



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN KIRŞEHİR
BÖLGESİ ATIK MERMER TOZU TABANLI
HAFİF BETONA ETKİSİ**

MOHAMED EMHAMED EL SHEBANI ELITAIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR

2024



T.C.
KIRSEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI



**GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN KIRŞEHİR
BÖLGESİ ATIK MERMER TOZU TABANLI
HAFİF BETONA ETKİSİ**

MOHAMED EMHAMED EL SHEBANI ELITAIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi 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 Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- 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 değeriklik 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. 01/11/2024

Öğrenci

Mohamed Emhamed El Shebani ELITAIM

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

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. Perlit ve Genleştirilmiş Perlit	5
1.1.1. Genleştirilmiş perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri	6
1.1.2. Dünya’da bulunan mevcut perlit rezervleri	10
1.1.3. Türkiye’de mevcut perlit rezervleri	11
1.1.4. Genleştirilmiş perlitin kullanım alanları	15
1.2. Mermer ve Atık Mermer Tozu	18
1.2.1. Mermer.....	18
1.2.2. Mermerin tarihçesi	19
1.2.3. Mermer rezervleri	20
1.2.4. Dünyada mermer üretimi	21
1.2.5. Türkiye mermer rezervi ve üretimi	23
1.2.6. Mermerin kullanım alanları	25
1.2.7. Atık mermer tozunun üretimi.....	27
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	29
3. MATERYAL VE METOT	33
3.1. Materyal.....	33
3.1.1. Genleştirilmiş perlit	33
3.1.2. Atık mermer tozu	34
3.1.3. Çimento.....	34
3.1.4. Süper akışkanlaştırıcı	35
3.1.5. Karışım suyu	36
3.2. Metot.....	36
3.2.1. Katkılı numunelerin üretimi.....	36
3.2.2. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler.....	39

3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler.....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
4.1. Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Fiziksel Deneyleri	45
4.1.1. Porozite	45
4.1.2. Birim hacim ağırlık	46
4.1.3. Su emme (ağırlıkça).....	47
4.1.4. Isı iletim katsayısı tayini	47
4.1.5. Özgül ısı kapasitesi	48
4.2. Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Mekanik Deneyleri	49
4.2.1. Basınç dayanımı	49
4.2.2. Yarmada çekme dayanımı.....	50
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. Eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen aileme ve değerli jüri üyelerim Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK ve Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL'e teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Kasım, 2024

Mohamed Emhamed El Shebani ELITAIM

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİTİN KIRŞEHİR BÖLGESİ ATIK MERMER TOZU TABANLI HAFİF BETONA ETKİSİ

Mohamed Emhamed El Shebani ELITAIM

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Yıl: 2024, Sayfa: 67
Jüri: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇAĞLAR
Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK
Dr. Öğr. Üyesi Selim CEMALGİL

Zaman içerisinde endüstride yaşanan gelişmeler beraberinde atık sorununu da getirmiştir. Atıklar sadece doğayı kirletmekle kalmayıp insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemiştir. Atıkların bertarafı gerek maddi gerekse sağlık açısından çözülmesi zorunlu bir probleme dönüşmüştür. Atıkların depolama yönteminden çok geri dönüşüm şeklinde değerlendirilmesi sürdürülebilirlik açısından da oldukça önem arz etmektedir.

Bu çalışmada endüstriyel atıklardan olan atık mermer tozu tabanlı hafif betona geliştirilmiş perlitin yapmış olduğu etkilerin araştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda birim hacim ağırlığı düşük termal özelliği iyileştirilmiş hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Çalışma, numunelerin temini, referans numunesinin üretimi, katkılı hafif beton üretimi ve numunelere belirlenen deneylerin uygulanması olmak üzere 4 aşamada gerçekleşmiştir. Üretilen hafif beton numunelerinin geliştirilmiş perlit:atık mermer tozu %'lik oranları 0:100, 5:95, 10:90, 20:80, 40:60 şeklinde belirlenmiştir. Üretilen numunelere, birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), ısı iletim katsayısı tayini, özgül ısı kapasitesi, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışmada sonuç olarak, birim hacim ağırlığı düşük, ısı iletim katsayısı iyileştirilmiş hafif beton numuneleri üretilebileceği görülmüştür. Ayrıca atık mermer tozunun hafif beton üretiminde kullanımı atık bertarafı ve geri dönüşüm bağlamında iyi bir çözüm yolu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık Mermer Tozu, Genleştirilmiş Perlit, Hafif Beton, Termal Özellik

ABSTRACT

MSc THESIS

EFFECT OF EXPANDED PERLITE AT LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH BASED WASTE MARBLE POWDER KIRŞEHİR REGION

Mohamed Emhamed El Shebani ELITAIM

**KIRŞEHİR AHI EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Year: 2024, Pages: 67
Juries: Assist. Prof. Dr. Hakan ÇAĞLAR
Assoc. Prof. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK
Assist Prof. Dr. Selim CEMALGİL

Developments in the industry over time have brought with them the problem of waste. Waste not only pollutes nature but also has a negative impact on human health. Disposal of waste has become a problem that must be solved both financially and in terms of health. It is also very important in terms of sustainability to evaluate waste in the form of recycling rather than storage.

In this study, it is targeted to investigate the effects of expanded perlite on lightweight concrete based on waste marble dust, which is an industrial waste. In this context, the aim was to produce lightweight concrete with low unit weight and improved thermal properties. The study was carried out in 4 stages: supply of samples, production of reference sample, production of lightweight concrete with additives and application of the determined tests to the samples. The expanded perlite: waste marble dust percentage ratios of the produced lightweight concrete samples were determined as 0:100, 5:95, 10:90, 20:80, 40:60. Unit weight, porosity, water absorption (by weight), heat transfer coefficient determination, specific heat capacity, compressive strength and splitting tensile strength tests were applied to the produced samples. As a result of the study, it was seen that lightweight concrete samples with low unit weight and improved heat transfer coefficient could be produced.

It was also concluded that the use of waste marble dust in lightweight concrete production is a good solution in the context of waste disposal and recycling.

Key Words: Waste Marble Powder, Expanded Perlite, Lightweight Concrete, Thermal Properties

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel Özellikleri.....	7
Tablo 1.2. Genleştirilmiş Perlitin Kimyasal Bileşenleri.....	10
Tablo 1.3. Dünya Perlit Üretimi (Bin Ton).....	10
Tablo 3.1. Genleştirilmiş Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	33
Tablo 3.2. Atık Mermer Tozunun Kimyasal Özellikleri	34
Tablo 3.3. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	35
Tablo 3.4. Süper Akışkanlaştırıcının Özellikleri.....	36
Tablo 3.5. Hafif Beton Üretim Reçetesi.....	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	a; Ham Perlit, b; Genleştirilmiş Perlit.....	6
Şekil 1.2.	Türkiye’de Perlit Yatakları Haritası.....	11
Şekil 1.3.	Perlit İhracatında Önde Gelen Ülkeler.....	12
Şekil 1.4.	Türkiye’nin En Fazla İthalat Yaptığı Ülkeler.....	13
Şekil 1.5.	Türkiye’nin En Çok İhracat Yaptığı Ülkeler.....	14
Şekil 1.6.	Perlitin Sektörde Kullanım Oranları.....	15
Şekil 1.7.	Perlit ve Genleştirilmiş Perlitin Kullanım Alanları.....	16
Şekil 1.8.	Perlitin Özellikle İnşaattaki Tipik Uygulamaları.....	18
Şekil 1.9.	Mermer.....	19
Şekil 1.10.	Alp-Himalaya Kuşağı.....	21
Şekil 1.11.	2021 Yılı Mermer İhracatında Ülkelerin Payları.....	23
Şekil 1.12.	Türkiye’de Mermer Yatakları.....	24
Şekil 1.13.	Dünya Mermer Ocağı Sıralaması.....	25
Şekil 1.14.	Mermer Kullanım Alanları.....	26
Şekil 1.15.	Atık Mermer Tozu.....	28
Şekil 3.1.	Genleştirilmiş Perlit	33
Şekil 3.2.	Atık Mermer Tozu.....	34
Şekil 3.3.	Çimento	35
Şekil 3.4.	Süper Akışkanlaştırıcı	36
Şekil 3.5.	Hafif Beton Numunelerinin Üretim Şeması	37
Şekil 3.6.	Hafif Beton Hamurunun Hazırlanması	38
Şekil 3.7.	a:Hafif Beton Hamurunun Kalıplara Dökülmesi, b: Numunelerin Kalıp İçinde Bekletilmesi	38
Şekil 3.8.	Numunelerin Kürlenmesi	39
Şekil 3.9.	Katkılı Hafif Beton Numuneleri	39
Şekil 3.10.	Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı	42
Şekil 3.11.	Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı	43
Şekil 4.1.	Numunelerin Porozite Değer Grafiği	45
Şekil 4.2.	Numunelerin Birim Hacim Ağırlık Değer Grafiği	46
Şekil 4.3.	Numunelerin Su Emme (Ağırlıkça) Grafiği	47
Şekil 4.4.	Numunelerin Isı İletim Katsayısı Grafiği	48
Şekil 4.5.	Numunelerin Özgül Isı Kapasitesi Grafiği	49

Şekil 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımı Grafiği	50
Şekil 4.7. Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımı Grafiği	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
cm^3	: Santimetre Küp
$NaOH$: Sodyum Hidroksit
Cu	: Bakır
B	: Bor
Be	: Berilyum
SiO_2	: Silisyum Oksit
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
$CaCO_3$: Kalsit
MPa	: MegaPaskal
W/mK	: Watt/metre kelvin
μ	: Mikron
C_p	: Özgül Isı Kapasitesi

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
LCW	: Hafif Beton
U.S	: Birleşik Devletler
EPA	: Genleştirilmiş Perlit Agregası
MTA	: Maden Tetkik Arama
KEKK	: Kısmi En Küçük Kareler
AŞ	: Anonim Şirketi
MÖ	: Milattan Önce
MS	: Milattan Sonra
MWS	: Atık Mermer Tozu
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Derneği
SF	: Silis Dumanı
UPV	: Ultrasonik Darbe Hızı
EP	: Genleştirilmiş Perlit
TS	: Türk Standartları
REF	: Referans
PHB	: Perlit Katkılı Hafif Beton
ACI	: Amerika Beton Enstitüsü

1. GİRİŞ

Antik çağlardan beri, insan hafif ve ısı yalıtımı sağlayan malzemelere büyük ilgi göstermiştir (Jssem ve Fawzi, 2024). İlk başlarda sazlıklardan, yapraklardan hatta hayvan kemik ve derilerinden yapılar inşa ederek barınma sorununu çözmeye başlamışlardır. Zamanla bir duvarcı ustasının çimentoyu keşfinden sonra yapılarda beton kullanımı artmıştır. İhtiyaçların farklılaşması ve teknolojik gelişmeler sonucunda farklı beton arayışına gidilmiştir. Bu beton çeşitlerinden biri de hafif betonlardır (Hnaihen, 2020).

Hafif betonlar, beton teknolojisinin modern bir başarısı olarak düşünülmemektedir. Çünkü antik çağlardan beri bilinmekte ve temelde günümüz betonunun öncüsü olarak kabul edilmektedir (Thienel ve ark., 2020). Hafif betonun ilk Avrupa referansları iki bin yıl önce erken Roma İmparatorluğu döneminde inşa edilmiştir. İtalya, Roma'daki Pantheon yaklaşık MS 128'de inşa edilmiş ve en iyi bilinen örneklerden biri olarak gösterilmiştir (Lamprecht, 1996).

