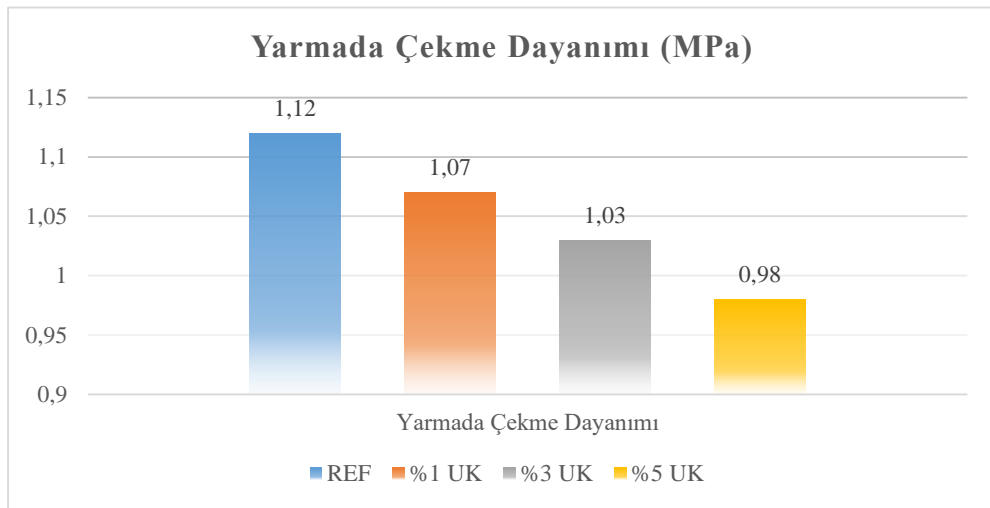
Referans numunesi ve %1 oranında UK ikameli olarak üretilen hafif beton numuneleri taşıyıcı eleman olarak kullanılamasa da bölücü blok eleman olarak kullanılması mümkündür.



Şekil 4.8. Basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

4.5.2. Yarmada Çekme Dayanımı

Referans ve uçucu kül ikameli üretilen hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı değerlerinin verildiği Şekil 4.9’da, referans numunesinin 1,12 MPa ile en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen verilerden çıkarılan grafikte en düşük değer %5 oranında UK ikameli üretilen hafif betonlardan elde edildiği tespit edilmiştir. Uçucu kül miktarının artması ile üretilen numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.9. Yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

(Dikici, 2010), taşıyıcı hafif betonun 28 günlük yarmada çekme dayanımının 2,3 MPa olduğunu bildirmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında pomza agregası ile endüstriyel atık olan uçucu kül belirli oranlarda çimento ikame malzemesi olarak kullanılmış ve elde edilen karışımdan hafif beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelere yapılan deneyler ve SEM görüntüleri aşağıda sunulmuştur.

- ✓ Fiziksel deneylerden olan KHBA deneyinde, uçucu kül ilavesi ile artan katkı oranına paralel olarak KHBA değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- ✓ Hafif beton üretiminde pomza gibi özgül ağırlığı düşük olan malzemenin agrega olarak kullanılması yapının öz ağırlığının azaltılmasına olanak sağlayacaktır. Böylece yapının daha düşük düzeyde deprem yüklerine maruz kalması olanak sunacaktır.
- ✓ Üretilen hafif beton numunelerinin kılcal su emme miktarlarında, uçucu kül katkısının artmasıyla numune değerlerinde azalma meydana gelmiş, en iyi sonuç %5 oranında UK ikamesiyle üretilen hafif beton numunesinden elde edilmiştir.
- ✓ Porozite değerlerinde UK miktarının artmasıyla porozite değerlerinde azalma meydana gelmiş buna paralel olarak hafif beton bünyesindeki gözenek yapısında da azalma meydana gelmiştir. En iyi sonuç %5 UK ikameli hafif beton üretiminden elde edilmiştir.
- ✓ Üretilen hafif beton numunelerinde uçucu kül miktarının artmasıyla malzemenin kompozite değerlerinde de artış meydana geldiği görülmüştür.
- ✓ Fiziksel özelliklerin tespiti için yapılan deneylerden biri olan donma-çözülmenin basınç üzerinde etkisine bakıldığında, UK miktarının artmasıyla bu değerde de artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

