



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**NEVŞEHİR BÖLGESİ POMZASI VE PİRİNÇ
KABUĞU KÜLÜNÜN HAFİF BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

SEYİT CAN YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2024



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



NEVŞEHİR BÖLGESİ POMZASI VE PİRİNÇ
KABUĞU KÜLÜNÜN HAFİF BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI

SEYİT CAN YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ HAKAN ÇAĞLAR

KIRŞEHİR

2024

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etięi Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduęum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettięimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./...../20....

Öęrenci
Seyit Can YILMAZ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ	I
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TABLolar DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Önemi	2
1.3. Çalışmanın Kapsamı	3
1.4. Pirinç Kabuğu Külü	4
1.5. Pomza.....	10
1.5.1. Pomzanın Tarihçesi	11
1.5.2. Pomzanın Oluşumu.....	12
1.5.3. Pomzanın Sınıflandırılması.....	13
1.5.4. Pomzanın Fiziksel Özellikleri.....	15
1.5.5. Pomzanın Kimyasal Özellikleri	15
1.5.6. Pomzanın Kullanım Alanları	16
1.6. Hafif Beton	18
1.6.1 Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları.....	19
1.6.2 Hafif Beton Uygulamaları.....	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	25
3. MATERYAL VE METOT	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Pomza.....	30
3.1.2. Pirinç Kabuğu Külü.....	33
3.1.3. Çimento	33
3.1.4. Kum.....	34
3.1.4. Süper akışkanlaştırıcı.....	34
3.1.5. Karışım suyu	35

3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Pomza ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerin üretilmesi.....	35
3.2.2. Numunelere uygulanan Fiziksel Deneyler	38
3.2.3. Numunelere uygulanan Mekanik Deneyler.....	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Hafif Beton Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları	43
4.1.1. Kuru birim hacim ağırlık.....	43
4.1.2. Porozite.....	44
4.1.3. Kompasite.....	45
4.1.4. Su Emme (Ağırlıkça).....	47
4.1.5. Donma Çözülmenin Basınca Etkisi.....	48
4.2. Hafif Beton Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları	50
4.2.1. Basınç Dayanımı	50
4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	53
6. KAYNAKÇA	55
ÖZGEÇMİŞ	67

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÇAĞLAR'a büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Ahmet Celal APAY ve Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK'e teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tezimi, ailem başta olmak üzere özellikle babam Esat YILMAZ ve annem Yasemin YILMAZ'a ithaf ederim.

Mart, 2024

Seyit Can Yılmaz

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NEVŞEHİR BÖLGESİ POMZASI VE PİRİNÇ KABUĞU KÜLÜNÜN HAFİF BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Seyit Can YILMAZ

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Yıl: 2024 Sayfa: 67
Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

Bu çalışmada, Nevşehir bölgesi pomza ve pirinç kabuğu külünün hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, %90 oranında Nevşehir pomzası ve %10 oranında kum agrega olarak kullanılmıştır. Farklı oranlarda (%10, %20, %30) pirinç kabuğu külü ise çimento ikame malzemesi olarak hafif beton üretimine katılmıştır. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada pirinç kabuğu ikameli numunelerin karşılaştırılması için referans numunesi üretilmiştir. İkinci aşamada %10, %20, %30 oranında pirinç kabuğu külü ikameli hafif beton numuneleri üretilmiştir. Üçüncü aşamada numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, en düşük kuru birim hacim ağırlık, porozite, kompasite ve su emme değerlerinin %30 oranında pirinç kabuğu ikamesiyle elde edildiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca pirinç kabuğu külü ikamesinin hafif beton üretimine rahatlıkla katılabileceği ve böylelikle atık bertarafına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Pirinç kabuğu külü, hafif beton, Nevşehir, asidik pomza

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF NEVŞEHİR REGION PUMICE AND RICE HUSK ASH IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION

Seyit Can YILMAZ

KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Year: 2024 Pages: 67
Juries: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Prof. Dr. Ahmet Celal APAY
Assoc. Prof. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

In this study, it was aimed to investigate the usability of Nevşehir region pumice and rice husk ash in the production of lightweight concrete. For this purpose, 90% Nevşehir pumice and 10% sand were used as aggregate. Rice husk ash in different amounts (10%, 20%, 30%) was added to the production of lightweight concrete as a cement replacement material. The study was carried out in three stages. In the first stage, a reference sample was produced to compare rice husk substituted samples. In the second stage, lightweight concrete samples with 10%, 20% and 30% rice husk ash replacement were produced. In the third stage, experiments were carried out to determine the physical and mechanical properties of the samples. As a result of the study, it was seen that the lowest dry unit weight, porosity, compactness and water absorption values were obtained by substituting 30% rice husk. It was determined that the compressive strength and splitting tensile strength increased with the increase of rice husk ash replacement. Additionally, it was concluded that rice husk ash substitute can easily be incorporated into lightweight concrete production and thus contribute to waste disposal.

Key Words: Pumice, rice husk ash, lightweight concrete, Nevşehir, acidic pumice

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1.1. Türkiye pirinç denge tablosu (1.000 ton).....	7
Tablo 1.2. Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri.....	8
Tablo 1.3. Pomzanın fiziksel özellikleri.....	15
Tablo 1.4. Pomzanın kimyasal özellikleri ve bileşenleri.....	16
Tablo 3.1. Pomzanın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	32
Tablo 3.2. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve mekanik özellikleri.....	33
Tablo 3.3. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	34
Tablo 3.4. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri.....	35
Tablo 3.5. Karışım oranları.....	36
Tablo 4.1. Seri ve numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerleri (kg/m ³).....	43
Tablo 4.2. Seri ve numunelerin porozite değerleri (%).....	44
Tablo 4.3. Seri ve numunelerin kompasite değerleri (%).....	46
Tablo 4.4. Seri ve numunelerin su emme (ağırlıkça) değerleri (%).....	47
Tablo 4.5. Seri ve numunelerin donma çözülmenin basınca etkisi.....	48
Tablo 4.6. Seri ve numunelerin basınç dayanımı.....	50
Tablo 4.7. Seri ve numunelerin yarmada çekme dayanımı.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Çeltik üretiminde önemli ülkeler.....	4
Şekil 1.2. 2020/21 sezonu pirinç ihracatında ülkelerin payı.....	5
Şekil 1.3. 2020/21 sezonu pirinç ithalatında ülkelerin payı.....	5
Şekil 1.4. Türkiye’de pirinç üretimi yapılan iller.....	6
Şekil 1.5. Türkiye’nin ülkelere göre pirinç ithalatı.....	6
Şekil 1.6. Pomza.....	10
Şekil 1.7. Türkiye illerindeki pomza rezervuarları.....	11
Şekil 1.8. Pomza ve yataklarının oluşumu.....	12
Şekil 1.9. Pomzanın sınıflandırılması.....	13
Şekil 1.10. Asidik pomza.....	14
Şekil 1.11. Bazik Pomza.....	14
Şekil 1.12. Pomzanın kullanım alanları.....	17
Şekil 1.13. Pomzanın kullanım oranları.....	17
Şekil 1.14. Hafif beton.....	18
Şekil 1.15. Parrots Ferry Bridge, ABD.....	21
Şekil 1.16. Saddledome Stadium.....	22
Şekil 1.17. New Benicia-Martinez Bridge, ABD.....	22
Şekil 1.18. Wellington Webb City Hall, ABD.....	23
Şekil 3.1. Nevşehir yöresi asidik pomza.....	31
Şekil 3.2. Nevşehir ili maden ocakları ve pomza yatakları dağılım haritası.....	32
Şekil 3.3. Çimento.....	33
Şekil 3.4. Kum.....	34
Şekil 3.5. Süper akışkanlaştırıcı.....	35
Şekil 3.6. Hafif beton hamuru.....	36
Şekil 3.7. Numunelerin kalıp içerisinde bekletilmesi.....	37
Şekil 3.8. Numunelerin kürlenmesi.....	37
Şekil 3.9. Donma çözülme kabini.....	40
Şekil 3.10. Basınç dayanımı deney düzeneği.....	41
Şekil 4.1. Kuru birim hacim ağırlık grafiği.....	44
Şekil 4.2. Porozite grafiği.....	45
Şekil 4.3. Kompozite grafiği.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 4.4. Su emme (ağırlıkça) grafiği	47
Şekil 4.5. Donma çözülme sonrası basınç dayanımı grafiği.....	49
Şekil 4.6. Donma çözülmenin basınca etkisi grafiği	49
Şekil 4.7. Basınç dayanımı grafiği	51
Şekil 4.8. Yarmada çekme dayanımı grafiği	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
SiO_2	: Silisyum
K_2O	: Potasyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
Fe_2O_3	: Demir Oksit
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
$^{\circ}C$: Santigrad Derece
m^3	: Metre Küp
MPa	: Mega Paskal

Kısaltmalar	Açıklama
MÖ	: Milattan Önce
yy	: Yüz Yıl
PAUM	: Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X Ray Diffraction Analysis
UPV	: Ultrasonik Darbe Hızı
RHA	: Pirinç Kabuğu Külü
MP	: Mermer Tozu
BP	: Tuğla Tozu
CW	: Seramik Atık Tozu
GP	: Cam Tozu
GS	: Cam Çamuru
MS	: Mermer Çamuru
ASTM	: American Society for Testing and Materials
UCS	: Tek Eksenli Basınç Mukavemeti
NAAC	: Oklavlanmamış Gazbeton Blok
MWP	: Mermer Atık Tozu
OMC	: Optimum Nem İçeriği
A.Ş	: Anonim Şirketi
MTA	: Maden Tetkik Arama
San.	: Sanayi
TS	: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

İnşaat alanında en fazla kullanılan yapı malzemesi sıralamasında ilk sırada su, ikinci sırada ise beton gelmektedir. Çok fazla tüketilmesi, teknolojinin gelişmesi ve kullanıcı taleplerinin farklılaşması betonu sürekli gelişen ve değişen bir malzeme yapmaktadır. Bu nedenlerden dolayı betonların bazı özellikleri geliştirilerek özel betonlar adını almışlardır. Kendiliğinden yerleşen beton, püskürtme beton, pudra beton, hafif beton bunlardan birkaçıdır.

Özel betonlardan biri olan ve tez çalışması kapsamında üretilen hafif beton, son yıllarda çok çeşitli inşaat projelerinde büyük ilgi ve büyük endüstriyel talep yaratan becerikli bir malzeme olarak kabul edilmektedir (Ayodele, 2016). Hafif beton, teknik, ekonomik ve çevresel avantajları sayesinde binalar için çok yönlü bir malzeme haline gelmiş ve son zamanlarda binalarda daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Topal, 2023).

Hafif betonun özelliklerinin geliştirilmesi için farklı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında da hafif beton içerisine atık malzeme ikame edilmesidir. Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme nedeniyle, son birkaç on yılda farklı endüstriyel ve tarımsal atıkların üretimi artmıştır (Münir vd., 2021). Bazı araştırmacılar bu atıkları hafif beton üretimine dahil etmektedir. Yapılan çalışmalarda uçucu kül (Yaşar vd., 2023; Satpathy, 2019; Iqbal vd., 2017; Wang vd., 2024), silis dumanı (Nukah vd., 2023; Hamidreza vd., 2023; Ali vd., 2023), yüksek fırın cürufu (Sobhani vd., 2023; Zhang vd., 2022), pirinç kabuğu külü (El-Attar vd., 2023; Lubis vd., 2023; Azhar vd., 2020), perlit (Bakhshi vd., 2023; Benjeddou vd., 2023; Stratoura vd., 2023; Kadela vd., 2023), pomza (Ali vd., 2023; Bideci vd., 2023; Tuncer ve Girgin, 2023; Kumar, 2023) ve volkanik tüf (Gündüz ve Kalkan, 2020; Sang, 2020) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen hafif beton pomza ve pirinç kabuğu ikame edilerek üretilmiştir.

Dünyadaki mevcut ekili alanların yaklaşık 700 milyon hektarında tahıl ekilmekte olup (Kumar vd., 2013), bu alanın %22'sini pirinç oluşturmaktadır. Ayrıca üretim paylarında buğdayın ardından %28'lik payla pirinç gelmektedir. Ülkeler pirinç kabuğu üretimi açısından karşılaştırıldığında Çin ilk sırada yer alırken, onu Hindistan, Endonezya ve Bangladeş takip ediyor. Türkiye son 10 yılda çeltik üretimi en fazla artan ülkeler arasında yer alıyor. Bu artışın nedenleri ekim alanlarının artması ve birim alandan elde edilen verimin artmasıdır. Ekim alanının artması, pirinç kabuğunun kolay kazanılmasından kaynaklanmakta ve kar marjında artış göstermektedir.

Pirinç tanelerinin dıştaki sert koruyucu örtüsüne pirinç kabuğu adı verilmektedir (Fuad vd., 1998; Khan vd., 2023). Üretilen pirincin %22'sinin kabuk, geri kalanının ise pirinç ve kepek olması nedeniyle dünyada ve Türkiye'de üretimin yüksek olması pirinç kabuğunu önemli bir atık sorunu haline getirmektedir. Kabuğun yakılması sonucu elde edilen pirinç kabuğu külü, toz halinde öğütüldüğünde olağanüstü Puzolanik niteliklere sahip olan yanma sürecinin bir yan ürünüdür (Kone vd., 2022; Jauberthie vd., 2000).

Pirinç kabuğu külünün kullanılması için bilim insanları tarafından birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda pirinç kabuğunun inşaattan güneş paneli üretimine kadar çeşitli alanlarda kullanılabileceği tespit edilmiştir (Şirin, 2014).

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında; Nevşehir bölgesi pomzası ve pirinç kabuğu külünün hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda doğal kaynaklarımızdan olan pomza agrega olarak ve endüstriyel atık olan pirinç kabuğu külü farklı oranlarda çimento ikame malzemesi olarak kullanılması sonucu hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda fiziksel ve mekanik açıdan hafif betona göre daha üstün özellikli, basınç dayanımı yüksek ve hafif bir yapı malzemesi elde edilmesi planlanmıştır.

1.2. Çalışmanın Önemi

Bu tez çalışması uygulamaya geçirildiğinde;

- Üretilen hafif betonun ölü yükü azalacağından temele ulaştırılan yükler azalmakta bu nedenle temel masrafları azalacaktır.
- Doğal agregaların kullanılması nedeniyle agrega maliyetini düşürecektir.
- Isı ve ses yalıtım özelliğine sahip olması nedeniyle tekrar yalıtım yapılmasına gerek kalmayacaktır. Bu durum hem aile hem de ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- Donma-çözülme, su emme gibi sorunların çözümü için alternatif bir seçenek olacaktır.
- Pirinç kabuğu külü gibi tarımsal atıkların yapı malzemesi üretimine katılması çevre kirliliğinin önlenmesi için iyi bir tercih olacaktır.
- Atıkların yapı malzemesi üretiminde kullanılması sürdürülebilir yapı malzemesi üretimine katkı sağlamaktadır.

- Yerel hammaddelerimiz ve atıklarımızın yapı malzemesi üretiminde kullanılmasıyla dışa bağımlılığımızın azalmasına katkı sağlanacaktır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Tez çalışmasında agrega olarak Nevşehir bölgesi sınırları içerisinde bulunan pomza seçilerek çalışmanın sınırları çizilmiştir. Çalışma 5 bölümden meydana gelmiştir.

Birinci bölüm “GİRİŞ” bölümüdür. Bu bölümde konu hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmanın amacı, önemi , kapsamı ve malzeme özellikleri başlıklar halinde sunulmuştur.

İkinci bölüm “ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR” bölümüdür. Bu bölümde pomza, hafif beton, pirinç kabuğu külü ile ilgili tezler, ulusal ve uluslararası makaleler, sempozyumda sunulan bildiriler, kitap ve dijital platformlarda yayımlanan çalışmalar detaylı bir şekilde irdelenmiş ve özet şeklinde sunulmuştur.

Tezde üçüncü bölüm “MATERYAL VE YÖNEM” bölümüdür. Materyal başlığı altında, tezde kullanılacak pomza, pirinç kabuğu külü, çimento, kum, süper akışkanlaştırıcı ve karışım suyu başlıklar halinde verilmiştir. Yöntem başlığı altında hafif beton numunelerinin üretimi ve numunelere uygulanan fiziksel ve mekanik deneyler verilmiştir.

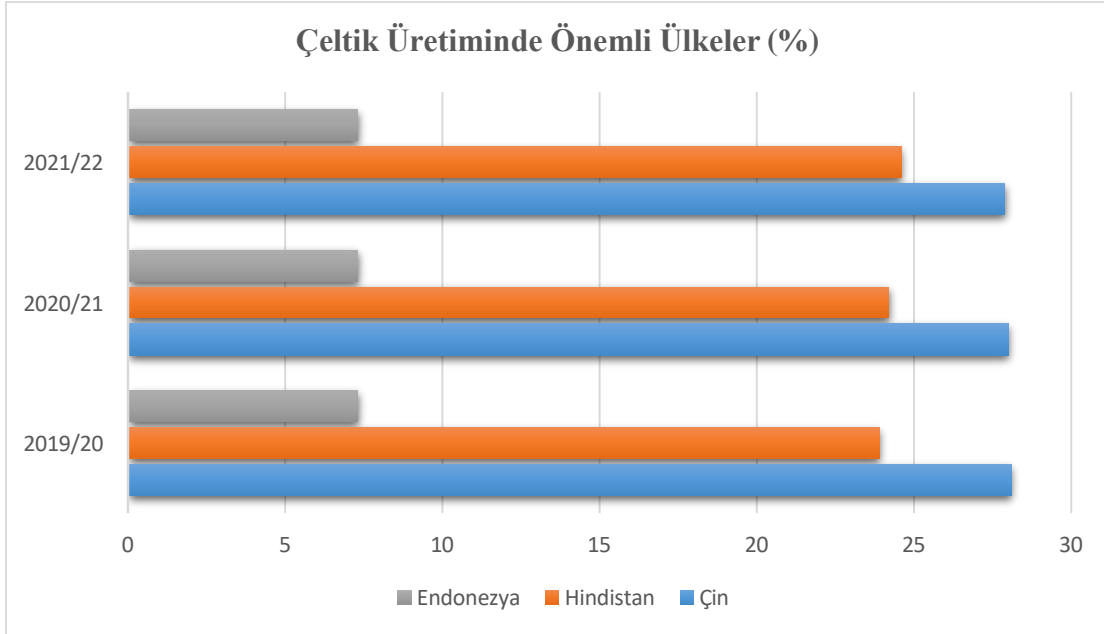
Dördüncü bölüm “ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME” bölümüdür. Bu bölümde deneyler başlıklar halinde sunulmuştur. Başlıklar altında konu ile ilgili veriler tablo ve grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Ayrıca elde edilen bulgular literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Beşinci ve son bölüm “SONUÇ VE ÖNERİLER” bölümüdür. Bu bölümde elde edilen bulgular verilmiş ve daha sonra yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

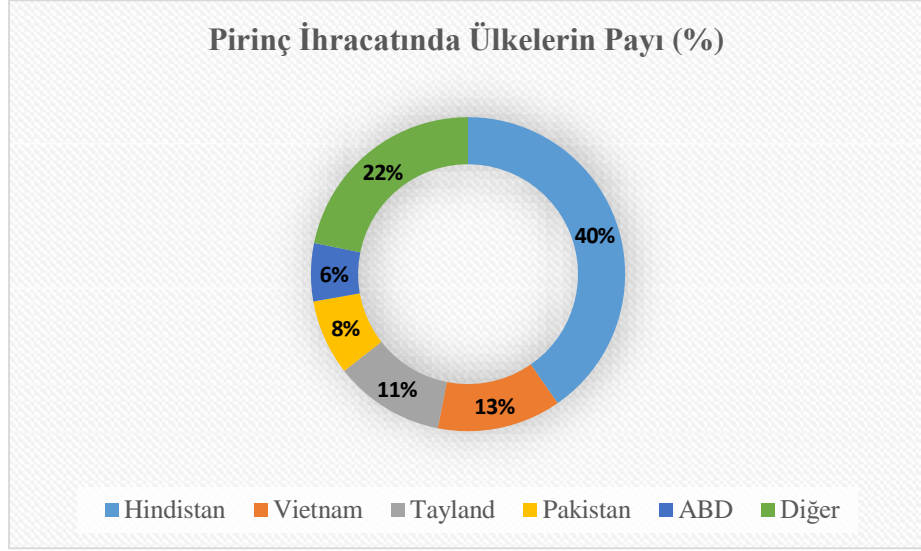
1.4. Pirinç Kabuğu Külü

Dünya yüzeyinin %1'i pirinçle kaplıdır ve dünyanın en çok tüketilen gıdalarından biri olarak kabul edilmektedir (Alganad, 2020). Pirinç kabuğu, pirincin dış kaplamasından ve iki bağlantı parçasının dahil edilmesinden elde edilir. Yenilebilir olmadığı için pirinç parçasından çıkarılır (Talling ve Brandsteter, 1989).