Hafif beton, bir dizi teknik, ekonomik ve çevreyi iyileştirici ve koruyucu avantaj sunan ve yeni bin yılda inşaat için baskın bir malzeme olmaya aday olan çok yönlü bir inşaat malzemesidir (Al-Khaiat ve Haque, 1999; Haque ve Al-Khaiat, 1999; Kayali ve Haque, 1999; Alduaij ve ark., 1999; Haque ve ark., 2004). Hafif beton üretiminde kullanılan agreganın hafif olması öncelikli bir gerekliliktir. Kullanılan agrega tipleri doğal, yapay ve organik hafif agregalar olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Doğal, volkanik agregaların düşük bulunabilirliği ve değişkenliği nedeniyle hafif betonun kullanımı sınırlı kalmıştır. 19. ve 20. yüzyıllarda endüstriyel olarak üretilen hafif agregaların geliştirilmesi ve üretimi, malzeme teknolojisi için tarihi bir dönüm noktası olmuştur (Chandra ve Berntsson, 2002).

Hafif beton agregalarının tedarikinden dolayı hafif beton üretimi maliyet açısından normal ağırlıktaki betondan daha yüksek olabilmektedir. Bu durumlarda ülkede bulunan doğal kaynakların değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilen ve ülke sınırları içerisinde oldukça yoğun bir şekilde bulunan agregalardan biri de perlittir. Hem doğal perlit hem de geliştirilmiş perlit hafif agregalar sınıfına girmekte ve hafif beton üretiminde kullanılma potansiyeline sahip olmaktadır (Topal, 2023).

ABD'deki Perlit Enstitüsü'nün listelediği gibi, perlitin kullanım alanları son 50 yılda artmaktadır ve bunlardan biri de hafif betondur (LWC) üretimidir (Perlit Enstitüsü, 2024).

Ülkemiz, dünya perlit rezervlerinin %75'ine sahip olmasına rağmen, bu malzeme etkin bir şekilde kullanılamamaktadır. Bunun için perlitin her alanda kullanımı için araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar başta inşaat sektörü (Al-Daraji ve ark., 2024; Qasim ve ark., 2024; Abdelaal ve ark., 2024; Jaworska ve ark., 2024; Birawidha ve ark., 2024; Shenoy ve ark., 2024) olmak üzere her alanda ivme kazanmıştır.

İnşaat sektöründe doğal perlit, tamamlayıcı çimento lu malzeme formunda bağlayıcı olarak kullanılabilmekte, ayrıca beton üretiminde çimento oranlarını düşürme olanağı da sunmaktadır (Uzal ve ark., 2007). Perlit malzemesinin kimyasal yapısına göre beton yapı elemanlarında perlitin farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Malzeme düzeyinde yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda, perlit malzemesinin doğal yapısından kaynaklanan soğuk, sıcak, nem, donma ve asitlere karşı dayanıklı olduğu belirlenmiştir (Eser, 2014). Bu özellikler yapıların dış koşullarla temasında avantajlar sağlamaktadır.

Perlit malzemesinin kullanımıyla dış koşullara dayanıklı, ses ve ısı yalıtımı açısından avantajlar sağlayan LWC üretmek mümkündür (Ahmad ve Al-Hadhrami, 2009). Bu şekilde betonarme karkas yapıların dolgu duvarları için perlit malzemeli hafif beton blokları üretilmektedir (İbrahim ve ark., 2020).

Doğal perlit agregası kullanılarak elde edilen hafif betonun dayanıklılığı üzerine yapılan önceki çalışmalar, bu malzemenin dayanıklılık açısından ciddi avantajlar sunduğunu ve perlit malzemesinin kimyasal yapısı nedeniyle bu bağlamda olumlu etkiler yaratacağını göstermektedir (Topal, 2023). Bunun yanı sıra endüstriyel katı atıkların geri dönüşümü, son zamanlarda dünya çapında ekolojik ve ekonomik kısıtlamaları ele almanın önemli ve etkili bir yolu haline gelmiştir (Kherbache ve ark., 2016; Vardhan ve ark., 2019; Kattan ve ark., 2020; Saleh ve ark., 2021). Bilindiği üzere, katı atıklar, insan ırkının son on yılda karşı karşıya kaldığı kaçınılmaz bir sorun olarak kabul edilmektedir (Chaid ve ark., 2011).

Son zamanlarda yapılan çok sayıda araştırma, bu sorunun temel çözümlerinin, öncelikle üretim/tüketim oranı arasındaki açığı kapatmak ve ikinci olarak çevreyi korumak için bu atıkları geri dönüştürmek olduğunu göstermektedir (Benjeddou, 2023). Birçok yerel ve uluslararası düzenleme, olumsuz etkilerini en aza indirmek için atık geri dönüşümü ve depolama yöntemlerinin incelenmesi ihtiyacını vurgulamıştır. Yazarlar tarafından yapılan literatür incelemesi, birçok araştırmanın daha fazla çevresel verimliliğe ulaşmak ve uygulanabilir malzemeler elde etmek için katı atıklara odaklandığını ve ayrıca bunları üretken bir şekilde kullanmak için çözümlerin tartışıldığını göstermektedir. Yapı

malzemelerinin üretkenliğinde çevre dostu, düşük maliyetli ve tehlikeli malzemelerin kullanımının popülaritesindeki büyük artış, çevreyi kullanarak, malzemeleri koruyarak ve çimento ve beton özelliklerine göre kabul edilebilir sınırlar içinde gereklilikleri doğrularak bunu büyük ölçekte nasıl başaracağımıza dair derinlemesine bir araştırma yapılması ihtiyacını doğurmuştur (Kumaraswamy, 2021). Birçok atık malzemenin, inşaat malzemelerinde bağlayıcı, dolgu maddesi, takviye maddesi olarak ek olarak potansiyel kullanıma sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıntılı olarak incelenen katı atıklardan biri, mermer endüstrisinden açığa çıkan mermer atıklarıdır. Mermer atıklarının geri dönüşümü, mühendislerin keşfetmesi ve kullanması için potansiyel bir alandır. Bunun nedeni biriken atık hacmi dünya çapında yılda yaklaşık 200 milyon ton olmasıdır (Abdelzاهر, 2020). Mermer atıklarının yeniden kullanılmasının ana yöntemi, doğal agregaların veya tamamlayıcı çimentolu malzemenin yerine betona dahil edilmesidir (Tantawy ve ark., 2013; Lasfar ve ark., 2015).

Çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen sonuçlar, farklı yaşlarda çimento/betonun basınç dayanımında bir artış olduğunu göstermektedir. Ek olarak, diğer sonuçlar, mermer agregasının betona dahil edilmesinin işlenebilirliğinde ve dayanıklılığında önemli bir azalma geliştirdiğini göstermektedir (Benjeddou, 2023). Ek olarak, mermer tozunun eklenmesi/değiştirilmesi, çimentolu matrisle hidrolik katkı maddeleri olarak eklendiğinde betonun veya kendiliğinden yerleşen betonun dayanıklılığını önemli ölçüde artırır (Ulubey ve ark., 2016). Alternatif olarak, birkaç araştırma, yalıtkan hafif beton (Jedidi ve ark., 2015) ve yangına dayanıklı beton (Alyousef ve ark., 2019) elde etmek için granüler bir matrisle ortak agrega kullanmanın verimliliğini göstermektedir.

Çok az sayıda şirket mermer atıklarını geri dönüştürdüğü ve bunun da belirli bir amaç için olduğu görülmüştür. Mermer atıklarının yönetimi için entegre ve sürdürülebilir çözümlerin geliştirilmesi, mineraller ve cevherler gibi maddi kaynakların korunması için zorunludur (Bakshi ve ark., 2020; Bakshi ve ark., 2021; Khan ve ark., 2021).

Tüm bunlar göz önüne alınarak, inşaat malzemesi geliştirme amacıyla geliştirilmiş perlit ve atık mermer tozu kullanılmasının günümüzün ihtiyacı olduğu düşünülmüş ve tez çalışması bu bağlamda tasarlanmıştır.

Tezin Amacı;

Endüstriyel üretimin zararları olarak görülen atıklar, çevre ve dolaylı olarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu zararları minimize etmek için

atıkların farklı sektörlerde kullanılması önerilmektedir. Bu tez çalışmasında endüstriyel atık olan atık mermer tozu ve doğal kaynaklardan olan perlitin hafif beton üzerindeki etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda farklı oranlarda perlit atık mermer tozuyla yer değiştirilerek birim hacim ağırlığı düşük ısı yalıtım özelliğine sahip hafif beton üretimi amaçlanmıştır.

Tezin Önemi;

Bu tez çalışması tamamlanması aşağıda verilen gerekçeler nedeniyle oldukça önem arz etmektedir. Tez çalışmasının tamamlanmasıyla;

- ✓ Birim hacim ağırlığı düşük taşıyıcı hafif beton üretimi gerçekleşecektir.
- ✓ Birim hacim ağırlığının düşük olması bina ölü yükünü azaltacaktır.
- ✓ Bina ölü yükünün azalması, deprem anında yapıda meydana gelebilecek hasarları azaltacaktır.
- ✓ Gözenekli bir malzeme oluşacağından ısı iletim katsayısı düşecektir.
- ✓ Isı yalıtım özelliği iyileştirilmiş hafif betonla inşa edilen yapının yapı içi konfor şartları iyileşecektir.
- ✓ Yalıtımlı bir yapı elde edileceğinden ısıtma ve soğutma maliyetleri azalacaktır.
- ✓ Enerji konusunda dışa bağımlı olan ülkemizde, yalıtımlı yapıların oluşturulması ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.
- ✓ Isı yalıtım özelliği iyileştirilmiş hafif betonla üretilen yapılara sahip kullanıcıların yalıtım için yapacakları masraflar azalacak bu durum aile bütçesine katkı sağlayacaktır.
- ✓ Atıkların ve doğal kaynakların inşaat sektöründe kullanımı sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm açısından oldukça faydalı olacaktır.
- ✓ Atıkların hafif beton üretiminde kullanımı çevre kirliliğini önlemeye yardımcı olacaktır.

Tezin Kapsamı;

Tezde kullanılan atık mermer tozu Kırşehir, geliştirilmiş perlit ise Erzincan il sınırları içerisinde alınmış ve kullanılan malzemelerin kapsamı sınırlandırılmıştır.

Tez 5 bölüme ayrılmıştır. Birinci bölüm tezin giriş bölümüdür. Bu bölümde, tezin amacı, önemi ve kapsamı açıklanmıştır. Bunun yanı sıra perlit/genleştirilmiş perlit ve mermer/atık mermer tozukapsamlı bir şekilde verilmiştir.

İkinci bölümde konu ile ilişkili kapsamlı bir literatür taraması sunulmuştur. Bu bölümde makale, bildiri, kitap, kitap bölümü vb. tüm çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve özetlenmiştir.

Üçüncü bölümün materyal kısmında tez çalışmasında kullanılacak olan materyaller tanıtılmıştır. Yöntem kısmında ise hafif beton numuneleri üretilmiş ve uygulanacak deneylerden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde deneyler sonucunda elde edilen veriler grafik yardımıyla anlatılmış ve literatürde yer alan diğer çalışmalarla kıyaslanarak tartışılmıştır.