- ✓ Mekanik özelliklerin tespiti için yapılan deneyler sonucunda; uçucu kül ikame miktarının artmasıyla hafif beton numunelerinin basınç dayanımlarının da arttığı, en iyi sonucun %5 oranında UK ile sağlandığı görülmüştür.
- ✓ Hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımına bakıldığında ise UK miktarının artmasına paralel olarak yarmada çekme dayanım değerlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.
- ✓ SEM görüntüleri sonucunda referans numunesinin makro porlu ve düzensiz bir yapıda olduğu görülmüştür.
- ✓ Uçucu kül miktarının artmasıyla malzeme içyapısı mikro porlu düzenli kristal yapıya dönüşmüştür.
- ✓ %5 oranında uçucu kül ikameli numunelerin diğer numunelere oranla daha üstün yapısal karakteri olduğu görülmüştür.
- ✓ Tez çalışması kapsamında elde edilen bulgulara göre uçucu külün hafif beton özelliklerini iyileştirdiği ve uygun oranlarda ikame edilmesi durumunda kullanımında herhangi bir sakınca olmayacağı sonucuna varılmıştır.
- ✓ Endüstriyel atık olan uçucu külün hafif beton üretiminde kullanılması, atıkların bertaraf edilerek çevreyi korumakla kalmayacak, ayrıca atık depolama maliyetini düşürecektir.
- ✓ İnşaat sektöründe uçucu külün kullanılması çevreye zarar veren atık olan bu küller geri dönüştürülerek sürdürülebilirliğe katkı sağlayacaktır.
- ✓ Uçucu kül ve pomzanın değerlendirilmesine yönelik ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmaların sayısı arttırılmalıdır. Bu alanda yapılacak çalışmalar sadece literatürde kalmayıp sanayi ile iş birliği yapılarak üretime geçilmelidir.

- ✓ Dünyanın önde gelen pomza rezervlerine sahip ülkemizde pomza malzemesi; inşaat ve yapı sanayinde blok, sıva ya da dolgu malzemesi olarak kullanılmıyorsa, 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 tüketilerek elde edilen yapay hafif agrega üretimi yerine, yerel kaynakların verimli değerlendirilmesi ekonomiye katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akkaş, A., (2011). Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Taşıyıcılık Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Akol, C., (2010). Genleştirilmiş Vermikülit İçeren Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas.
- Akyüncü, V., (2019). Pomza agregalı hafif beton blokların mekanik özelliklerinin ve yangın etkisi altındaki davranışının incelenmesi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1) 147-157.
- Alkan, İ. B., (2018). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Kullanılan Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Çelik Liflerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.
- Aruntaş, H. Y., (2006). Uçucu küllerin İnşaat sektöründe kullanım potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 193-203.
- Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R. & Şimşek, O., (2007). Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara.
- Aslan, M., (2018). Mastik Asfalt Üretiminde Pomza, Perlit ve Ahlat Taşı Agregasının Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis.
- ASTM C618-17, (2017). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM, U.S.A.
- Bakır, H., (2011). Dolgu Maddesi Oranının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Bala, A., Sehgal, V. K. & Saini, B., (2014). Effect of fly ash and waste rubber on properties of concrete composite, *Concrete Research Letters*, 5(3), 842-857.
- Baradan, B. & Yazıcı, H., (2003). Betonarme yapılarda durabilite ve TS EN 206-1 standardının getirdiği yenilikler, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4), 62-69.

- Baradan, B., (2012). Beton, 1. Baskı, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir.
- Biçer, A. & Kar, F., (2017). The effects of apricot resin addition to the light weight concrete with expanded polystyrene. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(21), 2335–2348.
- Bims Sanayicileri Derneği, (2006). Bims (pomza) alt sektör raporu. *Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, Türkiye Toprak Sanayi Meclisi*, Ankara.
- Bostancı, A., (2014). Eski Beton-Yeni Beton Aderansının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- 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)*, Karabük.
- Ceylan, B. T., (2019). Erzurum Yöresinde Çıkarılan Pomza ve Perlitin Seramik Sanayisinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Ceylan, H., (2005). Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Çakıroğlu, M. A. & Terzi, S., (2010). Püskürtme Betonda Yüzey Hazırlığının Önemi” *SDU International Technologic Sciences*, 2(2):85-92.
- Çiçek, T. & Çiçin, Y., (2015). Use of fly ash in production of light-weight building bricks. *Construction and Building Materials*, 94, 521-527.
- Dal, M., Kılınç, C. & Eren, Işık A., (2013). Beton Teknolojisi ve Beton Teknolojisi Laboratuvarı. *Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi Yayınları*, I.baskı, 164s İstanbul.
- Davraz, M. & Gündüz, L., (2005). Amorf Silika ve Endüstriyel Katkısı, Endüstriyel Hammaddeler ve Yapı Malzemeleri, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Fuarı*, IMCET2005, İzmir.
- Demirboğa, R. & Gül, R., (2003). The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 33(5), 723-727.
- Dikici, T., (2010). Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