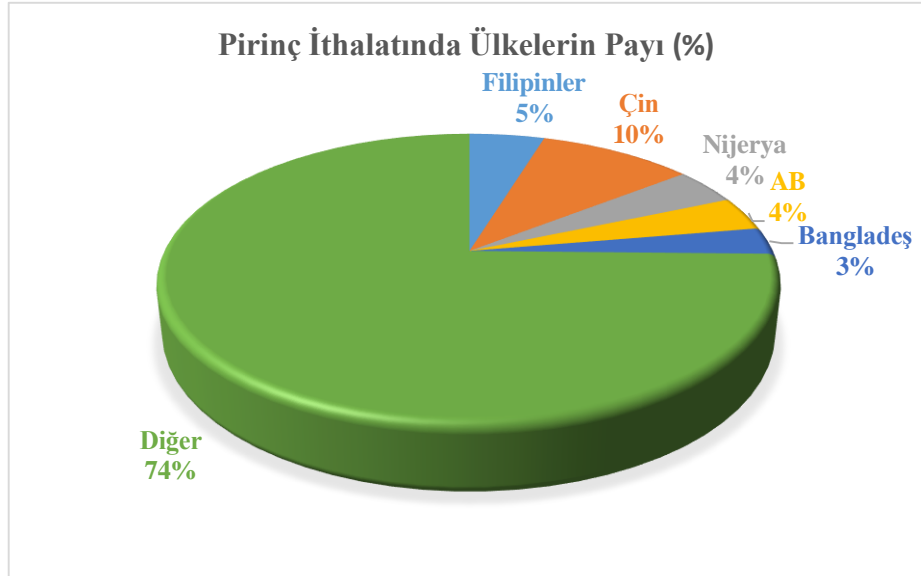
2021/2022 sezonunda Dünyada yaklaşık 735,4 milyon ton pirinç üretimi yapılmıştır. Şekil 1.1'de son üç yılda dünya üzerinde çeltik üretimi en fazla olan ülkeler sunulmuştur. Çeltik üretiminde 212 milyon ton ile Çin birinci sırada, 184 milyon ton pirinç üretimiyle Hindistan ise ikinci sırada yer almaktadır. Ayrıca Şekil 1.2'de pirinç ihracatında ülkelerin payı, Şekil 1.3'de ise pirinç ithalatında ülkelerin payı yüzde olarak verilmiştir.



Şekil 1.1. Çeltik Üretiminde Önemli Ülkeler (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023)

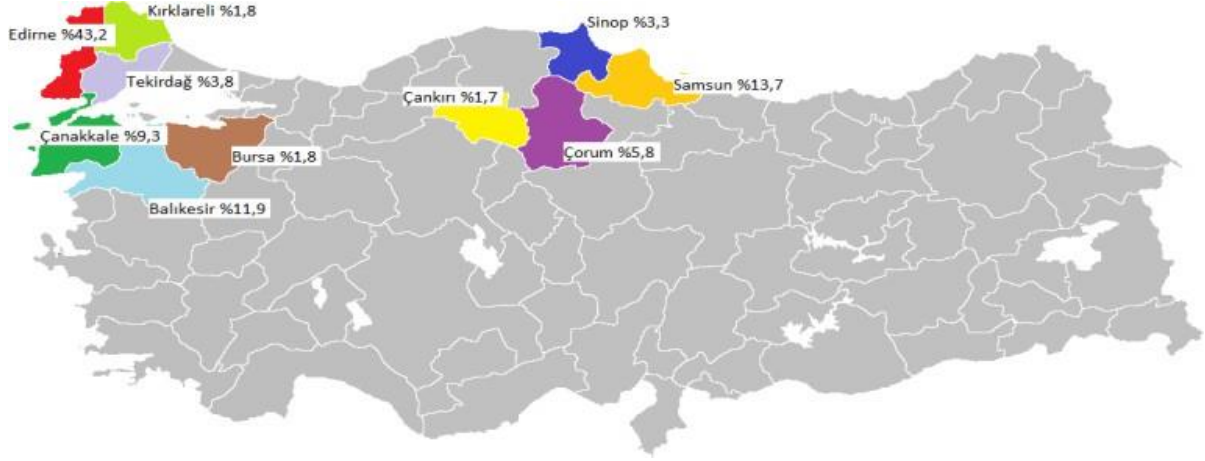


Şekil 1.2. 2020/21 sezonu pirinç ihracatında ülkelerin payı



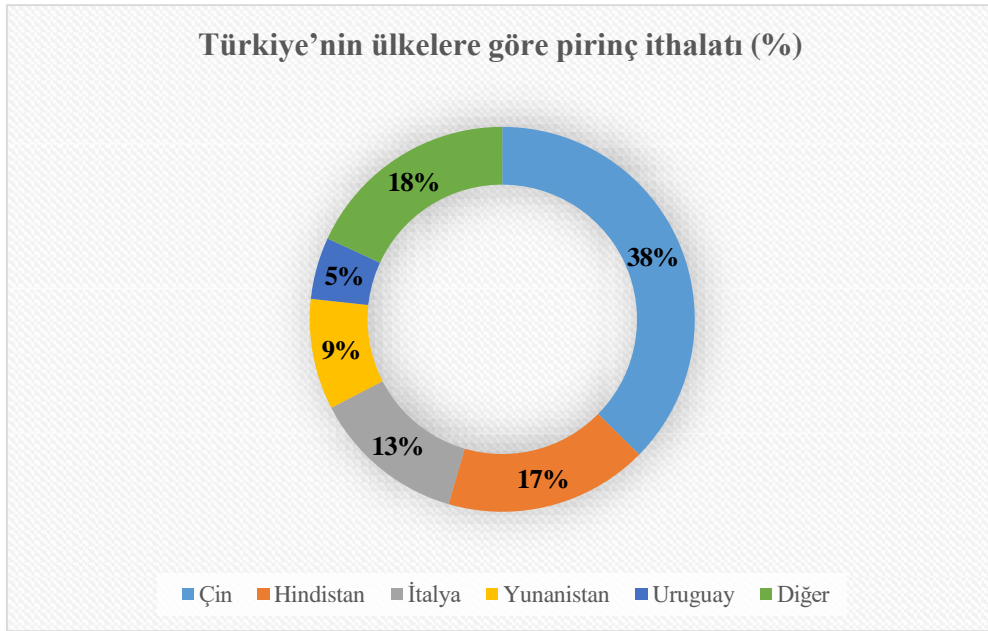
Şekil 1.3. 2020/21 sezonu pirinç ithalatında ülkelerin payı

Türkiye’de 2020/21 sezonunda 125.000 hektar alanda pirinç üretimi yapılmıştır. Bu alanda toplam 980.000 ton pirinç üretimi yapılmıştır. Aynı sezonda 98.716 ton çeltik 227.690 ton değirmenden geçirilmiş pirinç, 8.000 ton kahverengi pirinç ithalatı yapılmıştır (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023). Şekil 1.4’de Türkiye’de pirinç üretimi yapılan illerin bulunduğu harita verilmiştir. Haritaya göre, Edirne pirinç üretiminde ilk sırada yer alırken, Samsun ve Balıkesir yüksek miktarda pirinç üretimi yapan iller arasındadır.



Şekil 1.4. Türkiye’de pirinç üretimi yapılan iller (Yazıcı, 2020)

Şekil 1.5’de 2020/21 dönemi Türkiye’nin ülkelere göre pirinç ithalat oranları verilmiştir. Grafığe göre %38 ile en yüksek pirinç ithalatı Çin’den yapılırken, %5 ile en düşük ithalat Uruguay’a yapılmıştır.



Şekil 1.5. Türkiye’nin ülkelere göre pirinç ithalatı (Tarım Ürünleri Piyasaları, 2023)

Türkiye pirinç denge tablosu Tablo 1.1’de verilmiştir. Tabloda 2015-2020 yılları arasında pirinç ekim alanı, verimi, üretimi, ithalat ve ihracat miktarları görülmektedir. Tabloda en yüksek üretimin 600.000 ton ile 2019/20 yılları arasında olduğu görülmektedir. 2018/19 sezonu 387.000 tonla en yüksek ithalatın ve 203.000 tonla en yüksek ihracattın yapıldığı sezon olmuştur.

Tablo 1.1. Türkiye pirinç denge tablosu (1.000 ton)

	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Alan	116	116	110	120	126
Verim	794	793	821	782	791
Üretim	552	552	540	564	600
Yurt içi kullanım	782	782	795	807	700
İnsan tüketimi	750	750	765	775	665
Stok değişimi	-98	-59	-8	-65	86
İthalat	199	244	327	387	229
İhracat	61	68	59	203	37
Kendine yeterlilik	69,9	69,9	67,2	69,2	84,9

Pazarlama yılı: 1 Eylül – 31 Ağustos dönemini kapsamaktadır.

Pirinç kabuğu, öğütme işlemi sırasında tanelerden ayrılan pirinç tanelerinin sert koruyucu kaplamalarıdır. Pirincin öğütülmesi sonrasında yüksek miktarda organik atık olarak elde edilmektedir (Wang vd., 2020). Tipik bir öğütme işlemi sırasında, kepek tabakasının çıkarılması için daha fazla öğütülmesinin ardından beyaz pirinç elde edilecek olan bütün kahverengi pirinci ortaya çıkarmak için kabuklar ham tahıldan çıkarılmaktadır (Singh, 2018). Pirinç öğütme işleminde, pirincin ağırlığının yaklaşık %78'i pirinç, kırık pirinç ve kepek olarak, geri kalan yüzde 22'si ise kabuk olarak alınmaktadır. Yani öğütülen her 1000 kg çeltik için yaklaşık 220 kg (%22) kabuk üretilmektedir (Nagrela vd., 2012). Bu kabuk yaklaşık %30-%50 oranında organik karbon içermektedir. Pirinç kabuğunun yığın yoğunluğu düşük ve 90-150 kg/m³ arasında değişmektedir. Kabuk bileşenleri;

- Selüloz (%50),
- Lignin (%25 %30),
- Silika (%15 %20)
- Nem (%10 %15) den oluşmaktadır (Hwang ve Chandra, 2016b).

Tablo 1.2’de pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri sunulmuştur.

Tablo 1.2. Pirinç kabuğunun kimyasal ve fiziko-kimyasal özellikleri (Yıldız vd., 2007)

Pirinç Kabuğunun Kimyasal Özellikleri	
	%
SiO ₂	96,34
K ₂ O	2,31
MgO	0,45
Fe ₂ O ₃	0,20
Al ₂ O ₃	0,41
CaO	0,41
Fiziko-kimyasal özellikleri	
Birim Hacim Ağırlığı (g/ml)	0,73
Katı Yoğunluğu (g/ml)	1,5
Nem İçeriği (%)	6,62
Kül İçeriği (%)	45,97
Tane Büyüklüğü (mesh)	200-16
Yüzey Alanı (m ² /g)	272,5
Yüzey Aktivitesi (meq/gm)	0,1
Yüzey Bazlık (meq/gm)	0,45

Pirinç kabuğu yaklaşık %75 oranında organik uçucu madde içermekte ve bu kabuğun ağırlığının %25’lik kısmı, bilinen pişirme işlemi sırasında pirinç kabuğu külüne dönüşmektedir (Alganad, 2020). Başka bir deyişle pirinç kabuğu külü, pirinç değirmenciliği endüstrisinde çeltik pirincinin işlenmesi sırasında tarımsal atık olarak ortaya çıkan pirinç kabuklarının yakılmasıyla elde edilir (Safiuddin, 2008).

Pirinç kabuğunu kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki farklı şekilde yakma işlemine tabi tutulmaktadır. İlk olarak, pirinç kabuğu 300-450 °C arasında değişen bir sıcaklıkta açık yığın köy yakma yöntemi kullanılarak pirinç kabuğu külü elde edilmektedir. Pirinç kabukları bu şekilde yani kontrolsüz bir şekilde 500 °C’nin altında bir sıcaklığa yakıldığında, yanma işlemi tam anlamıyla gerçekleştirilmemiş olmaktadır. Bu yüzden elde edilen kül yüksek miktarda yanmamış karbon içermektedir. Pirinç kabukları 800 °C’nin altında kontrollü bir şekilde yakıldığında genellikle amorf yapıda silika içeren kül elde edilmektedir. Eğer kabuklar 500 yada 700 °C’de 12 saatten fazla yakma işlemine tabi tutulursa, yüksek miktarda kristalli yapı içermeyen yüksek reaktiviteye sahip pirinç kabuğu külü üretilmektedir. Bu yöntem ağırlıkça %70-80’den fazla ağırlık kaybına yol açmaktadır. 15-360 dakika arasında değişen yanma süreleri 500-700 °C yakma sıcaklıklarında da elde edilen külün, yüksek karbon içeriğine sahip olmasına neden olmaktadır. Ayrıca kabukların kısa sürede düşük sıcaklıklara maruz bırakılması da %30 dan az kilo kaybına sebep olmaktadır. Bunun yanı sıra elde edilen kül karbonlu ve amorf

silika karışımı bir malzeme özelliğine sahip olmaktadır. bu işlem sonunda üretilen kül, %50-70 oranında amorf silika ve %30-50 oranında karbon içeriğine ya da kızdırma kaybına sahip olmaktadır (Nair vd., 2008; Venkatanarayanan, 2013; Şirin, 2014).

Pirinç kabuğu külünün özellikleri;

- Yanma süresine
- Pirinç kabuğunun bileşimine
- Yanma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir (Singh, 2018).

Ayrıca küller yakma sıcaklığına bağlı olarak kristalli veya kristalli olmayan (amorf) pirinç kabuğu külü olarak ayrılmaktadır. (Mahmud, 2004).

Pirinç kabuğu külü yaklaşık %85 - %90 amorf silika içermektedir (Nagrela vd., 2012). Yüksek silika içeriğinden dolayı amorf pirinç kabuğu külü oldukça puzolaniktir (Demirbağ, 2021). Bu nedenle betonda kullanımı kristal pirinç kabuğu külüne göre daha uygundur (Hwang ve Chandra, 2016a). Bu tip küller, iyi işlenebilirliğe sahip, yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonlar üretmek için başarıyla kullanılmıştır (Mahmud, 2004; Zhang ve Malhotra, 1996).

Pirinç kabuğu külü, yüksek puzolanik reaksiyonu nedeniyle beton gibi inşaat malzemeleri üzerinde daha iyi etki göstermiştir. Betonda bir miktar çimento pirinç kabuğu külü ile değiştirildiğinde, mukavemette veya dayanıklılıkta tespit edilebilir herhangi bir azalma olmaksızın betonun özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külünün inşaat uygulamalarında kullanılabilir hale gelmesi için 500-700 °C civarında bir sıcaklığa 12 saatten fazla maruz bırakılması gerekmektedir (Tuan vd., 2011).

Pirinç kabuğu külü yapısındaki yüksek silika oranı ve ısı yalıtım özelliğinden dolayı inşaat sektöründen enerji sektörüne kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Külün başlıca kullanım alanları;

- İnşaat Sekörü
- Enerji Amaçlı Kullanım
- Refrakter malzeme-seramik-cam üretiminde
- Kimyasal üretiminde
- Adsorban olarak
- Tekstil Boyaları üretimidir (Şirin, 2014).

1.5. Pomza

Pomza son 20 yılda ülkemiz sanayisine girmeye başlayan, volkanik olaylar sonucu oluşan, fiziksel ve kimyasal etkenlere dayanıklı, içi boş, süngerimsi, gözenekli, camsı volkanik bir kaya olarak tanımlanmaktadır. Oluşumu sırasında yapısında yer alan gazların ani çıkışı ve hızlı soğutma altında katılaşması sırasında hem makrodan hem de mikro ölçekte sayısız gözenek oluşmaktadır (Tanyıldızı ve Gökalp, 2023). Oluşan bu gözenekler arasında birbiriyle bağlantısı olmayan boşluklar bulunmaktadır. Bu boşluklar pomzayı hidrolik iletkenliği düşük, ses ve ısı yalıtımı yüksek bir malzeme yapmaktadır (Maden İhtisas Komisyonu, 2000).

Pomza bazı benzersiz özellikleriyle benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidiyen, pomza-kalay) farklılık göstermektedir. Şekil 1.6'da görülen pomza, rengi, gözenekliliği ve kristal su eksikliği ile pratik olarak onlardan ayrılmaktadır (Çirkin, 2023).