Beşinci ve son bölümde çalışmanın tamamlanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiş, sonrasında yapılacak akademik ya da diğer çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

1.1. Perlit ve Genleştirilmiş Perlit

"Perlit" ismi "perlstein" kelimesinden türetilmiş ve kırık incilere benzeyen çok sayıda eş merkezli çatlaklara sahip camsı kayalar anlamına gelmektedir (Doğan ve Alkan, 2004). Perlit, viskozitesi yüksek olan magmanın ekstrüzyon ile belirli bölgelerde blok formunda lav kubbeleri tipinde doğal bir şekilde meydana gelmektedir. Perlitin ağırlıkça %2-5 oranında total su içermesi, ışıltılı bir yüzeye sahip olması ve soğuma anında meydana gelen çatlakların soğan kabuğu formunda olmasıyla %2-5 yapısında natural su bulduran diğer camlardan ayrılmaktadır (Gür, 2023).

Perlitin petrolojik olarak, soğutma işlemine karşı gerilme davranışı gösteren ve kırılmanın "soğan" yapısına yol açan volkanik bir cam şeklinde tanımlanmaktadır (Mercan, 2021). Bu form aynı zamanda perlitik yapı olarak da bilinmektedir (Otis, 1960). Esas olarak SiO_2 ve Al_2O_3 'ten ve daha az miktarda çeşitli metal oksitlerden oluşan camsı bir volkanik kayadır (Alkan ve Doğan, 2001). Kimyasal olarak, metastabil amorf alüminyum silikat olarak adlandırılmaktadır (Mercan, 2021).

Perlit, ısıya maruz kaldığında genleşme özelliğine sahip, genleştiğinde ise boşluklu ve oldukça hafif bir yapıya sahip olmaktadır. Yumuşama sıcaklıklarında (700-1200 C°) öğütülmüş, yeniden boyutlandırılmış ve genişletilmiş perlitler genleştirilmiş perlit olarak bilinmektedir (Otis, 1960). Perlit 400 °C'ye kadar sıcaklığa maruz bırakıldığında, bünyesindeki suyun yaklaşık %80-90'ı buharlaşarak bünyeyi terk etmektedir. Geride kalan %2-5'lik kısım ise yumuşama sıcaklığına ısıtılırken genişlemesini sağlamaktadır (Mercan, 2021). Perlit tanelerindeki su, 700-1200° sıcaklıklara ulaştığında buharlaşmakta ve başlangıç boyutununun 15-20 katına kadar bir

hacme genişlemektedir (Taherishargh ve ark., 2014; Shastri ve Kim, 2014; Arifuzzaman ve Kim, 2014; U.S. Geological Survey, 2015). Perlitin geniştirilmesinde önemli 4 parametre bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Perlitin cinsi,
- ✓ Perlitin tane boyutu
- ✓ Isınma süresi
- ✓ Genleşme sıcaklığıdır (Çelik, 2018).

Şekil 1.1’de ham perlit ve geniştirilmiş perlitin görüntüsü verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ham perlitin rengi grimsi, geniştirilmiş perlitin rengi ise beyazdır. Ayrıca ham perlitin tane boyutu geniştirilmiş perlite göre oldukça küçüktür.



Şekil 1.1. a; Ham perlit, b; Genleştirilmiş perlit (URL 2)

1.1.1. Genleştirilmiş perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Doğada renk ve yapı bakımından farklılık gösteren perlit çeşitleri bulunmaktadır. Ham perlitin rengi şeffaf ve açık gri ile parlak siyah arasındaki renk skalasındadır. Yüksek sıcaklıklarda genleşme özelliğine sahip olan perlit, geniştikten sonra hafif ve gözenekli bir yapıya sahip olmaktadır. Bir anda yaklaşık 1000 °C sıcaklığa çıkarıldığında perlitin hacmi neredeyse 30 kat artmaktadır. Bu haliyle perlit, geniştirilmiş perlit olarak adlandırılmaktadır. 1.1 g/cm³ olan perlit yoğunluğu, genleşme olayı ile 0.03-0.150 g/cm³'e düşmektedir (Doğan ve Alkan, 2004; Yiğit, 2023; Gür, 2023). Hafif bir malzeme olan geniştirilmiş perlitin ağırlığı 80-240 kg/m³'dür. Normal betonun basınç dayanımı, geniştirilmiş perlit agregalı üretilen betonların basınç dayanımından 10 kat daha fazladır. Bu durum sadece geniştirilmiş perlit agregası ile taşıyıcı beton üretilmeyeceği anlamına gelmektedir. Genleştirilmiş perlitin ağırlıkça su emme oranının %10-30 arasında

değişmektedir (Yiğit, 2023). Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri Tablo 1.1’de verilmiştir (Gündüz ve ark., 2006; Topçu ve Işıklıdağ, 2008; Bulgurcu, 2009; Tian ve ark., 2013; TCKB, 2016; Rashad, 2016; Çelik, 2018; Mercan, 2021).

Tablo 1.1. Genleştirilmiş perlitin fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Renk	Beyaz
Genleştirilmiş perlit parlaklığı	%78
Kırılma endeksi	1.5
pH	6.5-8.0
Serbest nem (max)	%0.5
Özgül ağırlık	2.2-2.4 g/cm ³
Hacimsel yoğunluk	32-400 kg/m ³
Elek numarası	4-8 numaralı ya da daha düşük elek
Ağ boyutu mevcut	4-8 gözenekli ya da daha ince
Yumuşama noktası	871-1093 °C
Erime noktası	1260-1343 °C
Özgül ısı	837 J/kg.K
24 °C’deki ısı iletkenlik	0.04-0.06 W/mK
Sertlik (Mohs ölçeği)	5-5.5
Kuru birim hacim ağırlık	40-220 kg/m ³
Su emme	%40-60
Doluluk oranı	%1.80-9.60
Gerçek porozite	%98.2-90.4
Zararlı madde analizi	Yok
Kükürt analizi	%0.34
Ateşe dayanım	Yanmaz
Ateşi geciktirme	3 saat
Ses geçiş katsayısı	0.25
Ses yutuculuk	35-40 dB
Çözünürlük	-Sıcak konsantre alkali ve HF ile çözünür -IN NaOH içinde orta derecede çözünür (<%10) -Mineral asitlerde az çözünür (<%3) -Suda az çözünür (<%1) ya da zayıf asitler

Genişletilmiş perlit agregası, hücreli yapı içindeki ışığın yansıtıcılığına bağlı olarak parlak griden kar beyazına kadar değişen bir renge sahiptir (Singh ve Garg, 1991). Gözenekli, hafif, kimyasal olarak inert, yangına dayanıklı, termal ve ses yalıtım özelliklerine sahip bir malzemedir. Bu malzemenin fiziksel özellikleri, bu başlıklarla olan ilişkisine bağlı olarak incelenecektir (Mercan, 2021).

❖ Gözeneklilik

Gözeneklilik, boşluk hacminin malzemenin kütlelerinin toplam hacmine oranıdır. Genleştirilmiş perlit agregası (EPA), aşırı gözenekli (%85-95) köpüksü bir forma sahiptir

(Taherishargh ve ark., 2014). Gözenekli yapı, EPA'ya yüksek hacimsel ve yüzeysel emilim kapasitesi sağlamak ve EPA'nın toprağın havalandırılması ve drenajı, gübre taşıyıcısı, gübrede koku yakalama veya nem tutma (Afshari ve ark., 2011) için uygulanmasını sağlamaktadır. Volkanik kayalardaki veziküler doku, kayanın katılaşması sırasında gaz kabarcıklarının genişlemesiyle oluşan boşluklardır (Zou ve ark., 2013). Bununla birlikte, gözenek boyutu kullanılan malzemenin uygulamasını belirlemektedir.

Malzeme biliminde, çeşitli uygulamalar geniş bir yüzey alanını kullanmak için yüksek gözenekli malzemeler kullanma eğilimindedir. Bu nedenle, gözeneklilik, gözenek boyutu ve gözenek geometrisi malzemelerin doğasını belirlemektedir (Mercan, 2021).

Genleştirilmiş perlitin hücreli yapısı ve kapalı hücreleri, perlit takviyeli malzemenin hücreli yapısının daha uzun hizmet ömrü için korunmasını sağlayan kademeli kırma özellikleri sağlamaktadır. Tersine, yüksek gözeneklilik seviyeleri malzemenin mekanik mukavemetini azaltmaktadır (Haery, 2017).

❖ Yoğunluk

Normal ağırlıktaki agregalarla karşılaştırıldığında, hafif agregalar gözenekli yapılarına bağlı olarak daha hafiftirler. Genleştirilmiş perlitin özgül ağırlığı ve yoğunluğu gözenek dağılımına, gözenek boyutlarına ve genişleme oranına göre değişmektedir (Mercan, 2021). Düşük yoğunluk, genleştirilmiş perlitin boşluk duvarlarındaki gevşek dolgu yalıtımında, çekirdeklerin doldurulmasında, duvar bloklarının hava deliklerinde, hafif betonlarda ve sıvalarda uygulanmasına olanak tanımaktadır. Yüksek binaların birim ağırlığını azaltarak depremlerin yıkıcı etkilerini azaltmaya yardımcı olmaktadır (Ahmed, 2015).

❖ Su Emilimi

Genleştirilmiş perlit agregası, su moleküllerinin gözeneklerden hızla buharlaşmasına izin veren ve küçük bir genişleme derecesinin meydana geldiği düzgün dağılmış bir mikroveziküler dokuya sahiptir (Haery, 2017). Öte yandan, genleştirilmiş perlitin gözeneklerine su dahil edilmesi ısı iletkenliğinin artmasına, dolayısıyla istenmeyen ısı yalıtım özelliklerine neden olmaktadır (Topçu ve Işıkdag, 2007). Bu nedenle, su emme kapasitesi testi, yapının uygunluğunu analiz etmek için malzeme için önemlidir ve bu kapasite, levhaların açık gözenekliliği hakkında bilgi vermektedir.

❖ Akustik ve Isı Yalıtım Özellikleri

Morfolojik olarak, kapalı gözenekli malzemeler genellikle ısı ve ses yalıtımı amaçları için kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit, kapalı gözenekli bir malzeme olarak sınıflandırılmaktadır. Düşük ısı iletkenliğine ve yüksek ses emme performansına sahiptir. Ayrıca, yüzeyinde ses emilimi için boşluk rezonans yapısı sağlayan bağlantısız açık gözenekler bulunmaktadır. Bu nedenle, genleştirilmiş perlit, ses yalıtımını ve ısıl davranışı artırmak için çimento ve alçı gibi bağlayıcıların diğer yalıtım malzemeleriyle karıştırıldığı harç veya sıva gibi çeşitli formlarda kullanılmaktadır. Genleştirilmiş perlit levha ürünlerinin ısıl direnci ve ısıl iletkenliği TS EN 12667 veya TS 415 EN 12939 standartlarına uygun olarak belirlenmektedir (Mercan, 2021).

❖ Kimyasal İnerlik

Genişletilmiş perlit agregası, kimyasal kararlılığına bağlı olarak kimyasal reaksiyonlara katılmaz ve kimyasal reaktiflere maruz kaldıktan sonra orijinal özelliklerini korumaktadır. Zayıf asitlerde hafifçe ve NaOH'de orta derecede çözünmektedir. Bu nedenle, nem geciktiriciliğe ihtiyaç duyan veya uzun süreler boyunca kimyasal, bakteriyel ortama maruz kalan uygulamalarda kullanılmaktadır (Roulia ve ark., 2003).