- 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.
- DPT, (2001). Madencilik ÖİK raporu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu yapı malzemeleri ıı (pomza-perlit-vermikülit flogopit genişlen killer) *Çalışma Grubu Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Türkiye, Rap. DPT:2617.
- Duyar, O., Aykan, G. & Tezel, O., (2015). Akışkanlaştırıcı katkı teknolojisinin yeni sınırları ve uygulama örnekleri , *Hazır Beton Kongresi* , İstanbul.
- Düzgün, O. A., (2001). Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Erzurum.
- Elmastaş, N., (2012). Türkiye ekonomisi için önemi giderek artan bir maden: pomza (sünger taşı), *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(23), 197-206.
- Erdoğan, T. Y., (2013). Beton, 4. baskı, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, 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.
- Eren, E., (2009). Farklı Cüruf Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Felekoğlu, B., (2003). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.
- Ganjian, E., Khorami, M. & Maghsoudi, A. A., (2009). Scrap-tyre rubber replacement for aggregate and filler in concrete, *Construction and Building Materials*, 23 (5),1828-1836.
- Gökçe, H. S. & Can, Ö., (2009). Pomza agregasının farklı zamanlardaki su emmelerinin hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi. *Politeknik Dergisi*, 12, 293-298.
- Gönen, T., (2009). Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

- Görür, E. B., (2007). Yüksek Fırın Cürufu Ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Durabilite Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.
- Gül, M., (2018). Hafif Beton Agregası Olarak Atık Plastiklerin Ve Pet'in Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Güler, G., (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri Ve Kullanım Alanları, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir.
- Gülşen, H., (2004). Bazaltik Pomzanın Hafif Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Gündeşli, U., (2008). Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması. Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Gündüz, L. & Uğur, İ., (2000). Pomzadan mamul blok elemanlarında kayaç parametreleri – ses akustiği ilişkisi üzerine teknik bir analiz, *V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, 205-215, Isparta.
- Gündüz, L. & Uğur, İ., (2005). The effects of different fine and corsapumice aggregate/cementations on the structural concrete properties without using any admixture, *Cement and Concrete Research*, 35, 1859-1864.
- Gündüz, L., (1998). Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu), *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, (Cilt-I)*, 288, Isparta.
- Güner, M. & Süme, V., (2000). *Yapı Malzemesi ve Beton*, 2. Baskı, Aktif Yayınevi Erzurum.
- Güner, M. S., (1999). “Malzeme Bilimi–Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi” (12.Baskı), *Aktif Yayınevi*, İstanbul.
- 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., (2004). Properties of volcanic scoria based lightweight concrete, *Magazine of Concrete Research*, 56(2), 111-120.
- Kandil, U., (2014). Uçucu Kül ve Silis Dumanı İçeren Betonların Geçirimlilik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.

- Keskin, T., Türkyılmaz, O., Kayadelen, M. & Batur, E., (2014). Enerji ekipmanları yerli üretimi durum değerlendirmesi ve öneriler. –*TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın MMO*, 621, 49-52.
- Khandaker, M. & Hossain, A., (2002). Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, 2478.
- Khoshnoud, P., Gunashekar, S., Jamel, M. M. & Abu-Zahra, N., (2014). Comparative Analysis of Rigid Pvc Foam Reinforced with Class C and Class F Fly Ash", *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2, ss. 554.
- Kocataşkın, F., (1991). Betonun Dünü Bugünü Yarını. Yüksek Dayanımlı Beton, 2. *Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, s: 23-42.
- 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.
- Koçyiğit, Ş. (2016). Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu ve Kitre Katkılı Çimento Esaslı Kompozit Malzemenin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ.
- Kozak, M. & Ünal O., (2010). Hafif agregalı blokların özelliklerinin araştırılması *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 17-30.
- Mannan, M. A. , Alexander, J., Ganapathy, C. & Teo D. C. L., (2006). Quality improvement of oil palm shall (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete, *Building and Environment*, 41, 1239-1242.
- Mehta, P. K. & Monteiro, P. J. M., (2006). Concrete, Microstructure, Properties an Materials, *McGraw-Hill Companies, Inc.*, Third Edition, New York, 486.
- Özalp, F., (2016). Kür Koşulları Ve Yalıtımın Yüksek Dayanımlı Betonların Geçirimsizlik, İç-Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Özkan, Ş. G. & Twicer, G., (2011). Pomza madenciliğine genel bakış. 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 200-207, İzmir.
- Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M. & Uyan, M., (2004). Her Yönüyle Beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.
- Öztürk, E., (2019). Yapılarda Hafif Beton Kullanımında Son Gelişmeler. Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun.