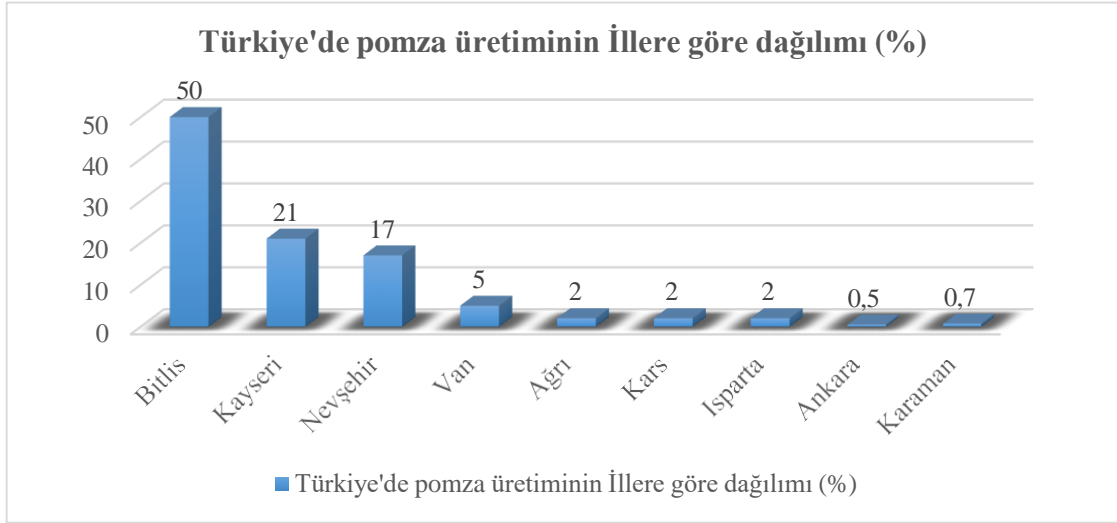


Şekil 1.6. Pomza (MTA, 2023)

Türkiye pomza rezervleri açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir. Araştırılan alanlarda yaklaşık 3 milyar m³ pomza rezervinin bulunduğu tahmin edilmektedir (Maden İhtisas Komisyonu, 2000). Bu rezervler Orta Anadolu'da yoğun bir şekilde görülmektedir (Çirkin, 2023).

Dünyada toplam 18 milyar m³ pomza rezervi bulunmaktadır. Türkiye, Almanya, İtalya, Amerika, Yunanistan, İran ve İspanya pomza üretimi yapan ülkeler arasında yer almaktadır. Şekil 1.7'de Türkiye'de pomza rezervinin bulunduğu iller verilmiştir. Şekle göre ülkemizde bulunan pomzanın yarısı Bitlis ilinden çıkarılmaktadır.

Öte yandan çalışmada kullanılan pomzanın temin edildiği, Nevşehir ve Kayseri iline alan Kapadokya Bölgesi ülkemizde üretilen pomzanın yaklaşık yarısını karşılamaktadır (Davraz vd, 2005).



Şekil 1.7. Türkiye illerindeki pomza rezervuarları (Davraz vd., 2005)

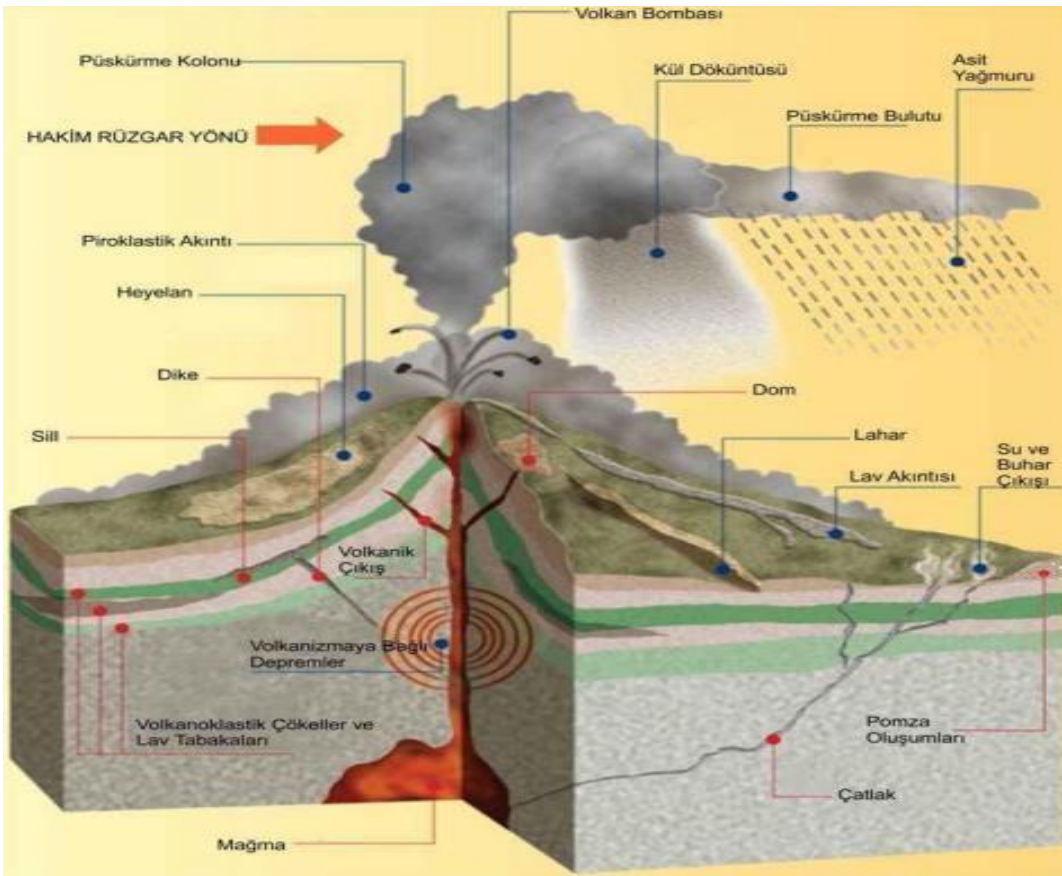
1.5.1. Pomzanın Tarihçesi

Volkanik bir taş olan pomza tarihin hemen hemen her döneminde aktif kullanımı ile karşımıza çıkmaktadır.

- Pomza taşının tespit edilen en eski kullanımı M.Ö. 1. Yy.'da Vitruvio'nun mimari özeti olarak bilinmektedir. Vitruvio, pomzanın özgül ağırlığının sudan az olması nedeniyle suda batmayan, hijyenik ve su geçirmeyen özelliği olduğunu vurgulamıştır.
- Eski Romalılar döneminde termal hamam ve tapınak inşasında kullanılmıştır. Bu dönemde taşın kullanıldığı en belirgin yapıların, Roma Panteonu ve İstanbul'daki Ayasofya Camisi olduğu bilinmektedir.
- 1800'lü yıllarda Almanya'nın Koblenz ilinde kentinde yeniden kullanılmaya başlanmıştır.
- Pomza taşı, Amerika'nın Kaliforniya eyaletinde ilk kez 1851 yılında kullanıma geçilmiştir. (Soylu Group, 2021).

1.5.2. Pomzanın Oluşumu

Yerkürenin derinlerinde bazaltın erimesi sonucu meydana gelen magma, volkanik patlama neticesinde mikro boyuttan büyük kütleli boyutlara kadar değişik ebatlarda magmadan yeryüzüne fıskırtılmaktadır. Yeryüzüne çıkan magma, volkanın ağzından başlayarak sıvı lavlar ve rüzgarın etkisiyle birkaç yüz kilometre uzağa kadar gidebilmektedir. Büyük blok şeklinde fırlayan parçalar yakına, küçük, toz şeklinde fırlayan parçalar ise uzağa düşmektedir. Volkanik aktivite neticesinde yüzeye gelen magma bir anda soğuğa maruz kalmaktadır. Bu hızlı sıcaklık değişimi gözenekli ve süngere benzer bir form meydana getirerek pomzayı oluşturmaktadır. Bu pomza hava şartlarının tesiriyle buldukları yüzeye uygun depolanmakta ve birincil pomza yataklarını meydana getirmektedir. Bu yataklar zaman içerisinde akarsu ve nehirler vasıtasıyla taşınmaktadır. Bu taşınma sırasında yabancı maddelerle karışarak ikincil pomza yataklarını oluşturmaktadır (Ceylan, 2005). Şekil 1.8’de pomza ve yataklarının oluşum sürecini anlatan bir görsel sunulmuştur.



Şekil 1.8. Pomza ve yataklarının oluşumu (PAUM, 2015)

1.5.3. Pomzanın Sınıflandırılması

Volkanik kayalar, 1900 lü yıllara kadar renklerine ve dokularına göre sınıflara ayrılmışlardır. Günümüzde ise teknolojinin gelişmesiyle mikroskoplar devreye girmiş ve sınıflandırma yapısal ve dokusal olarak ayrıntılı bir şekilde analiz edilmektedir (Erdoğan, 2007). Pomza Şekil 1.9'da görüldüğü gibi 6 başlık altında sınıflandırılmaktadır.



Şekil 1.9. Pomzanın sınıflandırılması

Bu sınıflandırma içerisinde en yaygın kullanılan sınıflandırma kimyasal sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma da pomza taşı kimyasal testlere tabi tutularak içerisindeki SiO_2 içeriğine göre adlandırılmaktadır (Gündüz vd., 2001). Pomza bünyesinde SiO_2 içeriği;

- $>66\%$ ise asidik pomza
- $66-52\%$ ise nötr pomza
- $52-45\%$ arasında ise bazik pomza olarak tanımlanmaktadır.

Bunun yanı sıra volkanizmanın meydana geliş prosesine ve volkanik oluşum koşullarına göre 2 farklı yapı meydana gelmektedir. Bunlar;

❖ Asidik Pomza

Şekil 1.10’da verilen asidik pomzanın silis oranı yüksektir. Silis oranının yüksek olması pomzanın aşındırıcılık özelliğinin artmasına ve beyaza yakın ve grimsi bir renge sahip olmasına neden olmaktadır. Tüm bu özellikleri ve düşük yoğunluğu sayesinde asidik pomza, inşaat ve yapı sektöründe en çok tercih edilen malzemeler arasında yer almaktadır (Erdoğan, 2007). Asidik pomzanın birim hacim ağırlığı 0,5-1 g/cm³’dür (Kocaman, 2009).



Şekil 1.10. Asidik pomza (Kızıлтаş, 2021)

❖ Bazik Pomza

Bazik pomza yapısında Al, Fe, Ca ve Mg elementlerinin yüksek oranda bulunması nedeniyle yüksek yoğunluğa sahiptir. Şekil 1.11’de görüntüsü verilen bazik pomza, kahve ve siyah arasında, değişen tonlardadır. Bazik pomzalar yapısal farklılıklarından ötürü, yüksek dayanım gerektiren inşaat alanlarında zemin döşemesi olarak kullanılmaktadırlar (Erdoğan, 2007). Bazik pomzanın birim hacim ağırlığı 1-2 g/cm³’dür (Kocaman, 2009).

Bazik pomzanın gözeneklilik oranı asidik pomzaya kıyasla daha az, yoğunluğu ise daha fazladır (Kocaman, 2009).



Şekil 1.11. Bazik pomza (Kızıлтаş, 2021)

1.5.4. Pomzanın Fiziksel Özellikleri

Endüstriyel olarak bir malzemede istenilen en belirgin fiziksel özellikler; özgül ağırlık, su emme özelliği ve kuru birim hacim ağırlık şeklinde sıralanmaktadır (Davraz vd., 2005). Bunun yanı sıra porozite, donma çözülme dayanımı, kılcal su emme oranı, yangın dayanımı, ısı iletim katsayısı, akustik ve ses yutuculuk gibi özelliklerde malzemelerde aranan fiziksel nitelikler arasında yer almaktadır. Tablo 1.3’de pomzanın fiziksel özellikleri sunulmuştur (Davraz vd., 2005).

Tablo 1.3. Pomzanın fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Renk	Kirli beyazdan açık griye
Kristal şekli	Amorf
Kristal suyu	---
Sertlik (Mohs)	5,5-6
Kuru birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	0,32-0,97
Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	1,9-2,65
Porozite (%)	45-70
Rötre (mm/m)	2
Isı İletkenlik Kat Sayısı (kcal/mh ^o C)	0,12-0,20
Isınma Isısı (cal/g ^o C)	0,24-0,28
Ses Yalıtımı (dB)	40-55
Su Emme (Ağırlıkça %)	30-70
Buhar Difüzyon Katsayısı (μ)	5-10

1.5.5. Pomzanın kimyasal özellikleri

Pomzanın kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde en önemli içerik SiO₂’dir. Pomzanın kimyasal özellikleri ve bileşenleri Tablo 1.4’de verilmiştir. Tabloya göre pomza, kimyasal olarak %75’e kadar silika içermektedir. Bunun yanı sıra Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, Na₂O ve eser miktarda TiO₂ ve SO₃’ten oluşmaktadır.

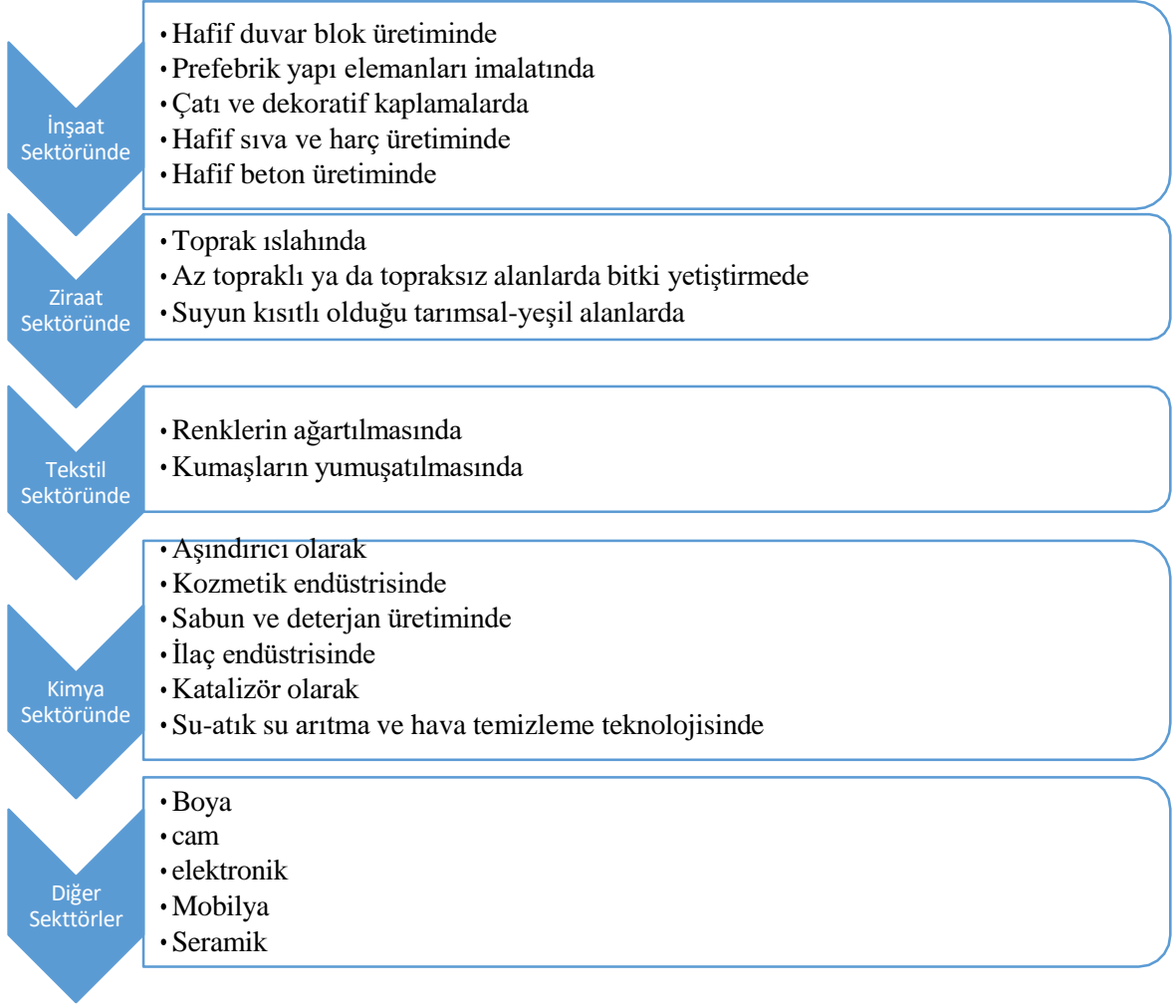
SiO₂ oranı pomzanın asidik ya da bazik özellikte olduğunu belirlemektedir. Pomzanın SiO₂ oranının yüksek olması pomzaya asidik özelliğin yanı sıra abrazif özellikte sağlamaktadır. Abrazif özellik çeliği kolay bir şekilde aşındırabilecek kabiliyete sahip olması anlamına gelmektedir. Pomza bünyesinde yer alan Al₂O₃, yangın dayanımı sağlamaktadır. İnşaat ve yapı alanında hafif agrega olarak kullanılacak pomzanın asidik özellikte, Al₂O₃ oranı yüksek ve Fe₂O₃ oranının ise yüksek olması istenmektedir (Ulusoy vd., 2004).

Tablo 1.4. Pomzanın kimyasal özellikleri ve bileşenleri

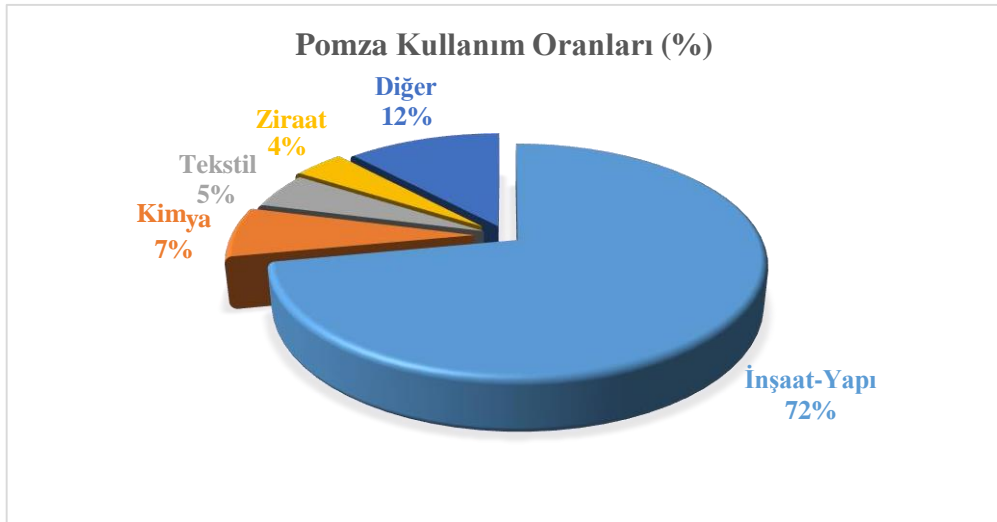
Kimyasal Özellik	
pH	7-7,3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça%)	≤0,15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça%)	≤2,9
Uçucu Madde (Ağırlıkça%)	Yok
Asitlerle Etkileşim (*)	İnert
Alevlenme Derecesi (°C)	45-70
Ergime Derecesi (°C)	≥70
Kimyasal Bileşenler (%)	
SiO ₂	52-75
Al ₂ O ₃	11-17
Fe ₂ O ₃	0,5-5
CaO	1-8
MgO	0,5-3
Na ₂ O+K ₂ O	3-9
TiO ₂	≤1
SO ₃	≤1
Kızdırma Kaybı	1-3

1.5.6. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza, dünya çapında oldukça fazla bir kullanım alanına sahiptir. Endüstride hammadde ya da katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (PAUM, 2015). Pomzanın hem modern endüstride hem de tarihsel geçmişte inşaat, tekstil, tarım, kimya ve kozmetik gibi çeşitli uygulamaları bulunmaktadır (Varol, 2016; Tanyıldızı, 2022). Şekil 1.12’de pomzanın kullanım alanları, Şekil 1.13’de ise pomzanın dünya çapında kullanım oranı sunulmuştur. Şekil 1.12’ye göre pomza inşaat, ziraat, tekstil, kimya ve diğer sektörler olmak üzere 5 farklı sektörde kullanılmaktadır. Şekil 1.13’de ise pomzanın en fazla inşaat-yapı sektöründe kullanıldığı görülmektedir.