❖ Yangına Dayanıklılık

Genleştirilmiş perlit, moleküllerine iyonik bağ ile sıkı bağlanmış atomlar içeren inorganik bir bileşiktir. Bu nedenle, bu inorganik malzeme oksijen varlığında tutuşamaz; bu nedenle yanmazdır. Genleştirilmiş perlit sıcaklıklar altında yok olmaz; yumuşama noktası, diğer yapı elemanlarını hızla artan sıcaklıklarda arızadan korumak için de kullanılmaktadır. Örneğin, genleştirilmiş perlit püskürtülen yangın koruma kaplamaları ve sıvalar için kompozit veya agrega dolgu maddesi olarak kullanılmakta ve yapısal çeliğin yangın koşullarından yalıtımını sağlamaktadır. Bu nedenle, inorganik yapısı yapı malzemesi olarak kullanılmak üzere organik malzemelerden daha uygundur (Kusiorowski ve ark., 2019; Mercan, 2021).

Tablo 1.2'de genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşenleri yüzde olarak verilmiştir. (TCKB, 2016; Turp, 2018; Yiğit, 2023). Tablo incelendiğinde, genleştirilmiş perlit bünyesinde ağır metallerin bulunmadığı görülmüştür. Yapısında %70 den fazla Silisyum oksit bulunması genleştirilmiş perlitin puzolanik özellikte olduğu anlamını taşımaktadır. Bunun yanı sıra genleştirilmiş perlit içerisinde eser miktarda NiO, Cu, B ve Be elementlerinin olduğu görülmüştür.

Tablo 1.2. Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşenleri

Bileşen	Değer (%)
SiO ₂	71-75
Al ₂ O ₃	12.5-18
Na ₂ O	2.9-4.0
K ₂ O	4.0-5.0
CaO	0.2-0.5
Fe ₂ O ₃	0.1-1.5
MgO	0.03-0.5
TiO ₂	0.03-0.2
H ₂ O	2.0-5.0
MnO ₂	0.0-0.1
SO ₃	0.0-0.2
FeO	0.0-0.1
Cr	0.0-0.1
Ba	0.0-0.05
PbO	0.0-0.03
NiO	Eser
Cu	Eser
B	Eser
Be	Eser
Serbest silis	0.0-0.2

1.1.2. Dünya’da bulunan mevcut perlit rezervleri

2020 yılında U.S Geological Survey’in yapmış olduğu incelemeler baz alınarak hazırlanan dünya perlit üretimi Tablo 1.3’de verilmiştir (U.S Geological Survey, 2020). Tabloda 2018 ve 2019 yılları dikkate alınmıştır. Her iki yılda da en yüksek perlit üretiminin Çin’e ait olduğu görülmüştür. Türkiye 650.000 bin ton ile dünya sıralamasında üçüncü sırada yer almaktadır.

Tablo 1.3. Dünya perlit üretimi (Bin ton)

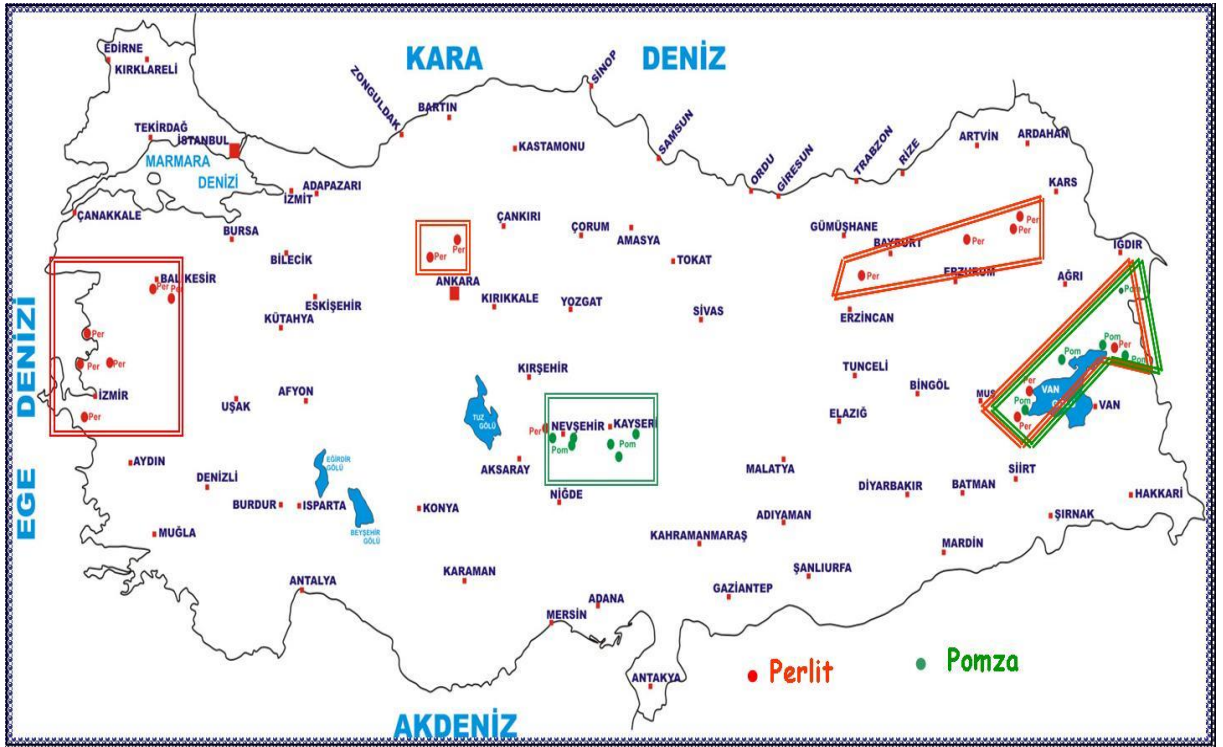
Ülkeler	2018	2019
Türkiye	650.000	650.000
ABD	510.000	520.000
Çin	1.900.000	1.900.000
Yunanistan	750.000	800.000
Macaristan	39.000	40.000
İran	20.000	20.000
Meksika	20.000	20.000
Yeni Zelanda	20.000	20.000
Ermenistan	45.000	45.000
Diğer Ülkeler	50.000	50.000
Toplam	4.020.000	4.100.000

Ana ham maddesi mineral obsidyen olan perlitin bu özelliğinden dolayı dünyanın birçok ülkesinde perlit yataklarına rastlamak mümkündür. Fakat geliştirilmiş perlit üretimi yalnızca fabrikalarda yapıldığı için bu fabrikaların bulunduğu ülkelerde üretilmektedir (Çelik, 2013; Çelik, 2018). Dünyada geliştirilmiş perlit üretiminde ABD, Türkiye ve Yunanistan önde gelen ülkelerdir (Bergama Perlit, 2024).

1.1.3. Türkiye’de mevcut perlit rezervleri

Yeryüzünde var olan perlit rezervlerinin büyük bir bölümü Türkiye sınırları içerisinde yer almaktadır. Kalkınma Bakanlığının 2020 yılı verilerine göre Türkiye sınırları içerisinde 5.7 milyar ton perlit rezervi bulunmaktadır. Türkiye’de bulunan görünür perlit rezervleri 57 Mton’dur. Bu da yeryüzünde bulunan tüm rezervlerin %8’ine denk gelmektedir (Rapor, 2021).

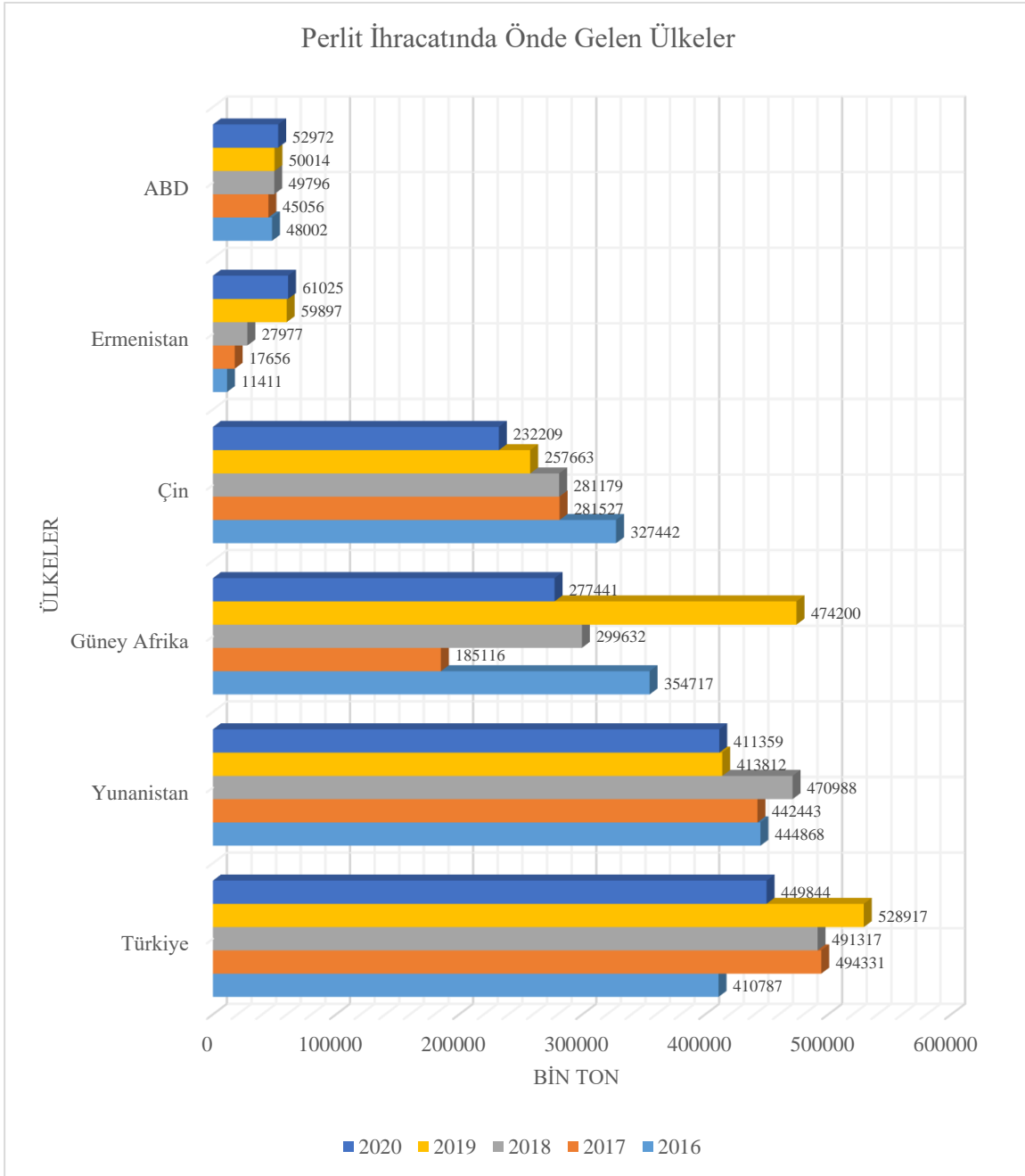
Şekil 1.2’de Türkiye perlit rezervleri haritası verilmiştir. Haritaya göre; kırmızı renkle işaretli alanlar perlit mineralinin yoğunlukta olduğu bölgeleri göstermektedir. Erzincan, Erzurum, Van ve çevre iller, İzmir ve çevresi ve Ankara ili perlit mineralinin yoğun olduğu bölgelerdir (MTA, 2024).