- Öztürk, M, (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Öztürk, M, (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Öztürk, M., (2012). “Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Öztürk, M., (2012). Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Polat, R., (2007). Genleştirilmiş Perlit ve Pomza ile Hava Sürükleyici Katkının Betonda Kılcal Geçirimlilik ve Don Hasarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Razavi, S. V., El-Shafie, A. H. & Mohammadi, P. (2011). Artificial neural networks for mechanical strength prediction of lightweight mortar. *Scientific Research and Essays*, 6(16): 3406–3417.
- Sağlık, A., Tunç, E. & Kocabeyler, M. F., (2007). Kimyasal ve Mineral Katkıların Kütle Betonu Tasarımında Yeri ve Önemi, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara.
- Sancak, E, (2005). Silis Dumanı Katkılı Bims Betonların Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Sarı, D. & Paşamehmetoğlu, A. G., (2005). The Effects of Gradation and Admixture on The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. *Cement and Concrete Research*, 35, 936-943.
- Schutter, G. D., (2008). Final report of rilem TC 205-DSC: Durability of self compacting. *Materials and Structures*, 225-233.
- Serinoğlu, Y. N., (2011). Normal ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Miktarının Taze Beton ve Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Şimşek, O., (2007). Beton ve Beton Teknolojisi, *Seçkin Yayınları*, Ankara, 230.
- Şimşek, O., (2016). Beton ve Beton Teknolojisi, 5. baskı, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara.

- Şişman, C. B., Kocaman Ş. & Gezer, E., (2008). Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (2): 20-25.
- Temiz, H. & Akçekale, A. H, (2014). Hafif agregalı betonun mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2): 7-20.
- Toklu, K., (2009). Pomza Taşından Üretilen Bims Blok Kalitesinin Arttırılma Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Toktay, M., (2013). Betonda Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanının Rolü. *Beton 2013 Kongresi Çağrılı Bildiriler*, 2, 201-238, İstanbul.
- Topçu, İ. B., (2006). Beton Teknolojisi. *Uğur Ofset*, 570, Ankara.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M. & Boğa, A. R., (2005). Deprem Bölgelerinde Kullanılabilecek Ferrocement Çadırlar, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.
- TS 10088 EN 9323, (1997). Agregaların genel özellikleri için deneyler- kısım 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 802, (1985). Beton Karışımı Hesapları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 26.
- TS EN 1008, (2003). Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1, (2009). Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206-1, (2002). Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 63.
- TS EN 450-1, (2013). Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TUİK, (2014). Termik Santral Su, Atık Su ve Atık İstatistikleri, URL-2 <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18782> , 08.10.2019.

- Türkel, S. & Kadiroğlu, B., (2007). Pomza agregalı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(3), 353-359.
- URL-1. (2019) 05.03 tarihinde <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari> alınmıştır.
- URL-2. (2019) 05.07 tarihinde <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari> alınmıştır.
- Uygunoğlu, T. & Ünal, O., (2007). Buhar kürü uygulanmış pomzalı hafif betonun özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 10(1), 111-116.
- Uygunoğlu, T., (2008). Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Ünal, O. & Uygunoğlu, T., (2004). Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. *Türkiye 14. Kömür kongresi bildiriler kitabı*, Cilt 1: 310-321, Zonguldak.
- Winter, N. B., (2012). Scanning electron microscopy of cementand concrete. *WHD Microanalysis Consultants Ltd*, ss.192, United Kingdom.
- Yanık, S., (2007). Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Yanık, S., (2007). Bazik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- Yardımcı, A., (2005). Santral Çıkışı İle Şantiye Şartlarında C 20/25 Ve C 25/30 Hazır Beton Mukavemetinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç, A. & Gülşen, H. (2003). Strengt properties of lightweight concrete made with balastic pumice and fly ash. *Materials Letters* (57), 22-27.
- Yazıcıoğlu, S. & Bozkurt, N., (2005). Pomza taşı ile elde edilen taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi*, Denizli.
- Yıldırım, M., Sümer, M. & Subaşı, S. (2018). Hafif beton üretiminde granüle edilmiş findık kabuğunun kullanılabilirliğinin araştırılması, *El-Cezerî 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, 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.
- Yılmaz, A. & Degirmenci, N., (2009). Possibility of using waste tire rubber and flyash with Portland cement as construction materials, *Waste Management*, 29(5), 1541-1546.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Mehmet Oğuzhan KALE
Doğum Yeri ve Yılı: Erdemli / 06.01.1989
Medeni Hali: Bekar
Yabancı Dili: İngilizce
E-Posta: moguzhankale@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise: Silifke Lisesi/Eşit Ağırlık, 2006
Lisans: Kıbrıs Uluslararası Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği, 2017

Mesleki Deneyim

İş Yeri: Selefkos Kale Yapı Denetim Ltd. Şti, (2017-devam).

Yayınları:

Çağlar H., **Kale M.O.** & Çağlar A., (2019), Borik Asitin Pomza ve Perlit Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Betonun Mekanik Karakteristiği Üzerine Etkisinin Araştırılması, *International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Studies*, Ankara.