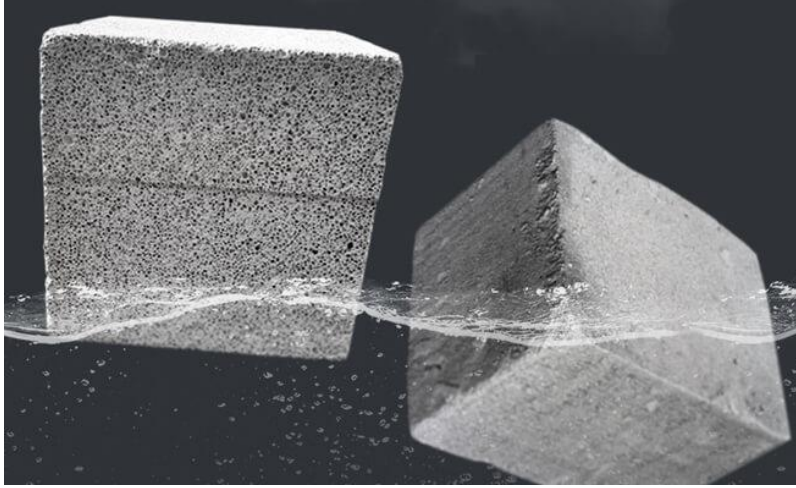
Şekil 1.12. Pomzanın kullanım alanları (Kızıлтаş, 2021)



Şekil 1.13. Pomzanın kullanım oranları (İlter, 2010)

1.6. Hafif Beton

Son zamanlarda popülaritesini arttıran hafif beton (Şekil 1.14), varlığı çok eskilere dayanan özel beton çeşididir. Sümer uygarlığı, eski Roma ve Yunan uygarlıkları gibi eski uygarlıkların pek çok anıtı hafif betonla inşa edilmiş ve günümüze kadar uzun süre dayanmıştır (Nadh ve Muthumani, 2017). Ayasofya Camii, Maya Piramitleri, Amfi tiyatrolar ve su kemerleri vb. hafif agregaların kullanımı ile inşa edilen bu yapılar günümüze ulaşan eserlere örnek olarak verilebilmektedir (Salman, 2019; Yolcu ve Girgin, 2017). Ülkemizde ise Van Gölü ve çevresinde yapılan arkeolojik araştırmalar sonucu bulunan parçalarda, Urartu dönemine ait konutlar ve gıda muhafazası için yapılan depolarda pomza agregasının kullanıldığı tespit edilmiştir (Güneş, 2019). Hafif betonun kullanılması çevrenin korunmasına ve ülke ekonomisinin desteklenmesine katkıda bulunmaktadır (Al-Handha, 2022).



Şekil 1.14. Hafif beton (Web iletı, 1)

Hafif beton üretimi yapılabilmesi için öncelikle birim ağırlığının azaltılması gerekmektedir. Birim ağırlığın azaltılabilmesi için aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır.

- ✚ Normal ağırlıklı agrega yerine düşük özgül ağırlığa sahip doğal veya yapay hafif agregalar kullanmak,
- ✚ Beton veya harç kütlesi içinde fiziksel veya kimyasal katkıları ilave ederek kabarcık boşlukları oluşturmak (Ayodele, 2016)
- ✚ Beton içerisindeki normal ağırlıktaki iri agreganın sadece karışım için kullanılması amacıyla karışımdan ince agregayı çıkarmak (Sayın, 2022).

Yaygın olarak birim ağırlığı düşük agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlar, dayanım ve birim ağırlıkları göz önüne alınarak kendi arasında üç sınıfa ayrılmaktadır.

Doğal ve yapay agregalardan elde edilebilen bu betonlar;

- **Taşıyıcı hafif betonlar;** 28 günlük silindir basınç dayanımı 17 MPa'ya eşit veya daha fazla olan ve yoğunluğu 1.500- 2.000 kg/m³ arasında değişen betonlardır. Yapısal taşıyıcı elemanların üretiminde kullanılmaktadır (Oğuz, 2019; Öztürk, 2018)
- **Orta dayanımlı betonlar;** basınç dayanımları 7-14 MPa olan ve yoğunluğu 500-800 kg/m³ arasında değişen betonlardır. Blok duvar inşasında kullanılmaktadır (Ayodele, 2016)
- **Yalıtım betonları;** basınç dayanımları, 0,7-7 MPa arasında olan, yoğunluğu 250-750 kg/m³ arasında değişen betonlardır. Sadece yalıtım amacıyla kullanılmaktadırlar (Sarı ve Paşamehmetoğlu, 2005).

Bu betonların üretiminde, birim ağırlığı düşük gözeneklilik oranı yüksek olan, perlit, pomza, volkanik tuf, genişletilmiş perlit ve vermikülit gibi doğal ve yapay agregalar kullanılmaktadır (Şimşek, 2009).

1.6.1. Hafif Betonun Avantajları ve Dezavantajları

Farklı uygulamalarda aktif bir şekilde kullanılan hafif betonlar her yıl kullanım miktarı ve alanını arttırmaktadır. Birçok avantajı bulunan hafif beton, bu avantajları nedeniyle tercih sebebi olmaktadır. Hafif beton, farklı yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve tüketimi her yıl küresel bazda artmaktadır. Bunun nedeni hafif beton kullanımının birçok avantajının olmasıdır (Altabeeb, 2021).

Hafif betonun avantajları sıralanacak olursa;

- Birim hacim ağırlığı düşüktür. Yapısal taşıyıcı hafif beton üretimi için oldukça önemli olan bu durumda minimum dayanım sınırları altına düşmeden maksimum hafiflikte beton üretimi yapılmaktadır. Bu şekilde üretilen beton binanın ölü ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. Bilhassa uzun açıklıklı köprü yapıları için ölü yükün azalması oldukça avantajlı bir durumdur. Hafiflik üretilen yapı malzemelerinin, prefabrik elemanların taşınması ya da uygulamasında tasarruf sağlamaktadır (Thienel vd., 2020; Yolcu ve Girgin, 2017).

- Üstün fiziksel özellik sağlamaktadır. Düşük termal genleşme katsayısına sahip olmaları termal hareketlerini azaltmakta, bu durum uzun boyutlu köprü yapılarında yapılması gereken ek yer bağlantılarının sayısını düşürmektedir.
- Ucuz nakliye, taşıma ve yerinde döküm prosesleri ile oldukça hafif ve daha küçük prekast elemanların üretiminde rahatlıkla kullanılabilir.
- Maliyetleri düşürmektedir. Taşıyıcı elemanların kesitleri küçüleceğinden donatı miktarı azalacak ve temel maliyetlerinden tasarruf sağlanacaktır.
- Yıkım ve enkaz kaldırma işlemleri normal betona göre çok daha kolaydır.
- Ölü yüklerin düşük olması nedeniyle, deprem hasar riskinde azalma meydana gelecektir.
- Isı yalıtım özelliği ve yangın dayanımı normal betona göre daha yüksektir (Karaca, 2020).

Hafif betonun dezavantajları sıralanacak olursa;

- Boşluklu yapıda olmaları nedeniyle basınç dayanımı ve aşınma direnci düşüktür.
- Düşük elastisite modülüne sahip olması, şekil değiştirmelerin artmasına neden olmaktadır.
- Kalifiye işçilik gerektirmektedir. Bu durum maliyeti arttırmaktadır.
- Yüksek dayanımlı çimento hamuru kullanılması sebebiyle daha kırılğan bir yapıya sahiptir.
- Kullanılan agrega çeşidine göre daha fazla çimento gerektirmektedir (Altabeeb, 2021).

1.6.2. Hafif Beton Uygulamaları

Hafif betonun dünyadaki kullanım alanları, yeni köprü inşa etme, eski köprüleri onarma veya genişletme, yeni binaların inşasında kullanılacak beton ve donatı oranının azaltılması, mevcut binalara ilave kat eklenmesi gibi çok çeşitlidir. Ayrıca hafif betonlar, taşıma gücü düşük zeminler üzerine inşa edilecek yapılarda da kullanılmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında hafif beton kullanım alanları üç kategoriye ayrılabilir (Yang ve Zhang, 2012):

- Betonarme çerçeve, binaların kolon, kiriş, taşıyıcı perde duvarları, döşemeleri ve temelleri gibi yapısal elemanların imalatında,
- Prefabrik panel elemanların yapımında,
- Büyük açıklıkların öngerilmeli ve artgerilmeli hafif beton yapı elemanlarıyla geçilmesinde

Aşağıda dünyanın farklı yerlerinde uygulama örnekleri bulunan hafif beton uygulamaları verilmiştir.

- ✚ 1982 yılında ABD Kaliforniya'da inşa edilen 195 m açıklıklı ve 108 m yüksekliğindeki Parrots Ferry Bridge'de hafif beton kullanılarak inşaat maliyetleri %10 azaltılmıştır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Parrots Ferry Bridge, ABD

- ✚ 1988 Calgary Dünya Kış Olimpiyatları'nda buz hokeyi ve artistik patinajlara ev sahipliği yapmak üzere inşa edilen Saddledome Stadyumu'nun taşıyıcı sisteminin tamamı hafif beton prefabrik yapı elemanlarıyla üretilmiştir (Şekil 1.16).



Şekil 1.16. Saddledome Stadium

- ✚ ABD'de deprem riski yüksek olan California Eyaleti'nin San Francisco Körfez Bölgesi'nde 2007 yılında tamamlanan Yeni Benicia-Martinez Köprüsü'nün inşaatı, yüksek dayanımlı hafif beton ve ardgermeli kiriş elemanlarıyla üretildi (Şekil 1.17). Bunun nedeni ise elde edilen kütle azaltımı ile daha geniş açıklıkların geçilebilmesi ve ayrıca depreme dayanıklı davranış elde edilebilmesidir.



Şekil 1.17. New Benicia-Martinez Bridge, ABD

- ABD'de elik yapıların beton dşemelerinden kaynaklanan ağırlık artışlarını azaltmak amacıyla hafif beton tercih edilmektedir. Bu doğrultuda örnek bir bina, Şekil 1.18'de gösterilen Colorado'nun Denver şehrinde inşa edilen Wellington Webb Belediye Binası'dır (Topal, 2023).



Şekil 1.18. Wellington Webb City Hall, ABD

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

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

Kumar ve Radhikesh (2011), makalelerinde, mermer tozlarının, optimum oranda Pirinç Kabuğu külü (RHA) ile stabilize edilmiş geniş bir toprağın mukavemeti ve dayanıklılığı üzerindeki etkisini araştırmak için yürütülen bir laboratuvar çalışmasının sonuçlarını sunmuşlardır. RHA ile stabilize edilmiş geniş toprağa, toprağın kuru ağırlığına göre %5'lik artışlarla %30'a kadar mermer tozu eklemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda;

- ✓ Sınırsız Basınç Dayanımı (UCS) testlerine göre optimum RHA yüzdesinin
- ✓ %10 olduğu,
- ✓ RHA ile stabilize edilmiş geniş toprağın UCS ve Islatılmış CBR'si, Mermer tozu ilavesini %20'ye kadar arttırdığını,
- ✓ Mermer tozunun daha fazla eklenmesi, bu özellikler üzerinde olumsuz etki yarattığını,
- ✓ RHA stabilizasyonlu geniş zemine Mermer tozu ilave edilme yüzdesine bakılmaksızın, genişleyen toprağın Maksimum Kuru Yoğunluğu (MDD) ve Şişme basıncı azalttığını ve Optimum Nem İçeriğini (OMC) arttırdığını,
- ✓ Mermer tozu ilavesinin RHA ile stabilize edilmiş geniş toprağı dayanıklı hale getirdiğini,
- ✓ En iyi stabilizasyon etkisi için optimum Toprak: Pirinç kabuğu külü: Mermer tozu oranının 70: 10: 20 olduğunu tespit etmişlerdir.

Idrees ve Jamil (2018), çalışmalarında, sırasıyla kısmi çimento ve kum ikame malzemeleri olarak %10 ve %15 oranında atık pirinç kabuğu külü (RHA) ve %10 ve %20 oranında mermer tozu (MP) kullanarak ürettikleri betonun mekanik davranışını incelemişlerdir. Pirinç kabuklarının 750°C'de 6 saat yakılması sonucu pirinç kabuğu külü üretmişlerdir. Ürettikleri beton numunelerinin 7, 28 ve 56 günlük basınç, ayrık

silindir çekme ve eğilme dayanımları normal betonla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak; Elenmiş (ancak öğütülmemiş) RHA, betonun mukavemetinde hafif bir azalmaya neden olurken, MP nin mukavemeti artırdığını tespit etmişlerdir. MP ve RHA kombinasyonunun mukavemeti artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, RHA ve MP'nin betonda kullanılması ile, bu atık malzemeleri etkili bir şekilde faydalı ürünlere dönüştürülerek bertaraf edilebileceğini ve doğal kaynak tükenmesi sorunlarını çözerek çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir betonlar üretilebileceğini ortaya koymuşlardır.

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 bırakmıştır. Deney sonucunda, hafif beton blokların yüzey sıcaklıklarının normal betonlara göre %50 daha az olduğunu bildirmiştir. Yangın etkisine maruz kalan normal ve hafif beton bloklara basınç dayanımı testine tabi tutulmuş hafif beton bloklarda %6 oranında, normal beton bloklarda ise %18 oranında düşüş meydana geldiğini tespit etmiştir.

Varadharajan ve ark., (2020), deneysel çalışmalarında, çimento yerine %0 ila %20 arasında değişen oranlarda pirinç kabuğu külü (RHA), betonda ince agregası yerine %0 ile %30 arasında değişen oranlarda mermer atık tozunun (MWP) ikame ederek beton üretimi yapmışlardır. Ayrıca beton içerisine mekanik ve geçirgenlik özelliklerini arttırmak için çimento ağırlığının %1,5 oranında kancalı çelik lifler kullanmışlardır. Sonuç olarak;

- ✓ Optimum kombinasyonun, %15 RHA, %30 MWP ve %1,5 kancalı çelik fiberler ile elde edildiğini,
- ✓ Optimum kombinasyon için basınç, çekme ve bükülme mukavemetinde maksimum %44,4, %60 ve %46,13 artış sağlandığını,
- ✓ RHA, MWP ve çelik fiberlerin eklenmesiyle gözeneklilik ve su emiliminin azaldığını,
- ✓ RHA, MWP ve çelik fiberlerin dahil edilmesiyle makul bir maliyet artışı olduğunu,

- ✓ Çevre üzerindeki olumlu etkinin yanı sıra mekanik ve geçirgenlik özelliklerinde mükemmel bir iyileşme olduğunu,
- ✓ Çevresel etki değerlendirmesine göre, RHA ve MWP kullanımının çevre kirliliğini en aza indirmede, sürdürülebilir ve temiz bir çevre oluşturmada değerli bir katkı ve olumlu etki sağladığını tespit etmişlerdir.

Münir ve ark., (2021), yapmış oldukları çalışmada, cam çamuru (GS), mermer çamuru (MS) ve pirinç kabuğunun (RH) tuğla numunelerinin fiziksel, mekanik, dayanıklılık ve termal özellikleri üzerindeki sinerjik ve bireysel etkisini araştırmak amacıyla yanmış kil tuğlaları üretmişlerdir. Çalışmada sonuç olarak, atık malzemelerin (GS, MS ve RH) eklenmesinin tuğla numunelerinin büzülmesini, birim hacim ağırlığını ve ısı iletkenliğini azalttığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra farklı atık malzemeler içeren tüm tuğla örnekleri %10'un çok altında çiçeklenme gösterdiğini, hiçbir tuğla örneğinde 50 donma-çözülme döngüsünden sonra bile herhangi bir çatlama olmadığını bildirmişlerdir. %25 GS içeren tuğla numunelerinin kütle kaybı, ASTM C67'nin belirtilen sınırından daha düşük olduğunu ve donma-çözülme dayanıklı tuğla numuneleri olarak sınıflandırıldığını ifade etmişlerdir. Numunelere uyguladıkları taramalı elektron mikroskobu görüntüleri çalışmada gözlemlenen tuğla örneklerinin gözeneklilik ve su emme sonuçlarını desteklediğini bildirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, çalışma kapsamında ürettikleri tuğla örnekleri için dikkate alınan tüm atık malzeme kombinasyonları, atık depolama alanlarının azaltılmasına ve çevre dostu tuğlaların üretilmesine yol açacak şekilde yığma inşaatlarda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

Jalal ve ark., (2021), çalışmalarında, mermer tozu (MD) ve pirinç kabuğu külü (RHA) ile işlenmiş geniş zeminlerin mukavemet ve konsolidasyon özelliklerini; kıvam limitleri, sıkıştırma, tek eksenli basınç mukavemeti (UCS) ve konsolidasyon testleri de dahil olmak üzere çok sayıda laboratuvar testi aracılığıyla değerlendirmişlerdir. X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizlerini kullanarak kürlemenin 3, 7, 14, 28, 56 ve 112 gün sonrasında UCS üzerindeki etkisini mikroyapısal değişiklikler açısından incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, MD ve RHA ilavesinin su tutma kapasitesini düşürdüğü, dolayısıyla toprak plastisitesinde (MD için %21 ve RHA için %14,5) ve optimum su içeriğinde (MD ve %2 oranında) bir azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Ödometre test sonuçlarına göre, mv nin başlangıçta %6

dozaja kadar arttığı ve daha sonra ön konsolidasyon basıncının artmasıyla birlikte düştüğünü bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra, ön konsolidasyon basıncının ve MD/RHA ilavesinin artmasıyla birlikte sıkıştırma indeksi düşerken, RHA ile stabilize edilmiş toprağın geçirgenlik katsayısı (k), hemen hemen tüm dozaj seviyeleri için MD ile işlenmiş numunelerinkinden daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Lifli çimentolu bileşiklerinin (CS-H; C-A-H) oluşumu, 7 gün sonra optimum katkı dozajında ve daha yüksek kür periyotlarında arttığını, bu nedenle, daha yüksek etkinlik için genişleyen toprağın yerine %10 RHA ve %12 MD kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Çalışmanın, hem geniş toprakların hem de endüstriyel ve tarımsal atık malzemelerin bertaraf edilmesinin yarattığı etkilerin azaltılmasına yardımcı olacağını düşünmüşlerdir.