Şekil 1.2. Türkiye’de perlit yatakları haritası (Rapor, 2021)

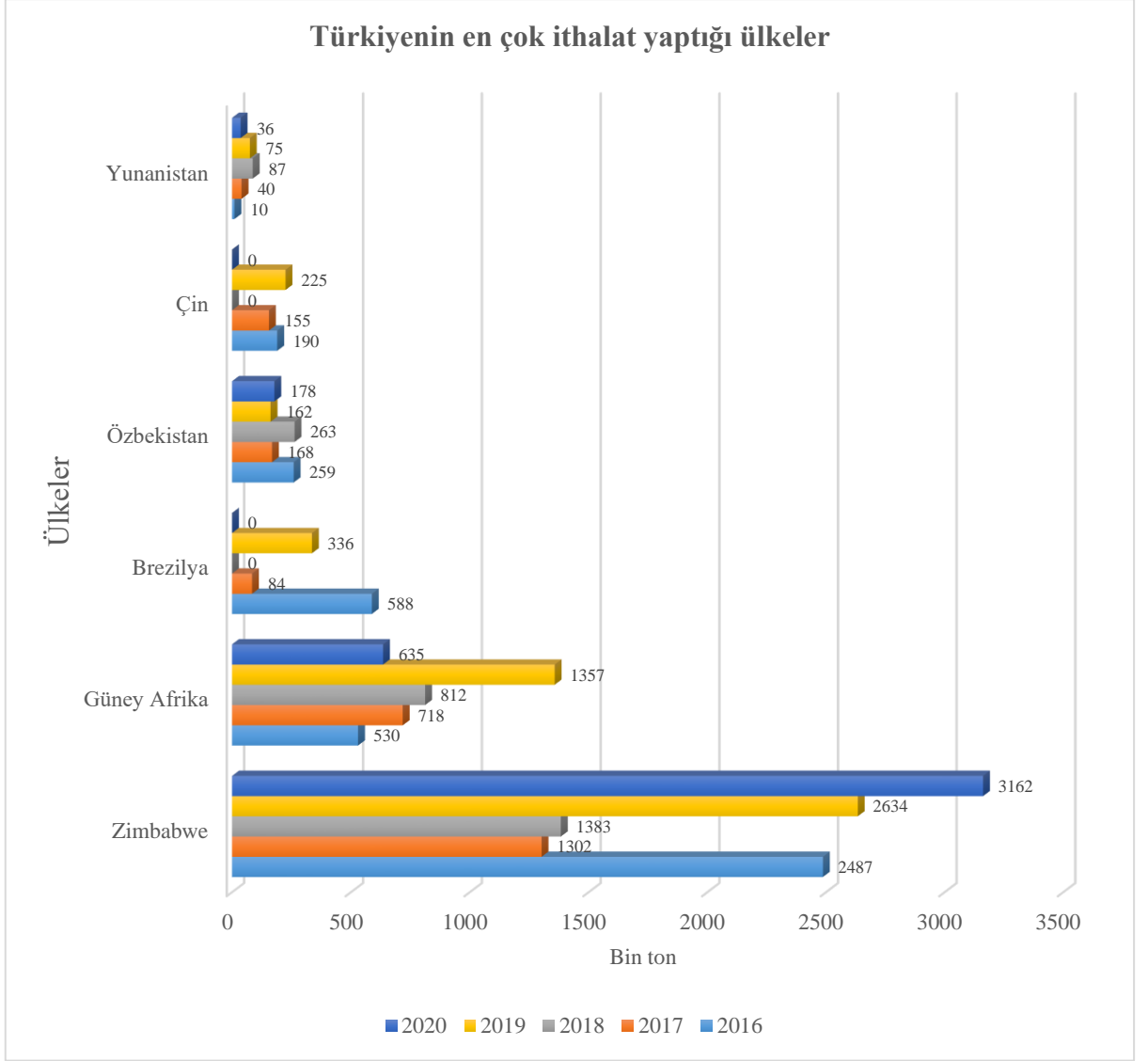
Şekil 1.3’de perlit ihracatında önde gelen ülkeler ve ihracat miktarları verilmiştir. Şekle göre; 2016-2020 yılları arasında yapılan perlit ihracatı incelendiğinde, dünyada yıllık yaklaşık 2.000.000 ton perlit ihracatı yapılmıştır. 2020 yılı baz alındığında en

yüksek ihracat yapan ülkenin Türkiye olduğu görülmektedir. Türkiye'yi Yunanistan ve Güney Afrika takip etmektedir.



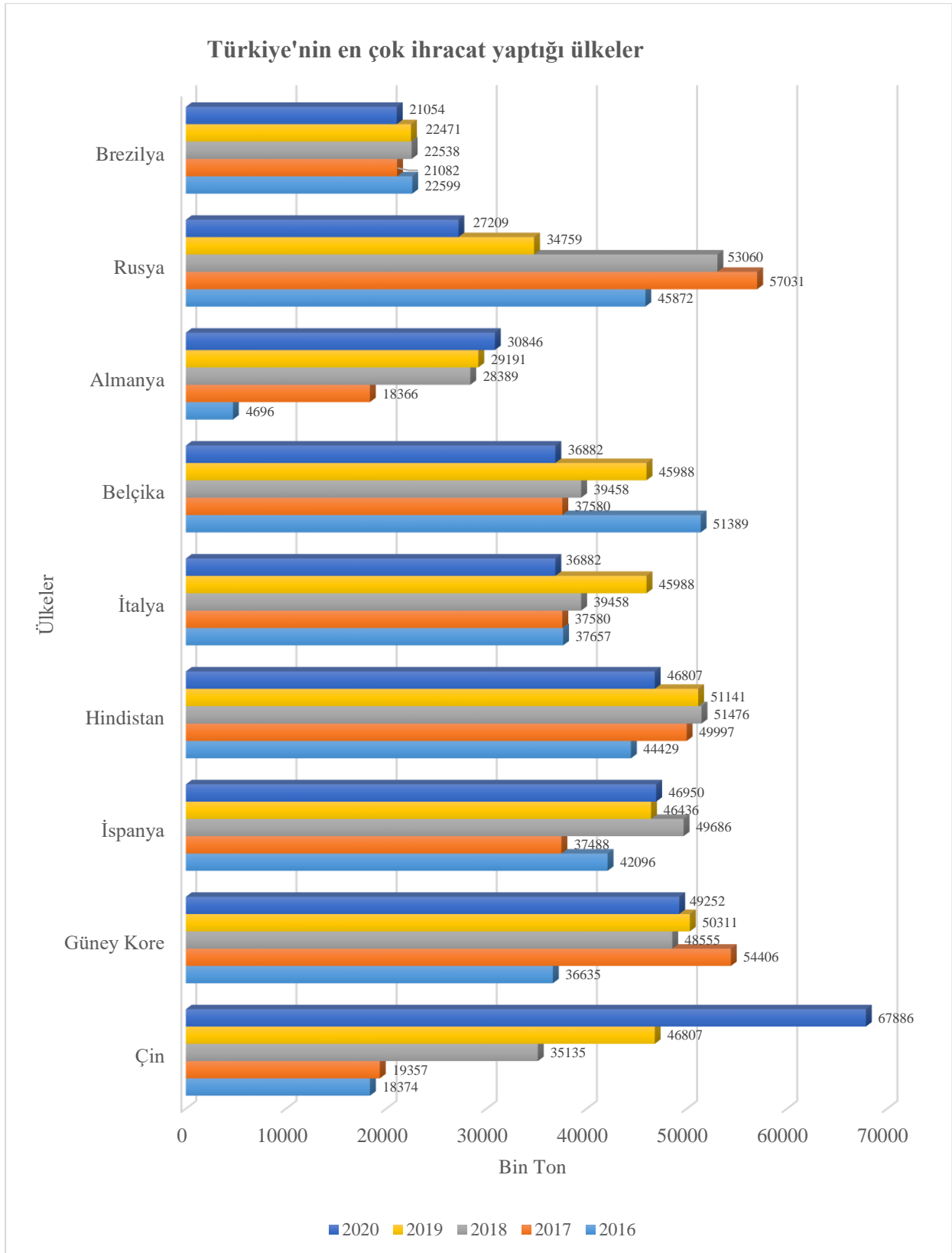
Şekil 1.3. Perlit İhracatında Önde Gelen Ülkeler (Rapor, 2021)

Trade Map, 2021 yılında bir araştırma yapmıştır. Elde ettikleri veriler Şekil 1.4'de verilen grafikte sunulmuştur. Grafiğe göre Türkiye en fazla ithalatı Zimbabwe ile düşük ithalatı ise Yunanistan ile yapmıştır. Dünya da 2016 yılında 4.147, 2017 yılında 2.500, 2018 yılında 2.571, 2019 yılında 4.955, 2020 yılında ise 4.267 bin ton perlit ithal edilmiştir.



Şekil 1.4. Türkiye'nin en fazla ithalat yaptığı ülkeler

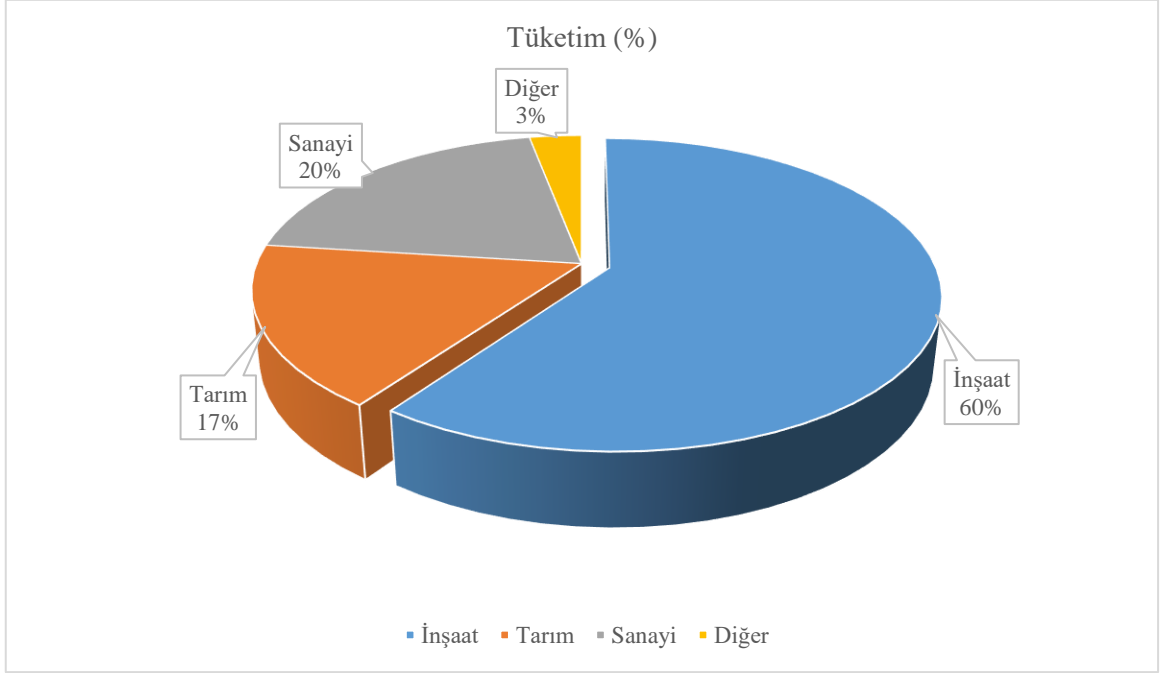
Şekil 1.5'de Trade Map'in, 2021 yılında yaptığı araştırmanın sonucunda Türkiye'nin en çok perlit ihracatı yaptığı ülkelerin bulunduğu grafik verilmiştir. 2016-2020 yılları arasındaki verilerin gösterildiği grafiğe göre, Türkiye en yüksek ihracat miktarını Rusya ile en düşük ihracat miktarını ise Almanya ile yapmıştır. Türkiye toplamda 2016 yılında 410.787, 2017 yılında 494.331, 2018 yılında 491.317, 2019 yılında 528.917, 2020 yılında ise 449.844 bin ton perlit ihracatı yapmıştır. Kısacası Türkiye 2016-2020 yılları arasında 2.375.196 bin ton perlit ihraç etmiştir.



Şekil 1.5. Türkiye'nin en çok ihracat yaptığı ülkeler

1.1.4. Genleştirilmiş perlitin kullanım alanları

Genleştirilmiş perlit inşaat, tarım ve sanayi alanlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Şekil 1.6’da perlitin kullanım alanları ve oranlarının bulunduğu grafik verilmiştir. Grafiğe göre en yüksek oran %60 ile inşaat sektörünüdür. İnşaat sektöründe çok geniş kullanım alanları bulunan perlit genellikle hafif malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Zhao ve ark., 2024; Jiang ve ark., 2024; Yan ve ark., 2024; Balbuena ve ark., 2024; Jia ve ark., 2024).



Şekil 1.6. Perlitin sektörde kullanım oranları (Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret AŞ., 2018)

Şekil 1.7’de perlit ve genleştirilmiş perlitin kullanım alanları ve kullanım şekilleri verilmiştir (Yılmaz, 2005; Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2024). Şekilde de görüldüğü üzere perlit inşaat alanında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. İnşaat alanında genellikle hafif malzeme üretiminde ya da perlitin ısı ve ses yalıtım özelliğinden ötürü yalıtım malzemelerinin üretiminde aktif bir şekilde kullanılmaktadır (U.S. Geological Survey, 2015).



İnşaat Sanayi

- Hafif beton üretimi
- Perlitli sıvalar
- Perlit agregalı hafif yalıtım betonu
- Perlit agregalı hafif yapı elemanı
- Isı ve ses yalıtıcı gevşek dolgu malzemesi
- Isı ve ses yalıtıcı yüzey döşemelerinde
- Özel amaçlı perlit betonunda
- Yalıtım malzemesi üretiminde



Plastik Sanayi

- Plastik köpüklere ve plakalara katkı dolgu maddesi
- Ucuz ve hafif plastik mobilya yapımında dolgu maddesi



Seramik ve Cam Sanayi

- Katkı maddesi



Tarım

- Tarla tarımında
- Bahçe tarımında
- Sera tarımında
- Çim spor alanlarında



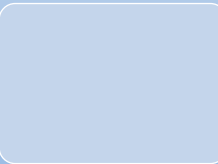
Boya Sanayi

- Boya katkı maddesi



Gıda, İlaç ve Kimya Sanayi

- Yardımcı madde



Diğer

- Gemi dipleri kaplama ve yalıtımı
- Petrol artıklarından veya diğer yağlı atıklardan gelen su kirliliğini önlemede
- Baraj göllerinde, kentlerde, açık su rezervuarlarında buharlaşmayla su kaybı önlemede
- Ambalajlama için dolgu maddesi
- Yangına karşı özellikle çelik konstrüksiyonlarda yalıtım amaçlı

Şekil 1.7. perlit ve genişletilmiş perlitin kullanım alanları

Tüm bunların yanı sıra genleşmiş perlit, kimyasal ve su ürünlerinin, endüstriyel atıkların, ilaçların filtrelenmesinde, petrol sızıntısıyla mücadelede, dokulu boyalarda dolgu maddesi olarak, endüstride gıdaların işlenmesinde filtre yardımcısı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca toprağın havalandırılması ve drenajı için, köklendirme ortamı olarak, gübre taşıyıcı olarak, bahçecilikte hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak da kullanılabilir (Ciullo, 1996; Roulia ve ark., 2003).

Genleştirilmiş perlit, Şekil 1.8’de görüldüğü gibi bir yapının farklı bölümlerinde kullanılmaktadır. Kullanılan birimler rakamlarla gösterilmiştir. Bunlar;

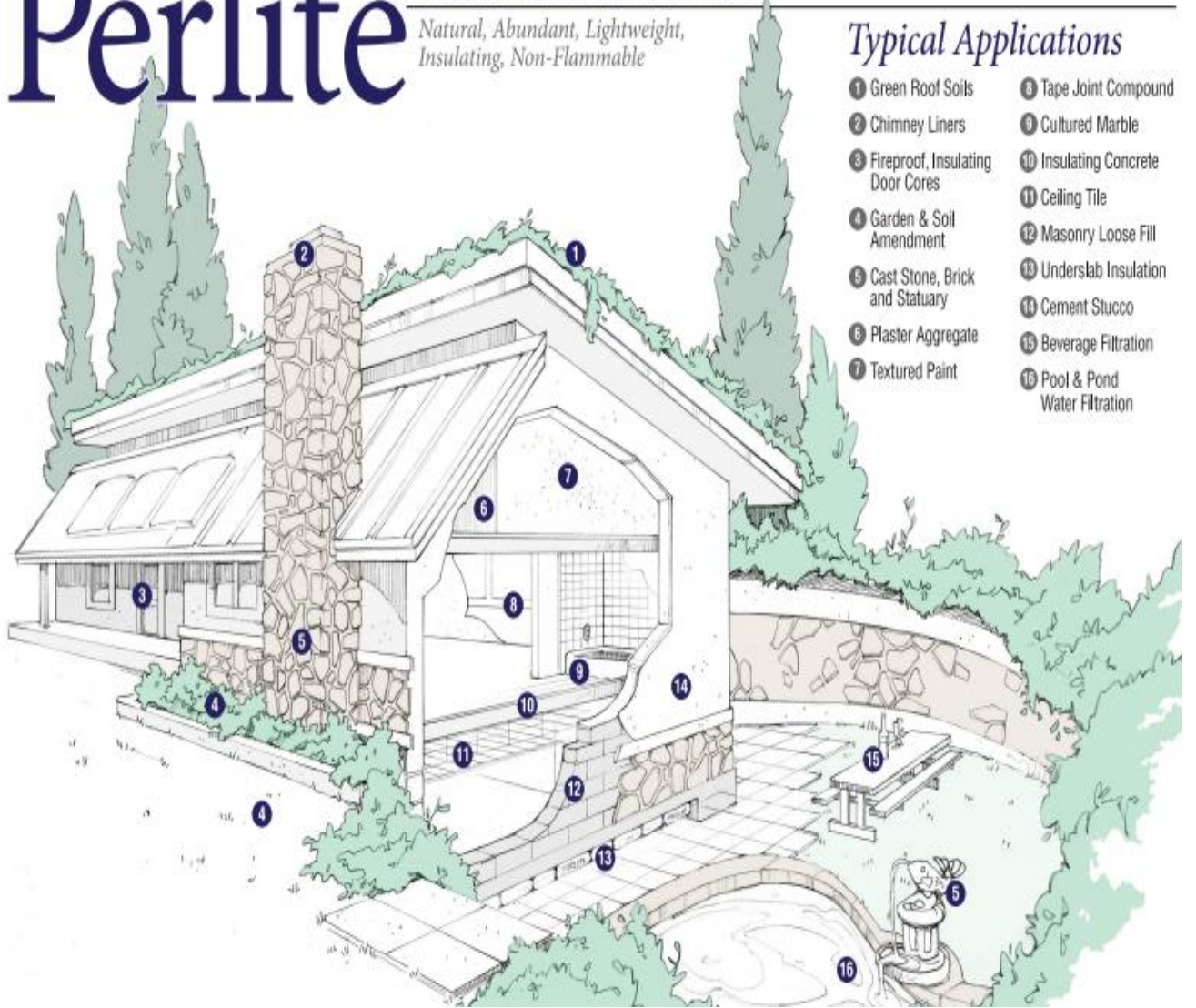
1. Yeşil çatı toprakları,
2. Baca astarları,
3. Yangına dayanıklı izolasyonlu kapı konileri
4. Bahçe ve toprak iyileştirmesi
5. Dökme taş, tuğla ve heykeller
6. Alçı agregası
7. Dokulu boya
8. Bant derz bileşiği
9. Kültürlü mermer
10. Yalıtım betonu
11. Tavan döşemesi
12. Duvarcılıkta gevşek dolgu
13. Alt levha yalıtımı
14. Çimento sıva
15. İçecek filtrasyonu
16. Havuz/gölet su filtrasyonu

Perlite

THE VERSATILE MINERAL
Natural, Abundant, Lightweight,
Insulating, Non-Flammable

Typical Applications

- 1 Green Roof Soils
- 2 Chimney Liners
- 3 Fireproof, Insulating Door Cores
- 4 Garden & Soil Amendment
- 5 Cast Stone, Brick and Statuary
- 6 Plaster Aggregate
- 7 Textured Paint
- 8 Tape Joint Compound
- 9 Cultured Marble
- 10 Insulating Concrete
- 11 Ceiling Tile
- 12 Masonry Loose Fill
- 13 Underslab Insulation
- 14 Cement Stucco
- 15 Beverage Filtration
- 16 Pool & Pond Water Filtration



Şekil 1.8. Perlitin özellikle inşaattaki tipik uygulamaları (www.perlite.org)

Genişletilmiş perlit, ticari uygulamalarda istenen termal ve akustik özellikler, yüksek yüzey alanına sahip düşük hacim yoğunluğu, kimyasal inertlik, yangına dayanıklılık ve su tutma gibi cazip özellikler sunmaktadır (Ennis, 2011; Mercan, 2021).

1.2. Mermer ve Atık Mermer Tozu

1.2.1. Mermer

Mermer, ağırlıklı olarak kalsit ve/veya dolomitten oluşan metamorfik bir kayadır (Başer, 2009). Şekil 1.9’da görüntüsü verilen mermer, metamorfik kireç taşı (yani hidrotermal koşullar altında tamamen yeniden kristalleşmiş ve sertleştirilmiş kireç taşı) olarak düşünülmektedir (Oates, 1998). Genellikle kireçtaşlarının basınç ve su

yardımıyla başkalaşıma uğraması ve yeniden kristalleşmesiyle oluşur (Johnson ve ark., 2017).



Şekil 1.9. Mermer

Kireçli tortul kayaçların ana bileşeni olan kalsitin (CaCO_3) kristal yapısı, metamorfik süreçler sonucunda değişmektedir. Kalsit metamorfik kayacı, Mohs sertlik skalasına göre yaklaşık 3 sertliğe ve $2,7 \text{ g/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip olup, büyük kristalin bir yapıda parlak ve şeffaf bir görünüme sahiptir. (Tunç, 2021).

Mermer ocaklarında çıkarılan bloklardan levhalar halinde kesilebilen, cilalanabilen, göze hoş gelen ve yaşam alanlarında kullanılmaya uygun bir mukavemete sahip her türlü kayaç mermer olarak sınıflandırılır (Kavas ve Kibici, 2001).