Uysal ve ark., (2022) yapmış oldukları çalışmada endüstriyel atık malzemelerden olan atık mermer tozu (MP), atık tuğla tozu (BP), seramik atık tozu (CW), atık cam tozu (GP) ve pirinç kabuğu külü (RHA)nü %25 ve %50 oranlarında kullanarak geopolimer harç üremişlerdir. Kırmızı çamur-metakaolin bazlı geopolimer harçlarda geri dönüştürülmüş beton (RC) agrega yerine %75 oranında kullanılmıştır. Üretilen numunelere mekanik (ultrasonik darbe hızı (UPV), yarmada çekme, basınç ve eğilme dayanımları), fiziksel (boşluk oranı, su emme, birim ağırlık ve işlenebilirlik özellikleri), aşınma testi ve mikro yapı analizleri (SEM-EDS ve XRD) testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, en yüksek basınç dayanımı sonuçları kontrol numunesine göre %74,01 artışla %25 tuğla tozu ikamesinde görülmüştür. Ayrıca seramik atıklarının kullanımının artması durumunda basınç dayanımı sonuçları da artmıştır. Aşınma testi sonucuna göre en yüksek performans, %75 mermer tozu ikamesinde, kütle kaybında %49,2 oranında azalma olarak görülmüştür.

Khan ve ark., (2023), yapmış oldukları araştırmada, pirinç kabuğu külü ve uçucu kül harmanlanarak mukavemetinin değerlendirilmesi için mermer bazlı yeni bir bağlayıcı malzeme geliştirmeyi amaçlamışlardır. Yeni geliştirdikleri mermer esaslı çimentoyu, atık mermer tozu ve kili yakarak hazırlamışlardır. Mermer çimentosunun uygun değerini bulmak için farklı miktarlarda uçucu külü (kütlice %20, 30 ve 40 mermer çimentosu) ve pirinç kabuğu külü (kütlice %20, 30 ve 40 mermer çimentosu) ile ayrı ayrı harmanlayarak harç numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri harç numunelerini, basınç ve bükülme mukavemeti dahil olmak üzere çeşitli yük testlerine ve ayrıca X-ışını kırınımı, termo- gravimetrik ve taramalı elektron mikroskobu analizleri

dahil olmak üzere çeşitli morfoloji ve mikroyapısal testlere tabi tutmuşlardır. Çalışma sonucunda, harmanlanmış mermer çimento harçlarının iyileştirilmiş mukavemet sergilediğini, ancak harmanlanmış harçların erken mukavemeti, daha yüksek dikalsiyum silikat içeriği ve yavaş puzolanik aktivite nedeniyle Portland çimento harcından daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. %30 pirinç kabuğu külüyle harmanlanan mermer çimentosunun, sıradan Portland çimento harcından marjinal olarak daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Ayrıca, mermer atıklarının, pirinç kabuğu külünün ve uçucu külün yapı malzemeleri üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılmasıyla, bunların imhasıyla ilgili çevresel sorunları azaltarak sürdürülebilir büyümeyi teşvik edeceğini vurgulamışlardır.

Chauhan ve Sharma (2023), yapmış oldukları çalışmada, inşaatlardaki kil tuğlaların oklavlanmamış Gazbeton (NAAC) bloklarla değiştirilmesini amaçlamışlardır. Çalışmalarında, NAAC üretiminde çimentonun kısmi ikamesi olarak pirinç kabuğu külü ve mermer tozunun kullanımına ilişkin deneysel bir yaklaşımı benimsemişlerdir. Ürettikleri numunelerin su emme, yoğunluk, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı gibi özelliklerini kontrol etmişlerdir. 70,6 mm × 70,6 mm × 70,6 mm boyutlarındaki NAAC bloklarını tasarlamak için kullanılan alüminyum tozunun yüzdesi, malzemenin toplam kuru ağırlığının 0,02 katı şeklinde reçetelemişlerdir. Kalıbın 2/3'ünü malzeme ile doldurmuşlardır. Çalışma sonucunda, NAAC'ın optimum basınç dayanımı değerinin, çimentonun %5 RHA ve %5 mermer tozuyla (yani 5,22 N/mm²) kombine değiştirilmesiyle elde edilebileceğini, NAAC bloklarının daha az su emmesi ve daha az yoğunluk nedeniyle C sınıfı kil tuğlalardan daha iyi performans gösterebildiğini tespit etmişlerdir. Numune için elde edilen basınç dayanımı C sınıfı tuğlaların aralığı (5 N/mm² ile 7,5 N/mm²) içerisinde yer aldığını bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra NAAC bloğunun kullanımının, daha az yoğunluğu nedeniyle genel inşaat maliyetini azaltabileceği, yapı üzerindeki genel ölü yükü azaltacağı ve bu da daha az malzeme gereksinimine yol açacağını ifade etmişlerdir.

Iqbal ve ark., (2023), yapmış oldukları deneysel çalışmada, çimentonun bir kısmına mermer tozu (MP), kumun bir kısmına ise Pirinç Kabuğu Külü (RHA) ikame ederek kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapmayı amaçlamışlardır.

Çalışmada çimento yerine %0, 10, 20 ve 30 MP, kumun yerine ise ağırlıkça %20 oranında RHA kullanmışlardır.

Hiçbir katkı maddesi içermeyen kontrol karışımı da dahil olmak üzere beş çeşit karışım hazırlamışlardır. Hazırladıkları betonun taze (işlenebilirlik, yoğunluk ve hava içeriği) ve mekanik özelliklerini (basınç, yarmada çekme ve eğilme mukavemeti) belirlemişlerdir. Çalışmada sonucunda;

- ✓ MP ve RHA içeriğinin artmasıyla işlenebilirlik özelliği ve beton yoğunluğunun arttığını,
- ✓ Basınç, yarma gerilmesi ve bükülme mukavemeti, sırasıyla çimento ve kum yerine %20 MP ve %20 RHA içeren bir karışım oranında önemli ölçüde iyileştiğini,
- ✓ RHA ile değiştirilen kum %20 olduğunda ve çimento ikamesi MP'nin %30'una kadar arttığında sertleşmiş beton özelliklerinde herhangi bir ek iyileşme tespit edilmediğini,
- ✓ Betonun bir kısmının endüstriyel atıklarla değiştirilerek çevre dostu betonun elde edilmesi ve geliştirilmiş mekanik özellikleri ile ekolojik kirliliği de önemli ölçüde azaltabileceğinin bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

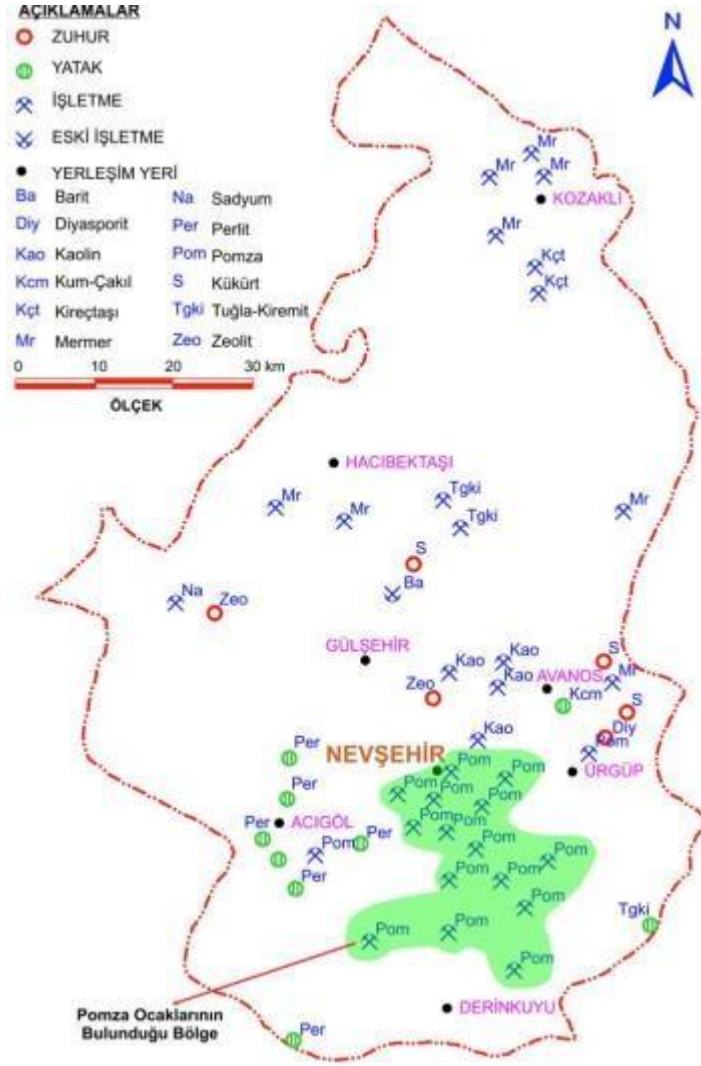
3.1.1. Pomza

Çalışma kapsamında materyal olarak belirlenen pomza (Şekil 3.1), Nevşehir/Çardak bölgesinde bulunan Miner Madencilik A.Ş.'a ait ocaklardan temin edilerek hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Nevşehir yöresi asidik pomza

Çardak Bölgesinde iyi kalitede 82.612.500 m³ görünür rezerv bulunmaktadır (MTA, 2023). Nevşehir ilinde bulunan madenler ve pomza yatakları Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekilde pomza yatakları yeşil renkle gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Nevşehir ili maden ocakları ve pomza yatakları dağılım haritası(Dinçer vd.,2015)

Temin edilen asidik pomzanın fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Pomzanın fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellik	
Renk	Açık gri
Kristal Şekli	Amorf
Sertlik (Mohs)	5,8
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	0,47
Porozite (%)	2,38
Isınma Isısı (Cal/gr.°C)	0,27
Su Emme (Ağırlıkça %)	37
Kimyasal Özellik	
SiO ₂	75.35
Al ₂ O ₃	12.43
Fe ₂ O ₃	1.30
CaO	1.15
MgO	0.46
K ₂ O	3.95
Na ₂ O	3.72
SO ₃	-
Kızdırma Kaybı	1.64

3.1.2. Pirinç Kabuğu Külü

Tez çalışmasında kullanılan pirinç kabuğu Edirne/İpsala’da bulunan Silo Gıda San.’den alınmıştır. Çimento yerine 14750 cm² /g özgül yüzeyli Pirinç Kabuğu Külü kullanılmıştır. Pirinç kabuğu külüne ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Pirinç kabuğu külünün fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellik	
Özgül Ağırlık	2.15
Özgül Yüzey (cm ² /g)	14740
Kimyasal Özellik	
SiO ₂	95.24
Al ₂ O ₃	0.82
Fe ₂ O ₃	0.18
MgO	0.33
SO ₃	0.16
Na ₂ O	0.11
CaO	0.68
K ₂ O	1.33
Ateşleme Kaybı	1.45

3.1.3. Çimento

Deneyisel çalışmada kullanılacak olan çimento, TS EN 197-1 “Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri” standardına göre üretilmiş CEM I 42.5 N tipi Portland Çimentodur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çimento

Çimento, Ankara’da faaliyet gösteren BAŞTAŞ çimento fabrikasından temin edilmiştir. Deney sonuçlarının hatalı çıkmaması için, çalışma kapsamında üretilecek numunelerde kullanılacak çimento miktarı hesaplanmış ve tek seferde alınmıştır. Rutubetsiz, kuru ve su ile temas etmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir. Çalışmada su/çimento oranı 0,55 olarak belirlenmiştir. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Analiz Sonuçları	CEM I 42,5 N
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22.4
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39.4
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51.0
SO ₃ (%)	2.6
MgO (%)	2.1
Cl (%)	0.007
Kızdırma Kaybı (%)	1.7
Çözülme Kalıntısı (%)	0.3
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3749
Priz Başlangıcı (dakika)	161
Priz Sonu (Saat)	4:20
Hacim Sabitliği (mm)	0.4
Serbest Kireç (%)	0.5
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)	---
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29.06

3.1.4. Kum

Çalışmada ince agrega olarak kullanılacak olan kum Kırşehir il sınırları içerisinde bulunan dere kumu organik ve bitkisel kalıntılardan kurtulmak amacıyla yıkanmıştır. Kumun tane çapı 0-4 mm arasındadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kum

3.1.4. Süper akışkanlaştırıcı

Çalışma kapsamında üretilen hafif beton numunelerinin işlenebilirlik özelliğinin artırılması için çimento miktarının %1 i kadar süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcının Şekil 3.5’de görüntüsü, Tablo 3.4’de ise özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.5. Süper akışkanlaştırıcı

Tablo 3.4. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri

Özellik	Değer
Görünüm	Koyu kahverengi sıvı
Yapısı	Naftalin Formaldehid Sulfonat Modifikasyonu
Sarfiyat miktarı	Çimento miktarına göre %0,8-1,5 aralığında
Yoğunluk	1,17±0,03 kg/l
pH	7-9
Klorür	Yok
Uygulama sıcaklığı	+5 °C ile +35 °C

3.1.5. Karışım suyu

Tez çalışmasında karışım suyu olarak, TS EN 1008 “Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dâhil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini” standardına uygun, Kırşehir ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Çalışmanın yöntem başlığı altında pomza ve pirinç kabuğu külü katkılı hafif beton numunelerinin üretilmesi ve üretilen numunelere uygulanacak olan deneyler başlıklar halinde sunulmuştur.

3.2.1. Pomza ve pirinç kabuğu külü katkılı numunelerin üretilmesi

Tez çalışmasında 4 farklı seri (REF, PHB10, PHB20 ve PHB30) hafif beton üretimi yapılmıştır. Çalışmada, REF; referans numuneyi, PHB10; %10 oranında pirinç kabuğu külü ikameli numuneyi, PHB20; %20 oranında pirinç kabuğu külü ikameli numuneyi, PHB30; %30 oranında pirinç kabuğu külü ikameli numuneyi ifade etmektedir.

Çalışmada, tüm numunelerde, agrega olarak %10 oranında kum ve %90 oranında da pomza kullanılmıştır. Çimento miktarının %10, %20 ve %30 u oranında pirinç kabuğu külü ikame edilmiştir. Yine çimento oranının %1 kadar süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,50 olarak sabitlenmiştir. Üretilen numunelerin karışım oranları Tablo 3.5’de sunulmuştur.

Tablo 3.5. Karışım oranları

Numune Adı	Pomza(%)	Kum(%)	Çimento (%)	Pirinç Kabuğu Külü(%)	Süper Akışkanlaştırıcı(%)	Su/Çimento
REF	100	---	100	---	%1	0,55
PHB10	90	10	90	10	%1	0,55
PHB20	90	10	80	20	%1	0,55
PHB30	90	10	70	30	%1	0,55

Hafif beton TS 2511 “Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları” standardı baz alınarak üretilmiştir. İlk olarak hafif agrega olan pomza ön işlemlere tabi tutulmuştur.

İşlemler tamamlandıktan sonra pomza karışım kabına alınmış, belirlenen su miktarı pomza agregası içine konularak ön doyumma işlemine tabi tutulmuştur. İşlemin ardından kum malzemesi ilave edilerek mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Agrega karışımına belirlenen miktarlarda çimento ve pirinç kabuğu külü ilave edilerek tekrar karıştırılmıştır. Homojen hale gelen kuru karışıma su ve süper akışkanlaştırıcı ilave edilip karıştırıldıktan sonra hafif beton hamuru hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Hafif beton hamuru

Elde edilen karışım 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarındaki küp numuneler içerisine doldurulup sıkıştırılmıştır. Numuneler prizini alması için kalıp içerisinde bir gün boyunca bekletilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Numunelerin kalıp içerisinde bekletilmesi

Gün sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler, 28 gün boyunca bekletilmek üzere ± 20 °C sıcaklıkta bulunan kür havuzlarına bırakılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Numunelerin kürlenmesi

28 günün sonunda numuneler kür havuzundan çıkarılmış, ardından fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır.

3.2.2. Numunelere uygulanan Fiziksel Deneyler

Bu çalışmada, numunelerin fiziksel kabiliyetlerinin tespiti için, kuru birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), aşınma ve donma çözülme etkisi deneyleri yapılmıştır.

Kuru Birim Hacim Ağırlık

Üretilen hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerini belirlemek için TS EN 12390-7, (2010) “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini” standardından yararlanılmıştır. Bu deney için toplam 24 adet küp numune kullanılmıştır.

Deney üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada numuneler yirmidört saat su dolu kap içerisinde bekletilmiştir. İkinci aşamada su içerisinde çıkarılan numuneler bir bez yardımıyla yüzey kuru hale getirilmiş ve etüv fırınında $\pm 105^{\circ}\text{C}$ 'de yirmidört saat kurumaya bırakılmıştır. Üçüncü ve son aşamada ise numuneler hassas terazide tartılarak elde edilen değerler aşağıdaki formülde yerine yazılarak kuru birim hacim ağırlık değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/cm}^3\text{)} = E/V$$

E; Etüv kurusu ağırlığını (kg),

V; Hacim (m^3)

Porozite

Malzemenin boşluk oranı olarak tanımlanan porozite değerini bulmak için TS EN 772-4 (2000), “Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini” standardı kullanılmıştır. Deneyde 24 adet küp numune kullanılmıştır.

Deney dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada numuneler su dolu bir kap içerisinde üç saat kaynatılmıştır. İkinci aşamada numuneler kaynayan su içerisinde alınıp su dolu bir kap içerisine konularak sudaki ağırlıkları ölçülmüştür. Üçüncü aşamada sudan çıkarılan numuneler yüzey kuru hale getirildikten sonra etüv fırınında $\pm 105^{\circ}\text{C}$ 'de yirmidört saat kurumaya bırakılmış ve kuru ağırlık ölçülerek aşağıdaki formülde yerine yazılmıştır.

$$\text{Porozite (\%)} = ((K2-K1) / (K2-K3)) \times 100$$

K3, kuru ağırlık,

K2, suya doymun havadaki ağırlığı,

K3, suya doymun sudaki ağırlığı

Kompasite

Malzemenin dolu kısmı olarak tanımlanabilen kompasite deneyinde numuneler kür havuzundan çıkarılarak ölçülmüştür. Ardından etüv fırınında ± 105 °C’de yirmidört saat kurumaya bırakılmış ve kuru ağırlıkları ölçülmüştür. Elde edilen veriler aşağıdaki formülde yerine yazılarak kompasite değeri tespit edilmiştir.

$$\text{Kompasite (\%)} = 100 - \text{Porozite}$$

Su Emme (Ağırlıkça)

Su emme deneyi için TS EN 772-4 (2000), “Kagir Birimler- Deney Metotları- Bölüm 4: Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini” standardı kullanılmıştır. Deney için 24 adet küp numune kullanılmıştır.