İnsanlık, sayısız nesil boyunca mermerin güzelliğini beslemiş, sarayları, camileri ve bir dizi görkemli yapıyı süslemek ve güzelleştirmek için kullanmıştır (Shokshok, 2024). Mermerin göz alıcı ve canlı renkleri, bulunduğu her alana benzersiz bir estetik çekicilik katmaktadır. Zamanla mermere olan talep artmış ve dünya çapındaki evlerde arzu edilir hale gelmiştir. Bu popülerlik artışı, mermer endüstrilerinin ilerlemesini teşvik ederek, daha yüksek kalite ve uzun ömür sergileyen üstün çeşitlerin ve yenilikçi şekillerin geliştirilmesine yol açmıştır. Sonuç olarak, bu rafine mermer ürünleri, kırılma veya parçalanma riski olmadan uzun süre kullanılabilmelerini sağlayarak uzun süreli dayanıklılık sunmaktadır (Olbak, 2016).

1.2.2. Mermerin tarihçesi

Mermer, insanların tarihin en eski zamanlarından beri kullandığı değerli bir süs taşıdır. Mermer ocağı ve işleme endüstrisi, dünyanın en eski endüstrilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Kandil ve Selim, 2011).

İnsanlar ilk çağlardan beri binalarında, evlerinde ve yaşadıkları diğer yerlerde doğal taş kullanmışlardır. Yaşam standartlarının yükselmesiyle birlikte insanlar güzel görünümü ve dayanıklılığı nedeniyle mermer kullanmaya yönelmiştir (Garcia ve ark., 2009).

Mermer, yıllar boyunca insanlar arasında zenginlik ve refahın simgesi olmuştur. En eski yapı malzemelerinden biri olmasının yanı sıra son iki yüzyıldan fazla bir süredir yapılarda en çok kullanılan ürünlerden biridir. Kısacası mermer, mezarlarda, saraylarda, kalelerde, duvarlarda, açık hava tiyatrolarında, mücevherlerde, süs eşyalarında, piramitlerde, tapınaklarda ve diğer birçok antik yerde kullanılmıştır. Ayrıca mermer, tapınaklarda “Tanrılara Adanma”, dünyanın yedi harikasından biri olan piramitlerde “Ölümsüzlük”, Tac Mahal’de “Aşk”, Selimiye Camii’nde “İhtişam ve Görkem” ve Çin Seddi’nde “Korku” anlamına gelmiştir.

Günümüzde mermer, dünyada inşaat sektöründe en çok ticareti yapılan malzemelerden biridir. Mermer, ilkel çağda insanların günlük eşya veya silah yapımında en çok kullandığı malzemelerden biriydi ve günümüze hiçbir dönüşüm geçirmeden ulaştı. Zamanla insanlar mermeri farklı alanlarda kullanmaya başlamış ve estetik yapısı sayesinde tüm dünyaya yayılmıştır. Anadolu’nun doğal taş rezervleri bakımından zenginliğinden birçok medeniyet faydalanmıştır. Anadolu’da Hititler, Frigler ve İyonlar gibi bazı medeniyetler saraylarında, tapınaklarında ve heykellerinde mermer kullanmışlardır. Ancak mermer en çok Helenistik ve Roma İmparatorluğu dönemlerinde yaygındı. Sanatsal kullanım açısından mermer, MÖ 1600’lü yıllarda Yasemek’te (Gaziantep) görülmeye başlandı. Mermerin sanatsal kullanımı, Arkaik Dönem’de (MÖ 1550-470) Efes’te, Helenistik Dönem’de (MÖ 300-30) Bergama’da ve Roma İmparatorluğu Dönemi’nde (MÖ 30-MS 395) Afrodisias’ta mermer okullarının kurulmasından sonra büyük gelişme gösterdi. Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu dönemlerinde mermer camilerde, hanlarda, saraylarda ve hamamlarda sıklıkla kullanılmıştır (Duman, 2023).

1.2.3. Mermer rezervleri

Doğanın bağısladığı doğal taş bolluğu, bazı ülkelere doğal taş rezervinde avantajlı bir konum kazandırmaktadır. Alp-Himalaya kuşağındaki bazı ülkeler daha fazla karbonat kayaç rezervine sahiptir. Karbonat kayaç rezervleri Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkelerde daha yoğundur. İşletilebilir magmatik kayaç (sert taş) rezervlerinin İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin,

Brezilya ve Güney Afrika'da daha fazla rezerve sahip olması dikkat çekicidir (Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2011).

Sektörde üretim açısından lider ülke Çin'dir. Çin, Hindistan, İtalya, Türkiye, Mısır, İspanya ve Brezilya olmak üzere yedi ülke dünya doğal taş üretiminin üçte ikisinden fazlasına sahiptir. (Duman, 2023). Şekil 1.10'da Alp-Himalaya kuşağı verilmiştir.



Şekil 1.10. Alp-Himalaya Kuşağı

1.2.4. Dünyada mermer üretimi

Dünyadaki mermer üretimi göz önüne alındığında, dünya mermer rezervlerinin miktarı hakkında güvenilir bir veri bulunmamaktadır. Ancak, çalışmalar Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, İran, Pakistan, Hindistan (Himalaya yükseltisi) ve Çin'i kapsayan Alp Kuşağı'nda bulunan mermer rezervlerinin olduğunu göstermektedir. Bu geniş alanlar hemen hemen aynı yapıya sahiptir. Alp Kuşağı'nda bulunan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkelerde çok daha fazla karbonatlı kaya (mermer, kireç taşı, traverten ve oniks) rezervi bulunmaktadır. Aksi takdirde, işletilebilir manyetik kayalar (sert kayalar) İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika'da bulunmaktadır (Eraslan ve ark., 2008).

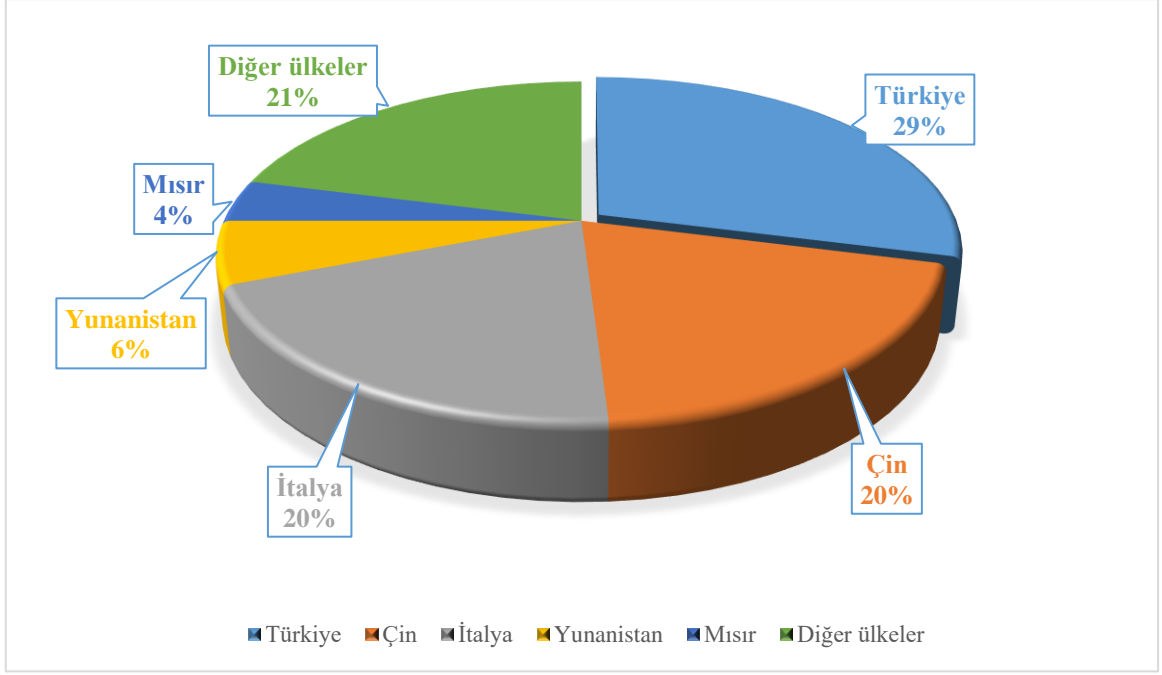
Dünyadaki mermer üretiminin %71'ini Çin, Hindistan, İtalya, Türkiye, Brezilya, İspanya ve İran oluşturmaktadır (Duman, 2023). İnşaat sektöründeki hızlı gelişme ve mermer işleme teknolojilerindeki teknolojik gelişmeler mermer üretiminin artmasına

neden olmuştur. İtalya ve İspanya gibi ülkeler dünyada mermer işleme teknolojileri nedeniyle mermer pazarında söz sahibidir. Ancak Türkiye, Hindistan, Çin ve Brezilya gibi ülkeler son yıllarda mermer sektöründe çok önemli ilerlemeler kaydetmiştir (Ertaş ve ark., 2011).

❖ Dünya Mermer İhracatı

Mermer, Alp-Himalaya kuşağında, Ege Adaları, Anadolu Yarımadası, Pakistan ve Hindistan'dan (Himalaya Yükseltisi) Çin'e kadar uzanan alanda yer almaktadır. Alp-Himalaya kuşağında yer alan ülkelerin dünyanın en zengin ve en kaliteli mermer yataklarına sahip olduğu söylenebilmektedir. 2002 yılında 2 milyar 363 milyon dolar olan mermer ihracatı 2021 yılında 6 milyar 859 milyon dolar olarak gerçekleşmiştir. Bu artışta Türkiye ve İtalya gibi ülkeler büyük rol oynarken, Çin ve Yunanistan da bu artıştan faydalanmıştır. Türkiye en fazla mermer ihraç eden ülkelerden biridir. Mermer ihracatını 2001'de 275 milyon dolardan 2021'de 1 milyar 977 bin dolara çıkaran Türkiye, ihracatını 20 yılda yaklaşık %619 oranında artırmıştır. Bu Türkiye'nin dünya mermer ticaretine önemli bir katkı bulunduğu göstergesi olmuştur. Mermer rezervi ve zengin yatakları yaygın olan İtalya, dünyadaki mermer endüstrisindeki en büyük kaynaklardan birine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı en büyük üreticilerden biri olmuştur. Ayrıca İtalya, uluslararası mermer ticaretinde önemli bir paya sahiptir (Hatch, 2018). Çin mermer sektöründe dünyanın en büyük mermer alıcısı ve satıcısı denilebilmektedir (The Steering Committee of the Trustone Initiative, 2021).

2002-2021 ait veriler baz alındığında; mermer ihracatında %1.556'lık bir artışa işaret etmek mümkündür. Ülkelerin mermer ihracatındaki payını gösteren ve Şekil 1.11'de verilen grafikte en büyük payın Türkiye'ye ait olduğu görülmektedir. Dünya mermer ticareti için diğer önemli ülkeler İspanya, Mısır, İran, Hindistan, Portekiz ve Umman'dır. Diğer ülkeler mermer ihracatının sadece %21'ini oluşturmuştur. Bunun yanı sıra İtalya ve Çin %20'lik oranla türkiyeyi takip etmiştir. Dünya ekonomisindeki gelişmeler nedeniyle Çin'deki yüksek ekonomik büyüme ve bunun inşaat sektörüne olan etkisi, yıllar içinde dünya mermer sektöründe olağanüstü gelişmelere yol açmıştır (International Trade Centre, 2023).