Deney çalışması iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada numuneler yirmidört saat su içerisinde bırakılmış ve ardından ağırlığı ölçülmüştür. İkinci aşamada yüzey kuru hale getirilen numune etüv fırınında ± 105 °C’de yirmidört saat kurumaya bırakılmıştır. Fırından alınan numunelerin ölçümü yapılarak aşağıdaki formül yardımıyla su emme değeri hesaplanmıştır.

$$\text{Su Emme (Ağırlıkça) (\%)} = (S_{sh} - S_0) / S_0$$

S_{sh} ; Numunenin havadaki ağırlığı (gr)

S_0 ; Numunenin kuru ağırlığı (gr),

Donma Çözülme etkisi

Donma çözülme deneyi için TSE CEN/TS 12390-9 (2017), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 9: Donma çözülme direnci-Yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma)” standardı kullanılmıştır. Deneyde toplam 24 adet küp numune kullanılmıştır.

Deney üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada numuneler 60 dakika süresince su dolu bir kap içinde bırakılmıştır. İkinci aşamada yüzey kuru hale getirilen numuneler $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de donma işlemine tabi tutulmuştur. Üçüncü aşamada numuneler dolaptan alınarak oda sıcaklığında 60 dakika çözülmeye bırakılmıştır. Bu döngü 20 kez tekrarlanmıştır. Deneyde Utest marka donma çözülme kabini kullanılmıştır (Şekil 3.9). Döngü tamamlandıktan sonra numuneler basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen değerler yüzde (%) olarak verilmiştir.



Şekil 3.9. Donma çözülme kabini

3.2.3. Numunelere uygulanan Mekanik Deneyler

Pomza ve pirinç kabuğu katkılı hafif beton numunelerinin mekanik kabiliyetlerinin tespiti için basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Basınç Dayanımı

Bu deney TS EN 772-1, 2012 “Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini” standardına göre yapılmıştır. İlk olarak kür havuzundan çıkarılan numuneler bir bez yardımıyla yüzey kuru hale getirilmiştir. Ardından $\pm 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar tutulmuştur. Daha sonra bilgisayar kontrollü basınç presinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı değeri, kırılma yükünün yüzey alanına bölünmesi ile hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Deney Kırşehir Karayolları Bölge Müdürlüğü Yapı Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 3.10. Basınç dayanımı deney düzeneği

✚ Yarmada Çekme Dayanımı

Numunelere uygulanan yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-6, (2010), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini” standardına göre yapılmıştır.

Numuneler kür havuzundan çıkarılmış ve kuru bir bez yardımıyla yüzey kuru hale getirilmiştir. Ardından ± 105 °C’de etüv fırınında sabit ağırlığa gelinceye kadar tutulmuştur. Numuneler pres makinasından kaymayacak şekilde sabitlenmiş, pres başlığı ve yükün etki edeceği yüzeyin örtüşmesine özen gösterilmiştir. Ardından yükleme hızı 0,05 MPa olan yük numune yüzeyine aktarılmıştır. Bilgisayar ekranında kırılma zamanındaki en büyük yük (Pmax) not edilmiştir (Şimşek, 2007) (Aldaski). Deney sonunda, aşağıda verilen formül kullanılarak yarmada çekme dayanımı hesaplanmıştır.

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

f_t : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

L: Silindir yüksekliği

b: Numune kesitinin boyutu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hafif Beton Numunelerinin Fiziksel Deney Sonuçları

Bu bölümde numunelerin fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan kuru birim ağırlık, porozite, kompasite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi deneyleri başlıklar halinde sunulmuştur.

4.1.1. Kuru birim hacim ağırlık

Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.1’de bu numunelere ait kuru birim ağırlık değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak kuru birim hacim ağırlık değeri belirlenmiştir.

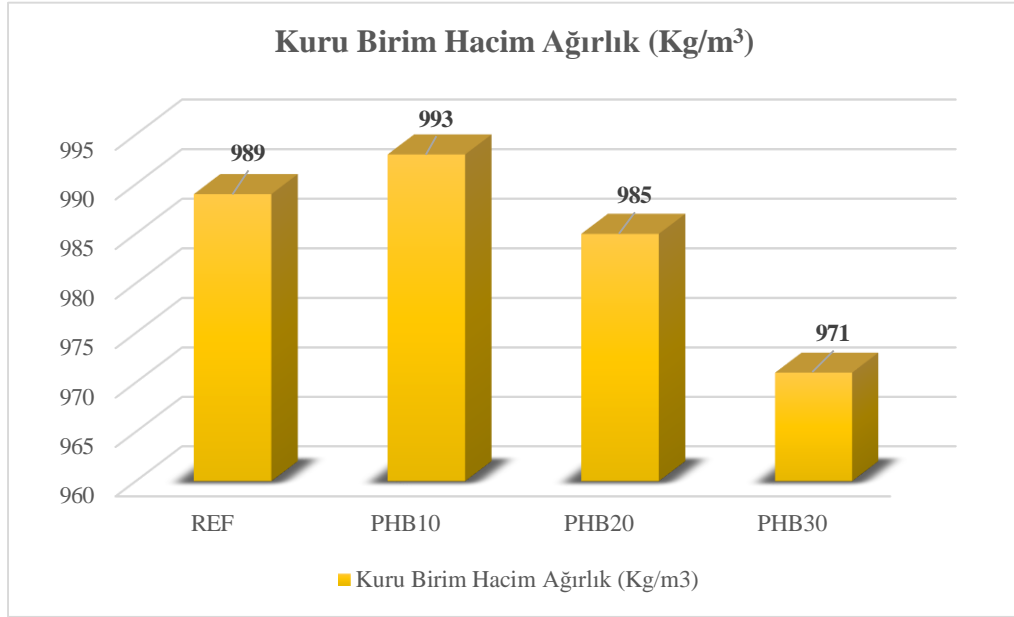
Tabloya göre en yüksek değer 998 kg/m^3 ile PHB10 serisinin 2. Numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise 968 kg/m^3 le PHB30 serisinin 2. Numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Seri ve numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerleri (kg/m^3)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	993	985	989	988	991	988	989
PHB10	987	998	996	989	993	995	993
PHB20	987	981	985	987	984	986	985
PHB30	975	968	970	971	973	969	971

Şekil 4.1’de kurum birim hacim ağırlıklarının ortalaması alınarak oluşturulan grafik verilmiştir. Grafiğe göre, en yüksek değer 993 kg/m^3 ile PHB10 numunesinden elde edilirken, 971 kg/m^3 ile en düşük değer PHB30 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Pirinç kabuğu külünün artmasıyla %10 oranında kül ikameli PHB10numunesinin kuru birim hacim ağırlığının bir miktar arttığı görülmüştür. %20 ve %30 oranlarında ikame edildiğinde ise kuru birim hacim ağırlığının azaldığı tespit edilmiştir.

Kuru birim hacim ağırlığında meydana gelen düşüşün pirinç kabuğu külünün birim ağırlığının çimentonun birim ağırlığından daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Kuru birim hacim ağırlık grafiği

Düzgün (2001), beton üretimi sırasında normal agregaya %25, %50, %75 ve %100 oranlarında pomza (hacimce) ikame etmiştir. Çalışmasının sonunda numunelerin birim ağırlığının %9-28 oranında azaldığını gözlemlemiştir. *Ceylan (2005)*, Nevşehir yöresinden almış olduğu pomzayı kullanarak hafif beton numunesi üretmiştir. Kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 659 ile 978 kg/m³ arasında değiştiğini ifade etmiştir. *Kale vd. (2020)*, pomza agregası kullanarak hafif beton üretimi yapmıştır. Çalışma sonucunda kuru birim hacim ağırlığında azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Literatürde yer alan tüm bu çalışmalar tez çalışmasını desteklemektedir.

4.1.2. Porozite

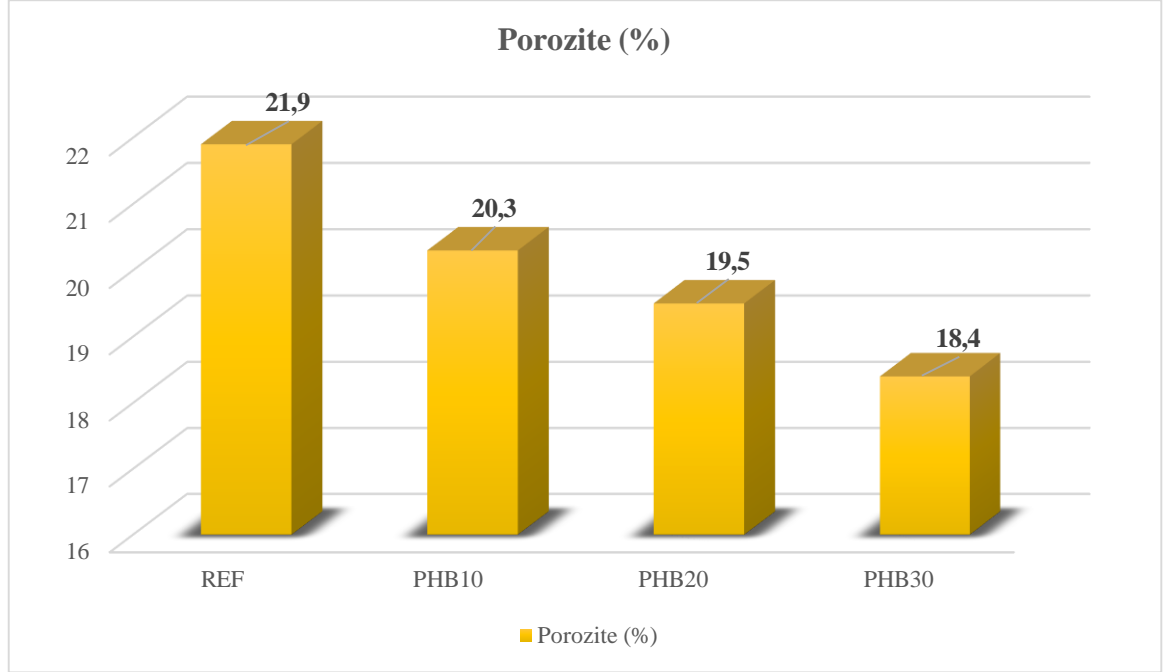
Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Porozite değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.2’de bu numunelere ait porozite değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak porozite değeri belirlenmiştir.

Tabloya göre en yüksek değer %22,3 le REF serisinin 5. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise %18,2 le PHB30 serisinin 4. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Seri ve numunelerin porozite değerleri (%)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	21,7	21,9	21,9	22,1	22,3	21,5	21,9
PHB10	20,3	20,3	20,4	20,4	20,1	20,3	20,3
PHB20	19,2	19,0	19,9	19,7	19,7	19,5	19,5
PHB30	18,4	18,4	18,5	18,2	18,3	18,6	18,4

Şekil 4.2’de porozite oranlarının ortalaması alınarak oluşturulan grafik verilmiştir. Grafiğe göre, %21,9 ile en yüksek porozite değeri REF numunesinden elde edilirken, en düşük porozite değerinin %18,4 ile PHB30 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Bir başka deyişle pirinç kabuğu külü miktarının artmasıyla porozite oranında azalma meydana gelmiştir. Bu azalmanın nedeninin çok ince bir yapıya sahip olan pirinç kabuğu külünün hafif beton numunelerinin gözeneklerini doldurması olarak düşünülmektedir.



Şekil 4.2. Porozite grafiği

Kale vd., (2020) ve *Tezel vd., (2020)* pomza agregalı hafif beton numunelerinin porozite değerlerinde azalma olduğunu bildirmişlerdir. *Divya Chopra (2015)*, %15 oranında pirinç kabuğu külü ikamesinin hafif betonun porozite değerinin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir.

4.1.3. Kompasite

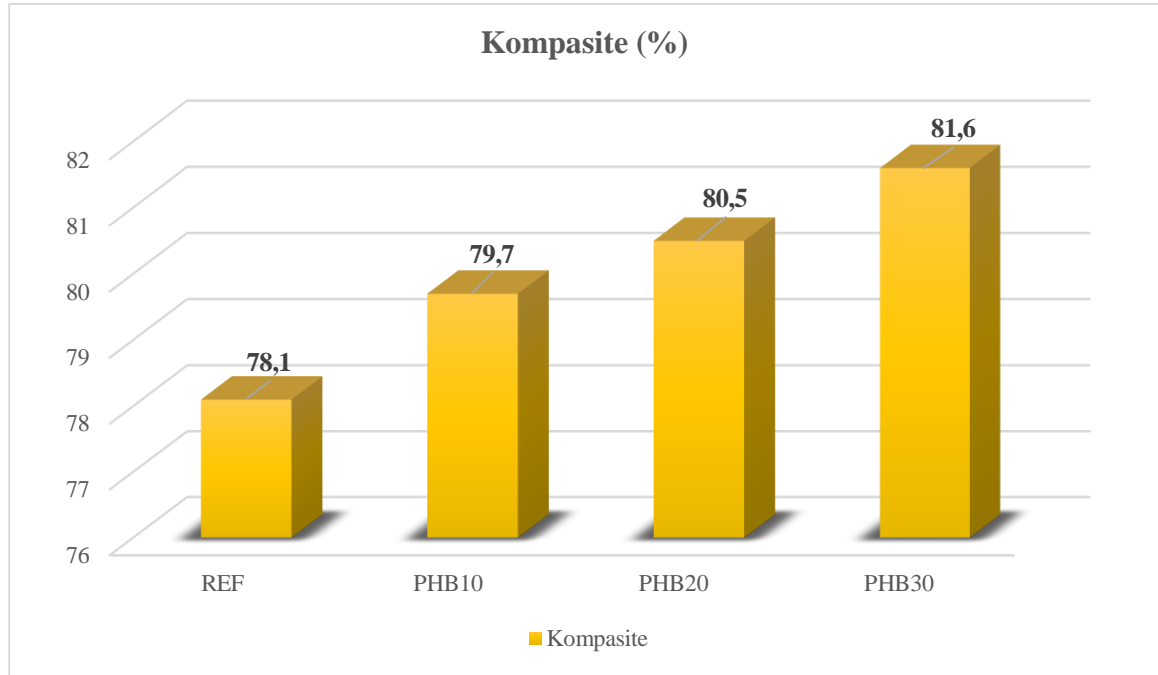
Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Kompasite değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.3’de bu numunelere ait kompasite değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak kompasite değeri belirlenmiştir.

Tabloya göre en yüksek değer %81,7 ile PBH30 serisinin 2. ve 5. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise %77,8 ile REF serisinin 3. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.3. Seri ve numunelerin kompasite değerleri (%)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	78,5	78,1	77,8	78,0	78,1	78,1	78,1
PHB10	79,5	79,4	79,7	80,1	79,7	79,8	79,7
PHB20	80,4	80,4	80,3	80,5	81,0	80,5	80,5
PHB30	81,6	81,7	81,5	81,5	81,7	81,6	81,6

Malzemenin dolu bölümünün hacminin bütün hacime oranı olarak tanımlanan (Kale, 2020) kompasitenin değerleri Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekle göre; en düşük kompasite değeri %78,1 ile REF numunesinden elde edilirken, en yüksek değer %81,6 ile PHB30 numunesinden elde edilmiştir. Bir başka deyişle pirinç kabuğu külü ikame miktarının artmasıyla kompasite değerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeni pirinç kabuğu külünün malzeme bünyesindeki boşlukları doldurarak dolu bir malzeme olmasını sağlamasıdır.



Şekil 4.3. Kompasite grafiği

4.1.4. Su Emme (Ağırlıkça)

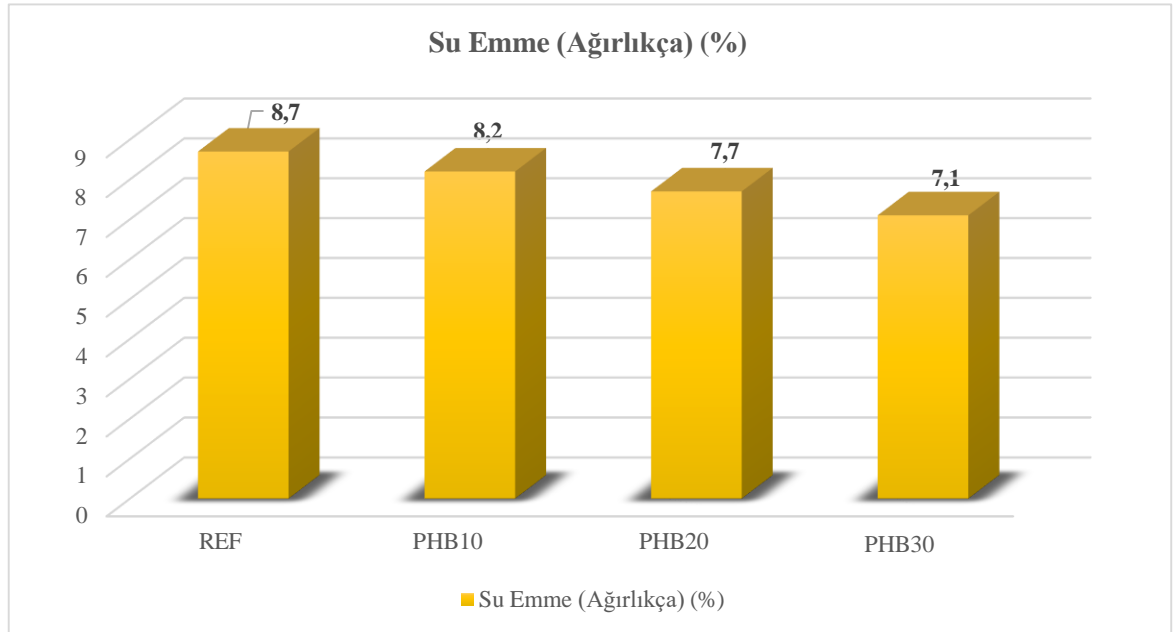
Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Kompozite değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.4’de bu numunelere ait su emme değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak kompozite değeri belirlenmiştir.

Tabloya göre en yüksek değer %8,9 ile REF serisinin 2. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise %7,0 ile REF serisinin 2. ve 6. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.4. Seri ve numunelerin su emme (ağırlıkça) değerleri (%)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	8,7	8,9	8,5	8,7	8,6	8,8	8,7
PHB10	8,2	8,2	7,9	8,0	8,4	8,5	8,2
PHB20	7,5	7,6	7,9	8,0	7,5	7,7	7,7
PHB30	7,1	7,0	7,3	7,1	7,1	7,0	7,1

Numunelerin su emme değerleri Şekil 4.4’de verilen grafikte sunulmuştur. Grafığe göre; %8,7 ile en yüksek su emme oranı REF numunesine ait iken, en düşük su emme oranı %7,1 ile PHB30 numunesine aittir. Yani pirinç kabuğu külü miktarı arttıkça su emme oranında azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni, numune bünyesindeki boşlukların pirinç kabuğu külü ile dolmasından dolayı olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.4. Su emme (ağırlıkça) grafığı

Literatürde yeralan çalışmalar incelendiğinde; **Öztürk (2012)**, Nevşehir bölgesi pomza ile ürettiği hafif beton numunelerinin su emme oranında azalma olduğunu bildirmiştir. **Rahman vd., (2018)** çalışmalarında hafif beton içerisine pirinç kabuğu külü ikamesinin su emme oranını düşürdüğünü bildirmiştir. **Coutinho**, beton örneklerine pirinç kabuğu külü eklemenin kılcal su emilimini azalttığını ifade etmiştir. **Tezel vd., (2020)** ürettikleri pomza agregalı hafif beton numunelerinin su emme oranlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda tez çalışmasıyla paralel sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

4.1.5. Donma Çözülmenin Basınca Etkisi

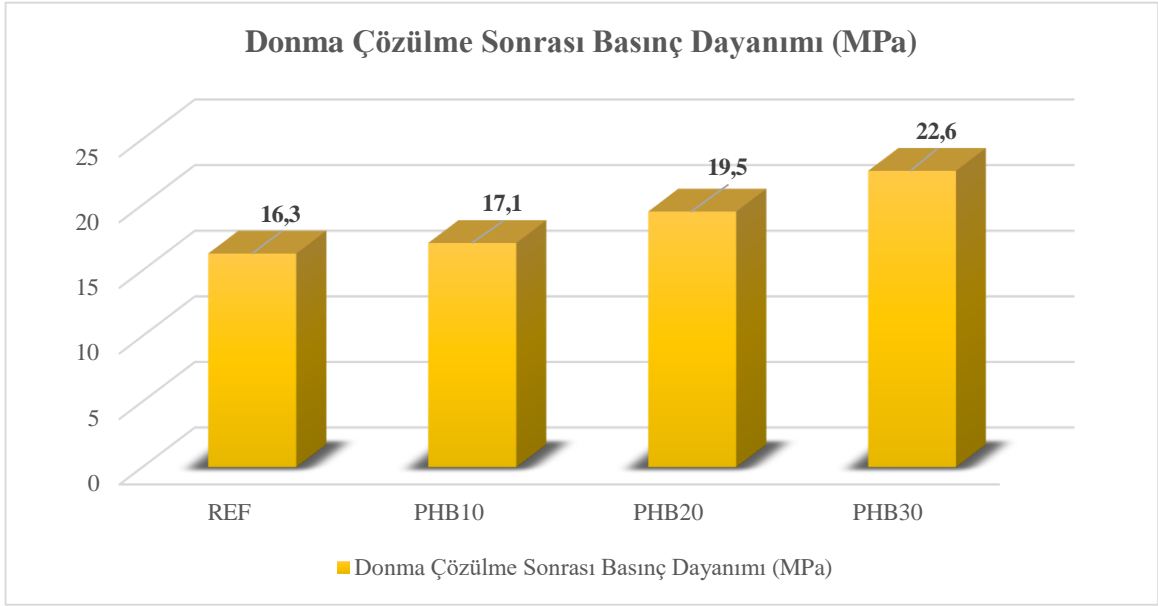
Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Donma çözülmenin basınca etkisi değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.4’de bu numunelere ait su emme değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak kompozite değeri belirlenmiştir.

Tabloya göre en yüksek değer 22,7 MPa ile PBH serisinin 2. ve 3. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise 16,1 MPa ile REF serisinin 4. ve 5. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Seri ve numunelerin donma çözülmenin basınca etkisi

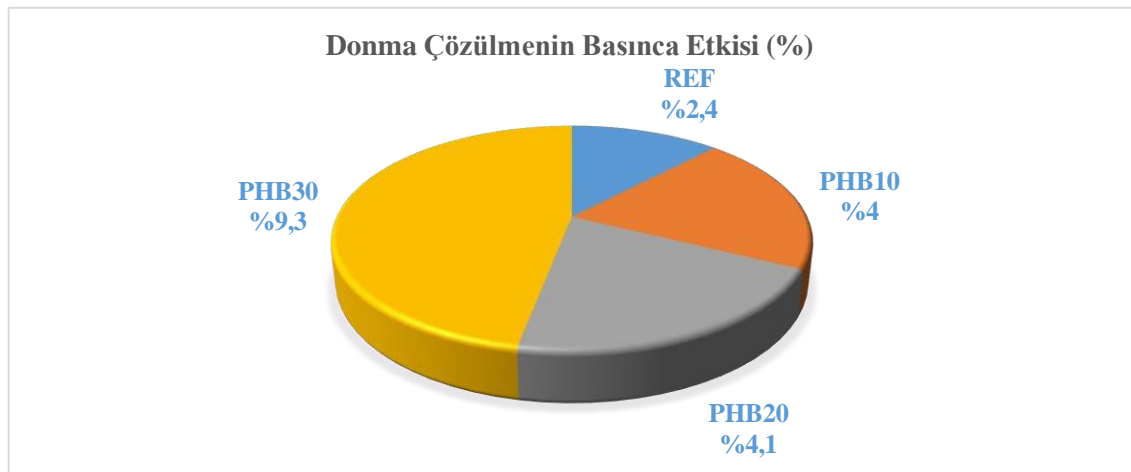
Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	16,3	16,5	16,3	16,1	16,1	16,5	16,3
PHB10	17,5	17,3	17,1	17,1	16,8	16,8	17,1
PHB20	19,5	19,5	19,3	19,5	19,7	19,5	19,5
PHB30	22,6	22,7	22,7	22,6	22,5	22,5	22,6

Pirinç kabuğu külü katkılı hafif beton numunelerinin donma çözülmenin basınca etkisi değerleri Şekil 4.5’de verilen grafikte sunulmuştur. Grafiğe göre, donma çözülme sonrası en düşük basınç dayanımı 16,3 MPa ile REF numunesinden elde edilirken, donma çözülme sonrası en yüksek basınç dayanımı 22,6 MPa ile PHB30 numunesinden elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Donma çözülme sonrası basınç dayanımı grafiği

Numuneler donma çözülme deneyine tabi tutulduktan sonra tekrar basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda donma çözülmenin etkisi % olarak Şekil 4.6’ da verilmiştir. Şekilde yer alan grafiğe göre, donma çözülmenin basınç üzerine etkisi %2,4 ile %9,3 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek basınç kaybı %30 oranında pirinç kabuğu ikameli PHB30 numunesinden elde edilmiştir. Pirinç kabuğu miktarının artmasıyla donma çözülmenin basınç üzerindeki etkisi de artmış, basınç dayanımında azalma olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Donma çözülmenin basınca etkisi grafiği

Kale vd., (2020), yapmış olduğu çalışmada pomza agregalı hafif beton numunelerinin donma çözülmenin basınca etkisini azalttığını bildirmiştir.

4.2. Hafif Beton Numunelerinin Mekanik Deney Sonuçları

Bu bölümde numunelerin mekanik özelliklerinin tespiti için yapılan basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri başlıklar halinde sunulmuştur

4.2.1. Basınç Dayanımı

Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Basınç dayanımı değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.6'da bu numunelere ait basınç dayanımı değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak kompozite değeri belirlenmiştir.

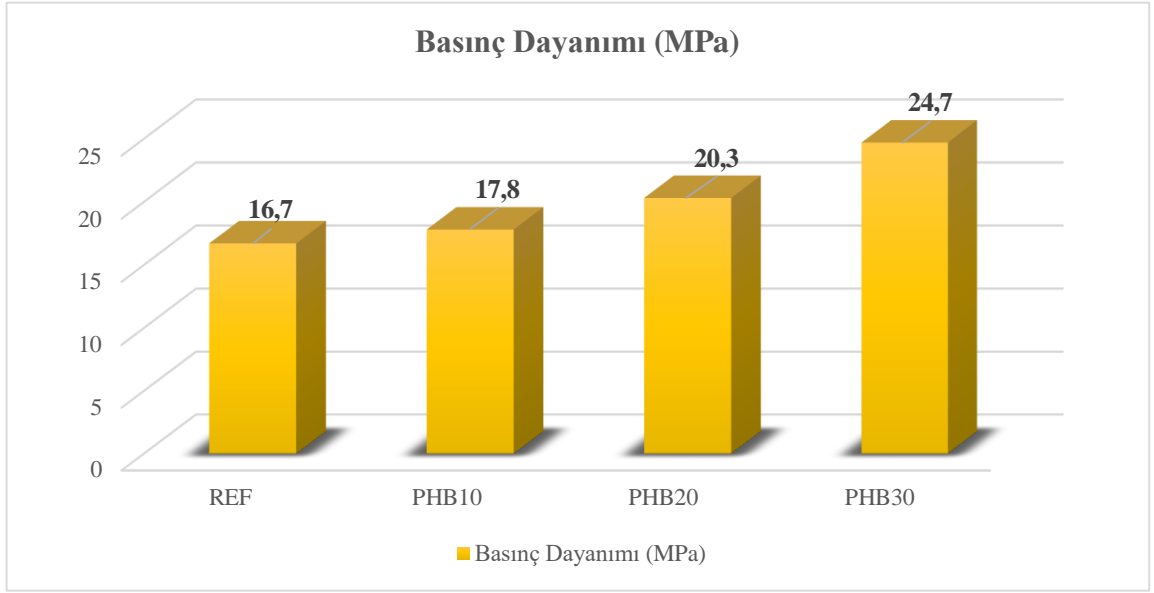
Tabloya göre en yüksek basınç değeri 25,0 MPa ile PBH30 serisinin 2. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise 16,5 MPa ile REF serisinin 6. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.6. Seri ve numunelerin basınç dayanımı

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	16,8	16,6	16,7	16,7	16,9	16,5	16,7
PHB10	17,8	17,8	17,9	17,6	17,9	17,8	17,8
PHB20	20,1	20,2	20,4	20,5	20,3	20,3	20,3
PHB30	24,4	25,0	24,5	24,9	24,7	24,7	24,7

Şekil 4.7'da numunelere aitt basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Grafik baz alındığında; basınç dayanım değerlerinin 16,7 MPA ve 24,7 Mpa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek basınç dayanım değeri PHB30 numunesinden, en düşük basınç dayanımı ise REF numunesinden elde edilmiştir. Ayrıca pirinç kabuğu külü ikamesinin artması basınca olumlu yönde etki etmiştir. Pirinç kabuğu külünün yüksek oranda silisyum içerçesi ve puzolanik özellik göstermesi basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır.

Basınç dayanımı sonuçlarına göre, pomza agregası ve pirinç kabuğu külü ikamesi (tüm oranlar dahil) ile imal edilen hafif betonların ACI 213R-87 standardında hafif beton dayanımı için bildirilen değer (17.2 MPa) üzerinde bir değer olduğu görülmüştür. Tez çalışması kapsamında üretilen tüm hafif beton numuneleri taşıyıcı hafif beton sınıfında yer almaktadır. Kısacası, tez çalışmasında belirlenen oranlar ve pirinç kabuğu külü ikamesinin hafif beton üretiminde her bir sakınca yaratmayacağı görülmüştür.



Şekil 4.7. Basınç dayanımı grafiği

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde; *Akçakale (2010)*, Osmaniye ve Nevşehir bölgesinde bulunan pomza malzemesini kullanarak beton üretimi yapmıştır. 7 günlük basınç dayanımına baktığında değerler 4,9-16,3 MPa arasında değiştiğini bildirmiştir. *Kabay ve Aköz'ün (2012)* çalışmalarında kaba agrega olarak pomza, ince agrega olarak kırma kum kullanmış ve basınç dayanımında artış olduğunu tespit etmiştir. *Hossain vd. (2011)* tarafından iri ve ince pomza ve %10 oranında kum kullanarak ürettikleri hafif betonların dayanımlarının 10-12-15-16-19-21 MPa daha yüksek değerler çıktığını ifade etmişlerdir. *Ahsan vd., (2017)* %10 RHA ikame edilmiş betondan elde edilen maksimum basınç dayanımının, kontrol numunesininin %56 kadar olduğunu bildirmiştir. *Rahman vd., (2018)* ve *Kartini (2011)* çalışmalarında hafif beton içerisine pirinç kabuğu külü ikamesinin basınç dayanımını artırdığını bildirmiştir. Kartini, sıradan Portland çimentosu yerine pirinç kabuğu külünün kullanılmasının betonun mukavemet ve dayanıklılığında artışa yol açtığını belirtmiştir. Tüm bu çalışmalar tez çalışmasını destekler niteliktedir.

4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı

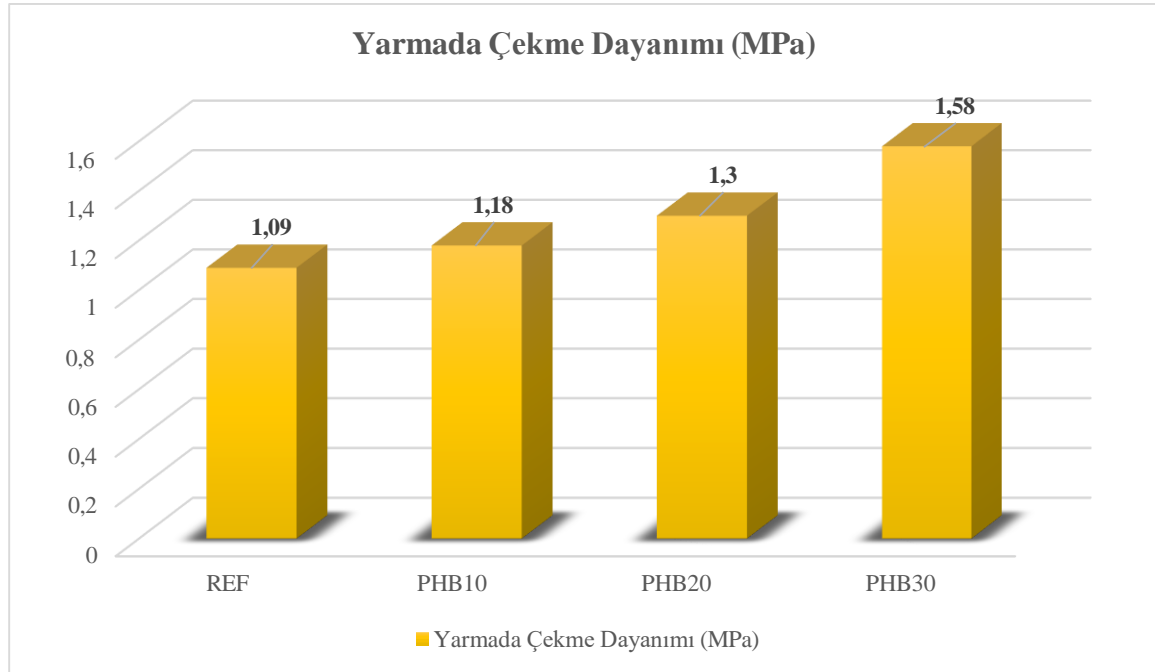
Tez çalışması kapsamında 1 seri referans numunesi, 3 seri katkılı numune olmak üzere toplam 4 seri hafif beton numunesi üretilmiştir. Yarmada çekme dayanımı değerinin tespiti için 6 adet küp numune kullanılmıştır. Tablo 4.7'de bu numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri verilmiştir. 6 numunenin aritmetik ortalaması alınarak yarmada çekme dayanımı değeri belirlenmiştir.

Tabloya göre, yarmada çekme dayanım değerlerinin 1,05-1,61 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer 1,61 MPa ile PBH30 serisinin 4. numunesinden elde edilirken, en düşük değer ise 1,05 MPa ile REF serisinin 1. numunesinden elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Seri ve numunelerin yarmada çekme dayanımı

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune	ORT
REF	1,05	1,12	1,09	1,11	1,09	1,08	1,09
PHB10	1,16	1,18	1,20	1,21	1,15	1,18	1,18
PHB20	1,34	1,30	1,25	1,30	1,31	1,30	1,30
PHB30	1,58	1,60	1,58	1,61	1,58	1,53	1,58

Şekil 4.7’de pirinç kabuğu külü katkılı hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Grafiğe göre yarmada çekme dayanımı değerlerinin 1,09 MPa ile 1,58 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En düşük yarmada çekme dayanımı REF numunesinden elde edilirken, en yüksek değer ise PHB30 numunesinden elde edilmiştir. Kısacası pirinç kabuğu külü ikamesi arttıkça yarmada çekme dayanım değerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 4.8. Yarmada çekme dayanımı grafiği

Ahsan vd., (2017) %10 RHA ikame edilmesiyle yarmada çekme dayanımında artış meydana geldiğini bildirmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, agrega olarak Nevşehir yöresi asidik pomza ve farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) pirinç kabuğu külü çimento ikame malzemesi olarak kullanılarak hafif beton üretimi yapılmıştır. Numunelere fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- ✚ Numunelere uygulanan kuru birim hacim ağırlık deneyinde pirinç kabuğu külü oranının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.
- ✚ Pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla porozite değerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük porozite değeri PHB30 numunesinden elde edilmiştir.
- ✚ Komposite değerine bakıldığında, pirinç kabuğu külü miktarının artmasıyla komposite değerinde artış meydana gelmiştir.
- ✚ Su emme (ağırlıkça) deney sonucunda, pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla su emme oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. En düşük değer %7,1 ile PHB30 numunesinden elde edilmiştir.
- ✚ Donma çözülme sonrası basınç dayanımı değerlerine bakıldığında, pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla donma çözülme sonrası basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür.
- ✚ Donma çözülmenin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde en fazla etki %9,3 ile PHB30 numunesinden elde edildiği tespit edilmiştir.
- ✚ Donma çözülme deneyi sonrası PHB30 numunesinin yüzeyinde ince çatlaklar meydana gelmiştir.
- ✚ Hafif beton numunelerinin basınç dayanımının pirinç kabuğu külü ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. En düşük basınç dayanımı referans numunesine, en yüksek basınç dayanımı ise PHB30 numunesine aittir.
- ✚ ACI 213R-87 sattandardına göre üretilen tüm pirinç kabuğu külü ikameli hafif beton numuneleri taşıyıcı hafif beton sınıfına girmektedir.
- ✚ Pirinç kabuğu külü ikamesinin artmasıyla numunelerin yarmada çekme dayanımı değerinin arttığı görülmüştür.
- ✚ Pirinç kabuğu külünün hafif beton üretiminde kullanılmasının herhangi bir zararının olmadığı görülmüştür.

- # Pomza gibi doğal ham maddelerin beton gibi en çok tercih edilen yapı malzemelerinde kullanımının yarar sağladığı gözlenmiştir.
- # Pomzanın sadece hafif beton değil, hafif tuğla, hafif blok elemanlar gibi farklı yapı malzemelerinde de kullanımının arttırılması gerekmektedir.
- # Tarımsal atıkların inşaat sektöründe aktif bir şekilde kullanılması teşvik edilmelidir.
- # Pirinç kabuğu gibi silisyum içeriği fazla olan atıkların inşaat sektörüne kazandırılması sağlanmalıdır.
- # Pirinç kabuklarının küle dönüştürülmesi için daha fazla işletmelerin kurulmasına destek verilmelidir.
- # Pirinç kabuğu külü sadece beton değil, farklı yapı malzemelerinin de üretimine katılmalıdır.
- # Pomza gibi doğal hammaddelerin, pirinç kabuğu külü gibi tarımsal atıkların inşaat sektöründe kullanılması sürdürülebilir yapı malzemesi üretiminde oldukça etkili olacağı düşünülmektedir.
- # Pirinç kabuğu külü gibi atıkların farklı sektörlerde kullanılması atık bertarafı için etkili bir yol olacaktır.
- # Atıkların ve doğal hammaddelerin farklı sektörlerde kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- # Bu tez çalışması gibi çalışmalar, akademik literatürde kalmamalı, seri üretime geçilmesi için teşvik edilmelidir.
- # Yapı malzemesi üretimi yapan fabrikalar, Ar-Ge laboratuvarlarını akademik çalışmalara açmaları konusunda bilinçlendirilmelidir.

6. KAYNAKÇA

Ahsan, M. B., & Hossain, Z. (2018). Use of rice husk ash (RHA) as a sustainable cementitious material for concrete construction. In *Materials for Sustainable Infrastructure: Proceedings of the 1st GeoMEast International Congress and Exhibition, Egypt 2017 on Sustainable Civil Infrastructures 1*, 197-210. Springer International Publishing.

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

Akyüncü, V. (2019). *Investigation of Mechanical Properties and Behavior of Lightweight Concrete Blocks with Pumice Aggregate under the Effect of Fire*. Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 8(1), 147-157.

Al-Ganad, A.A.A. (2020). *Influence of waste foundry sand (WFS) and rice husk ash (RHA) on the mechanical properties of polymer concrete*, (Master's thesis), Atılım University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

Al-Handhal, M.O. (2022). *Effect Of Waste Glass Powder (Wgp) On The Strength And The Mechanical Properties Of Pumice Lightweight Concrete*, Master' Thesis, Van Yüzüncü Yıl University Institute Of Natural And Applied Sciences, Van.

Ali, M., Kumar, A., Yvaz, A., & Salah, B. (2023). Central composite design application in the optimization of the effect of pumice stone on lightweight concrete properties using RSM. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01958.

Ali, Y. M., Abdelaleem, T., Diab, H. M., & Rashwan, M. M. (2023). *Effect of silica fume on the behavior of lightweight reinforced concrete beams made from crushed clay bricks*. *AI in Civil Engineering*, 2(1), 3.

Altabeeb, A.S.A. (2021). *Silis Dumanı Ve Çelik Lif Katkılı Hafif Beton Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.

Ayodele, O.A. (2016). *An Experimental Study On The Properties Of Lightweight Concrete With Cold Bolded Fly Ash Aggregate In Correlation With Normal*

Aggregate Concrete, Master's Thesis, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural and Applied Sciences, Gaziantep.

- Azhar, M., Soedarjanto, A., & Syah, A. (2020). PUMICE STONE ENGINEERING AND Rice Husk Ash Light Aggregate Material To Increase The Compressive Strength Of Composite Lightweight Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 11(8).
- Bakhshi, M., Dalalbashi, A., & Soheili, H. (2023). Energy dissipation capacity of an optimized structural lightweight perlite concrete. *Construction and Building Materials*, 389, 131765.
- Benjeddou, O., Ravindran, G., & Abdelzaher, M. A. (2023). Thermal and Acoustic Features of Lightweight Concrete Based on Marble Wastes and Expanded Perlite Aggregate. *Buildings*, 13(4), 992.
- Bideci, A., Bideci, Ö. S., & Ashour, A. (2023). Mechanical and thermal properties of lightweight concrete produced with polyester-coated pumice aggregate. *Construction and Building Materials*, 394, 132204.
- Ceylan, H., (2005). *Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Chauhan, K., & Sharma, P. (2020). Partial Replacement of Cement using Rice Husk Ash and Fly Ash in Non-Autoclaved Aerated Concrete: A Review. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(12), 1052-1063.
- Chopra, D., & Siddique, R. (2015). Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*, 130, 72-80.
- Coutinho, J.S. (2003). The combined benefits of CPF and RHA in improving the durability of concrete structures, *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 51–59.

- Çirkin, İ. (2023). *The Effect Of Pumice, Perlite And Fiber Glass Additives On The Thermal Conductivity, Compressibility And Shear Strength Behavior Of Zeolite/Bentonite And Sand-Kaolin Mixtures Under High Temperatures*. Master Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, İzmir.
- Davraz, M., Gündüz, L., & Şapcı, N. (2005). Pumice Mining, Its Industry and Its Importance for Turkey (A New Developing Sector). Türkiye 19th International Mining Congress and Fair, IMCET2005, İzmir, 397-407.
- Demirbağ, H. (2021). *Vollastonit Ve Pirinç Kabuğu Külü İçeren Uçucu Kül Ve Cüruf Esaslı Geopolimer Kompozitlerin Taze, Reolojik, Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- 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.
- Düzgün, O.A. (2001). *Çelik Lişlerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- El-Attar, M. M., Ibrahim, H. H., & Darwish, S. F. (2023). Investigating the Viability of Recycling Rice Husk Ash and Plastic Bag Waste to Enhance Durability of Lightweight Concrete. *Buildings*, 13(5), 1350.
- Erdoğan, Y. (2007). *Asidik Ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Fuad, M. A., Ismail, Z., Ishak, Z. M., & Omar, A. M. (1998). Rice husk ash. *Plastics Additives: An AZ reference*, 561-566.
- Gündüz, L., Hüseyin, A., & Rota, A. (2001). Türkiye Ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 175-188.

- Gündüz, L., & Kalkan, Ş. O. (2020). Lightweight Cellular Hollow Concrete Blocks Containing Volcanic Tuff Powder, Expanded Clay and Diatomite for Non-Load Bearing Walls. *Teknik Dergi*, 31(6), 10291-10313.
- Güneş, O. (2019). *Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Hamidreza, M., & Hossein, H. S. A. (2023). Neural prediction of mechanical properties of fiber-reinforced lightweight concrete containing silica fume and nano-silica. *Magazine of Civil Engineering*, 118(2), 11808.
- Hossain, K. M. A., Ahmed, S., & Lachemi, M. (2011). Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: Mechanical and durability characteristics. *Construction and Building Materials*, 25(3), 1186-1195.
- Hwang, C.L., Chandra, S. (2016a). The use of Rice Husk Ash in Concrete, <https://3c11105uud.files.wordpress.com/2013/06/book-bysatish->, (assessed; 27.4.2023).
- Hwang, C. L., Wu, D.S., (2016b). Properties of cement paste containing rice husk ash, In V. M. Malhotra (Ed.), Proceedings of the third CANMET/ACI international conference on fly ash silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, ACI, 114, 733-762.
- Idrees, M., Jamil, S. (2018). Effect Of Rice Husk Ash And Marble Powder On Mechanical Behavior Of Concrete, Fifth International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Coventry, UK.
- Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., Ribakov, Y., & Bier, T. A. (2017). Effect of fly ash on properties of self-compacting high strength lightweight concrete. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 61(1), 81-87.
- Iqbal, S., Zaheer, M., & Room, S. (2023). Mechanical & microstructural properties of self-compacting concrete by partial replacement of cement with marble powder and sand with rice husk ash. *The Sciencetech*, 4(2), 1-14.
- Jalal, F. E., Mulk, S., Memon, S. A., Jamhiri, B., & Naseem, A. (2021). Strength, hydraulic, and microstructural characteristics of expansive soils incorporating marble dust and rice husk ash. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1-18.

- Jauberthie, R., Rendell, F., Tamba, S., & Cisse, I. (2000). Origin of the pozzolanic effect of rice husks. *Construction and Building Materials*, 14(8), 419-423.
- Kabay, N., & Aköz, F. (2012). Effect of prewetting methods on some fresh and hardened properties of concrete with pumice aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 34(4), 503-507.
- Kadela, M., Małek, M., Jackowski, M., Kunikowski, M., Klimek, A., Dudek, D., & Rośkowicz, M. (2023). Recycling of Tire-Derived Fiber: The Contribution of Steel Cord on the Properties of Lightweight Concrete Based on Perlite Aggregate. *Materials*, 16(5), 2124.
- Kale, M. O., Çağlar, H., Çağlar, A., Apay, A. C., & Çimen, S. (2021). Improving of Lightweight Concrete Properties Produced with Pumice Aggregate of Nevşehir Region with Fly Ash Substitution. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 9(2), 302-308.
- Karaca, E.O. (2020). *Bitlis Pomzası ile Üretilen Farklı Çatlak Derinliklerine Sahip Kirişlerin Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- Kartini, K. (2011). Rice husk ash-pozzolanic material for sustainability. *International Journal of Applied Science and Technology*, 1(6), 169-178.
- Khan, M. A., Khan, S. A., Khan, B., Shahzada, K., Althoey, F., & Deifalla, A. F. (2023). Investigating the feasibility of producing sustainable and compatible binder using marble waste, fly ash, and rice husk ash: A comprehensive research for material characteristics and production. *Results in Engineering*, 20, 101435.
- Kızıлтаş, Y. (2021). *Yapı Malzemesi Olarak Nevşehir Yöresi Bimslerinin Mimaride Hafif Duvar Elemanı Üretiminde Kullanılması Ve Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kocaman, P. (2009). *Bims Agregaların Ve Bimsbeton Ürünlerin Mimarlık Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kone, B., Mwero, J. N., & Ronoh, E. K. (2022). Experimental effect of cassava starch and rice husk ash on physical and mechanical properties of concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(2), 343-350.
- Kumar, R. (2023). Utilizing Pumice for Enhanced Structural Lightweight Concrete. *i-Manager's Journal on Structural Engineering*, 11(4), 13.
- Kumar, S.A, & Radhikesh, N.P. (2011). Effect of marble dust on strength and durability of Rice husk ash stabilised expansive soil. *International Journal of Civil & Structural Engineering*, 1(4), 939-948.
- Kumar, S., Sangwan, P., Dhankhar, R. M. V., & Bidra, S. (2013). Utilization of rice husk and their ash: A review. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 1(5), 126-129.
- Lubis, H., Rianna, M., Lubis, R. Y., Hasibuan, E. S., Siregar, I., & Sofie, T. M. (2023, May). Synthesis and characterization of rice husk activated carbon as filler in lightweight concrete. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2626, No. 1). AIP Publishing.
- Mahmud, H.B., Majuar, E., Zain, M.F.M., Hamid, N.B.A.A. (2004). Mechanical properties and durability of high strength concrete containing rice husk ash. In: Malhotra VM, editor. Proceedings of the eighth CANMET/ACI international conference on flyash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete. USA: Las Vegas, Nevada; 751–765.
- MTA, (2023). <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>. Access Date:01.11.2023.
- Soylu Group (2021). Pomzanın Tarihçesi. Erişim adresi: <https://www.soylu.com.tr/tr/ponza-nedir->. Erişim tarihi: 01.10.2023.
- Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., Gencel, O., Ahmad, M. R., & Chen, B. (2021). Synergistic effect of rice husk, glass and marble sludges on the engineering characteristics of eco-friendly bricks. *Journal of Building Engineering*, 42, 102484.
- Nadh, V. S., Muthumani, K., 2017. Critical review on structural light weight concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(2): 252-263.

- Nagrle, S. D., Hajare, H., & Modak, P. R. (2012). Utilization of rice husk ash. *Carbon*, 2(6), 42.
- Nair, D.G., Fraaij, A., Klaassen, A.A.K., Kentgens, A.P.M. (2008). A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes, *Cement and Concrete Research*, 38(6), 861-869.
- Nukah, P. D., Abbey, S. J., Booth, C. A., & Nounu, G. (2023). Development of a Lytag-silica fume based lightweight concrete and corresponding design equation for pure bending. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01970.
- Oğuz, M. (2019). *Geri Dönüştürülmüş Betonların Köpük Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- 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.
- Pomza Araştırma Ve Uygulama Merkezi (PAUM), (2015). Fizibilite Raporu. Nevşehir: Ahiler Kalkınma Ajansı.
- Salman, M.C. (2019). *Bitlis Yöresi Pomza Taşı ile Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonlarda Beton-Donatı Bağ Dayanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi ve Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.
- Safiuddin, M. (2008). *Development of self-consolidating high performance concrete incorporating rice husk ash*. Thesis(Ph.D), University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Sang, G. K. (2021). Investigating the Potential Use of Tuff Aggregates to Produce Lightweight Concrete (Doctoral dissertation, UON).
- Sari, D., & Pasamehmetoglu, A. G. (2005). The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 936-942.

- Satpathy, H. P., Patel, S. K., & Nayak, A. N. (2019). Development of sustainable lightweight concrete using fly ash cenosphere and sintered fly ash aggregate. *Construction and Building Materials*, 202, 636-655.
- Sayın, N. (2022). *Hafif Beton Atıklarının Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Beton Teknolojisinde Kullanımının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis.
- Singh, B. (2018). Rice husk ash. In *Waste and supplementary cementitious materials in concrete* (pp. 417-460). Woodhead Publishing.
- Sobhani, J., Komijani, S., Shekarchi, M., & Ghazban, F. (2023). Durability of concrete mixtures containing Iranian electric arc furnace slag (EAFS) aggregates and lightweight expanded clay aggregates (LECA). *Construction and Building Materials*, 400, 132597.
- Stratoura, M. C., Lazari, G. E. D., Badogiannis, E. G., & Papadakis, V. G. (2023). Perlite and Rice Husk Ash Re-Use As Fine Aggregates in Lightweight Aggregate Structural Concrete-Durability Assessment. *Sustainability*, 15(5), 4217.
- Şimşek, O. (2007). *Beton ve beton teknolojisi*, Seçkin Yayınları, Ankara.
- Şimşek O, 2009. *Beton ve Beton Teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A. Ş. Ankara
- Şirin, Y. (2014). *Analysis Of Economic Value Of Rice Husk And Producing High Value Industrial Substances*, Master Thesis, University Of Gaziantep Graduate School Of Natural & Applied Sciences, Gaziantep.
- Talling, B., Brandsteter, J., (1989). Present state and future of alkali-activated slag Concretes, Proceedings third international conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, Trondheim, Norway (ACISP 114-74), 2, 1519–46.
- Tarım Ürünleri Piyasaları, (2023). Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF>. Erişim Tarihi: 30.11.2023.
- Tanyıldızı, M. (2022). Volcanic products found in the Bitlis region as potential industrial raw materials: Pumice and Perlite, 1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences, Konya.

- Tanyıldızı, M., & Gökalp, İ. (2023). Utilization of pumice as aggregate in the concrete: A state of art. *Construction and Building Materials*, 377, 131102.
- Tezel, H., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö., & Çimen, S. (2020). Effects of boric acid additive to pumice aggregate lightweight concrete properties. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(9), 1-10.
- Thienel, K.C., Haller, T., Beuntner, N., (2020). Lightweight Concrete-From Basics to Innovations. *Materials*, 13(5): 1-24.
- Topal, E.S. (2023). *Use Of Natural Perlite Aggregate And Perlite Powder In Reinforced Concrete Beam Produced With Self-Compacting Lightweight Concrete*, Master Thesis, Ankara Yıldırım Beyazıt University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara.
- TS 2511, (2017). Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, (2012). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1008, (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6, (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-1, (2015). Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 772-4, (2000). Kâgir birimler- Deney metotları- Bölüm 4: Tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Tuan N. V., Ye G., Breugel K. V., Fraaij A. L. A. and Dai B. D., 2011, The study of using rice husk ash to produce ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 25, 2030–2035.
- Tuncer, H.M. & Girgin, Z.C. (2023). Hemp fiber reinforced lightweight concrete (HRLWC) with coarse pumice aggregate and mitigation of degradation. *Materials and Structures*, 56(3), 59.
- Ulusoy, M., Gündüz, L., & Şapcı, N. (2004). Karaman Ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agrega Olarak Yeri Ve Önemi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 138-148.
- Uysal, M., Aygörmez, Y., Canpolat, O., Cosgun, T., & Kuranlı, Ö. F. (2022). Investigation of using waste marble powder, brick powder, ceramic powder, glass powder, and rice husk ash as eco-friendly aggregate in sustainable red mud-metakaolin based geopolymer composites. *Construction and Building Materials*, 361, 129718.
- Varadharajan, S., Jaiswal, A., & Verma, S. (2020, December). Assessment of mechanical properties and environmental benefits of using rice husk ash and marble dust in concrete. In *Structures*, 28, 389-406).
- Varol, O.O. (2016). A general overview of pumice mining in Van and Bitlis provinces, *Journal of Mining Science*, 55 (3); 27–34.
- Venkatanarayanan, H.K., Rangaraju, P.R., 2013, Material characterization studies on low and high-carbon rice husk ash and their performance in Portland cement mixtures, *Advances in Civil Engineering Materials*, 2, 265–287.
- Wang, S., Li, H., Zou, S., & Zhang, G. (2020). Experimental research on a feasible rice husk/geopolymer foam building insulation material. *Energy and Buildings*, 226, 110358.
- Wang, X., Wang, Y., Lin, S., Li, D., Hou, P., Li, C., & Zhang, S. (2024). High-strength lightweight concrete preferred mix design. In *Water Conservancy and Civil Construction Volume 1* (pp. 296-301). CRC Press.
- Web iletı, 1, (2023). <https://volkanatabey.com.tr/hafif-betonun-taze-ve-sertlesmis-haldeki-ozellikleri/>. Erişim Tarihi: 21.08.2023.

- Yanık, S. (2007). *Usability of Basic Pumice as Concrete Aggregate*, Master's Thesis, Çukurova University Institute of Science and Technology, Adana.
- Yasar, E., Atis, C. D., Kilic, A., & Gulsen, H. (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash. *Materials Letters*, 57(15), 2267-2270.
- Yazıcı, E. (2020). Durum ve Tahmin Pirinç. Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE YAYIN NO: 322, E-ISBN: 978-605-7599-49-0, 1-44.
- Yıldız, S., Balaydı, İ., Ulucan, Z. Ç. (2007). Pirinç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1), 85-91.
- Yolcu, C., Girgin, Z.C. (2017). Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları ve Doğal Pomza Agreganın Kullanılabilirliği. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1(2): 59–67.
- Zhang, H., He, Y., Wang, C., Guan, Y., Ge, Z., Sun, R., Ling, Y. & Šavija, B. (2022). Statistical mixture design for carbide residue activated blast furnace slag foamed lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 342, 127840.
- Zhang, M.H., Malhotra, V.M., 1996, High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material, *ACI Materials Journal*, 93(6), 629–636.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Seyit Can YILMAZ
Uyruğu:	TC
Orcid Numarası:	0009-0005-5307-7524

EGİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fakülte:	Mühendislik – Mimarlık Fakültesi
Bölümü:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2022
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2024
Doktora	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler	
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler	
- Seyit Can YILMAZ, Hakan ÇAĞLAR, Arzu ÇAĞLAR, ‘Academic Studies On The Usability Of Pumice And Rice Husk Ash In The Production Of Building Materials’, VIII. International Scientific and Vocational Studies Congress, 2023	