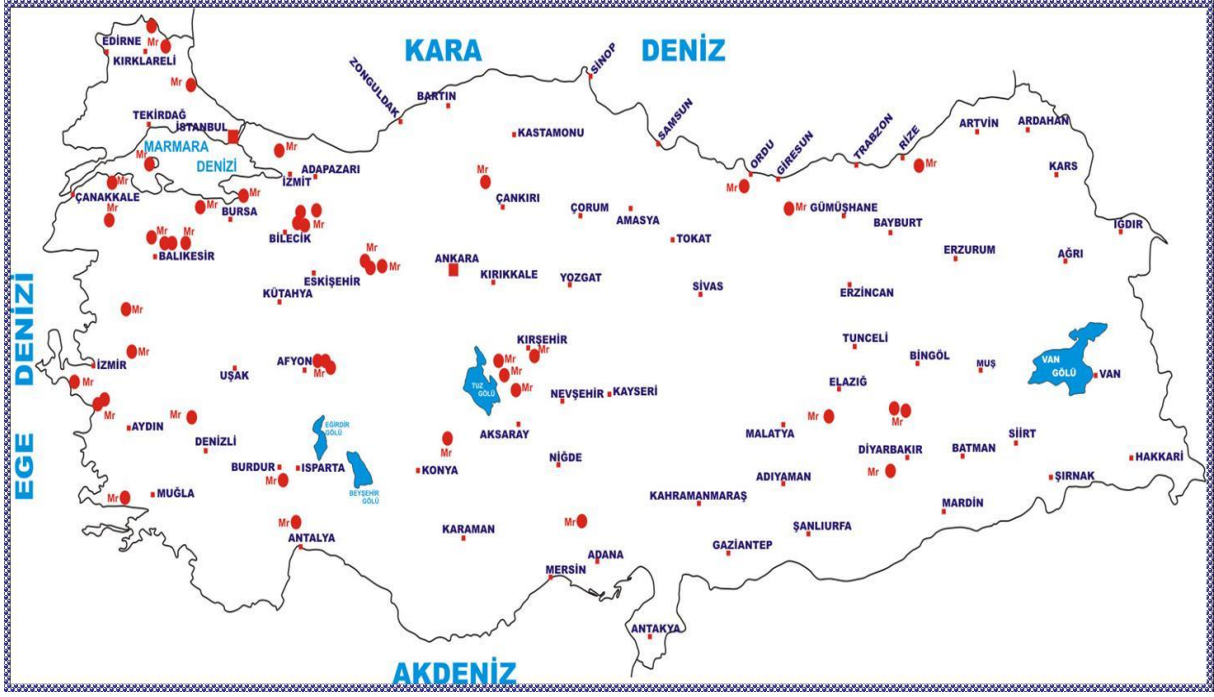


Şekil 1.11. 2021 Yılı Mermer İhracatında Ülkelerin Payları

1.2.5. Türkiye mermer rezervi ve üretimi

Mermer kaynağı bakımından zengin bir ülke olan Türkiye, dünyadaki mermer kaynaklarının neredeyse üçte birine sahiptir (Haggag, 2012). Son derece karmaşık jeolojisi nedeniyle çok çeşitli mineral yataklarına sahiptir (Tamzok ve Anaç, 2007). Jeolojik yapısı nedeniyle Türkiye, doğal taşlar açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Türkiye dünyadaki toplam doğal taş rezervlerinin yaklaşık %40'ına sahiptir. Bu rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bir bölgeye yayılmıştır. Türkiye'de 120'den fazla farklı renk, desen ve 80'den fazla farklı yapıda mermer bulunmaktadır.

Şekil 1.12'de verilen mermer haritasına bakıldığında; Mermer yatakların ülkenin batı kesiminde çoğunlukta olduğu görülmektedir. Türkiye'de mermer yatağının ve sanayisinin yoğun olduğu illeri, Afyon, Balıkesir, Denizli, Tokat, Bilecik, Muğla, Eskişehir ve Çanakkale şeklinde sıralamak mümkündür. Türkiye'de küresel pazarda bilinen mermer türleri, Süpren, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Art Cecilliaçakıl Bej, Manyas beyaz, Bilecik Bej, Leopar Salome, Denizli Traverten, Art Secret Bej, Ege Bordo, Milas Leylak, Gemlik Diabas ve Afyon Şekeri (altın) şeklinde sıralanabilmektedir (Duman, 2023).



Şekil 1.12. Türkiye’de mermer yatakları (MTA, 2024)

Türkiye’de üretilen mermerin, farklı renk skalaları ve kalitesi sayesinde birçok ülkede dünyaca ünlü yerlerde kullanılmaktadır. Bunlara örnek verilecek olunursa;

- ✓ Vatikan’da bulunan Saint Pierre Kilisesi’nin girişindeki sütun ve kaplamalarda Afyon-İscehisar mermeri,
- ✓ ABD’de, Beyaz Saray’daki yetkililerin basın bültenlerinde, Alman Parlamentosu, Fransız Parlamentosu ve ABD Temsilciler Meclisinde kullanılan mermer, Elazığ ilinde üretilen Elazığ Vişne türü mermer,
- ✓ Disneyland’da 18.000 m² alanda Türkiye’de üretilen mermer kullanılmıştır (Uyanık, 2010).

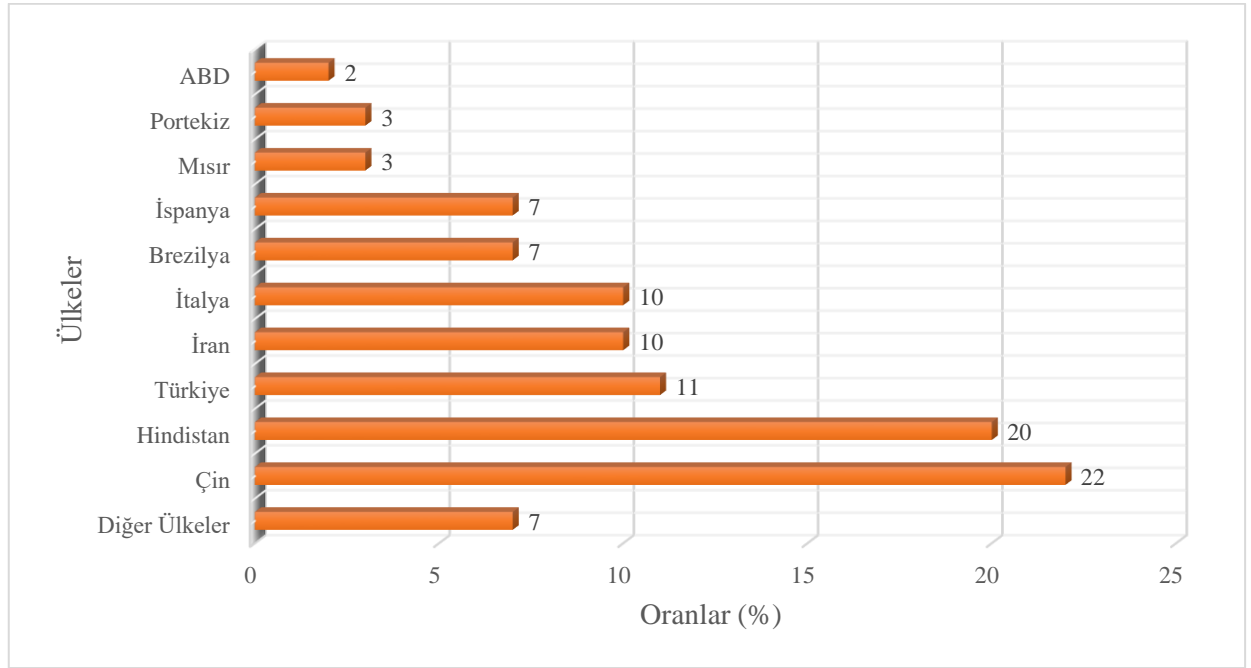
Türkiye’de üretilen mermer özellikleri aşağıda sıralanmaktadır.

- ❖ Çok çeşitli renk seçeneklerine izin veren çok çeşitli renkler vardır. 120’den fazla farklı renk, desen ve 80’den fazla farklı yapı mevcuttur.
- ❖ Kaynakların homojenliği nedeniyle büyük bloklar vardır
- ❖ Oldukça yüksek kaliteye sahiptir
- ❖ Renklerin ve kristal kompozisyonunun desen dekoratif düzenlemeleri mümkündür (Duman, 2023).

Ülkemizde mermer üretimi 1985 ve sonrası yıllardan itibaren artış göstermeye başlamıştır. 1985 yılında Maden Kanunu kapsamına giren mermer sektörü bu dönemden sonra farklı bir sürece girmiş ve hızla büyümeye başlamıştır. 1980’li yıllarda yeni bir ocak

açılması ve mermer çıkarılması Türkiye'de mermer sektörünün gelişmesine yol açmıştır (Gürcan ve ark., 2003).

Türkiye, dünya genelinde taş ocağı taş üretici arasında ilk üç sıralaması içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.13). Şekilde de görüldüğü gibi İran ve İtalya, Türkiye'yi yakından takip etmektedir. Dünya sıralamasında ilk on sırada yer alan ülkeler dünya çapında yapılan taş üretiminin %93'ünü oluşturmaktadır (Haggag, 2012; Duman, 2023).












Şekil 1.13. Dünya mermer ocağı sıralaması

1.2.6. Mermerin kullanım alanları

Mermer, antik çağlardan beri dünyada en çok ticareti yapılan mallardan biridir. Tasarımcılar ve mimarlar, güzel görünümü ve dayanıklılığı nedeniyle eserlerinde mermer kullanmayı tercih etmektedir. İnsanlar eski zamanlarda mermeri sanatsal alanlarda yaygın olarak kullanırken, günümüzde dayanıklılığı nedeniyle dekorasyon, süs eşyası yapımı, heykel ve inşaat sektöründe mezar taşı üretimi için tüketmektedirler (Zhang, 2022). Ayrıca mermerle ilgili ürünler, iç ve dış cepheler, merdivenler, mutfaklar, şömineler ve banyolar ile taşıyıcı sütunlar gibi yapılarda favori malzemelerdir (Duman, 2023).

Şekil 1.14'de mermerlerin kullanım alanları verilmiştir. Şekilde mermerin çoğunlukla inşaat sektöründe kullanıldığı görülmüştür.

	<p>İnşaat Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Harç ve sıva • Yer karosu • Derz dolgu malzemesi • Köprü, baraj gibi yapılarda dolgu malzemesi • Beton üretiminde ince agrega
	<p>Çimento Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normal Portland Çimentosu üretiminde kalker yerine • Beyaz çimento üretiminde kil yerine kaolin kullanımı
	<p>Kağıt Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dolgu ve Kaplama malzemesi • Sigara kağıdı yapımı • Kaliteli dergi kağıtları üretimi • Matbaa mürekkebinin hızlı kurumasında
	<p>Plastik Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Malzemeye kalınlık ve tokluk vermesi için dolgu malzemesi görevinde
	<p>Seramik Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bünye ve sırlama işlemlerinde • Gözenekliliği azaltmada
	<p>Cam Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pencere camı ve şişe imalatında • özel tasarım cam imalatında
	<p>Tarım, Gübre ve Yem Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toprak ıslahında • Tavuklarda yumurtta verimini arttırmada
	<p>Boya Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • boya katkı maddesi • Sulu boya üretimi
	<p>Kimya Sanayi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Karpit imalatında

Şekil 1.14. Mermer kullanım alanları (Al-Shammari, 2023)

1.2.7. Atık mermer tozunun üretimi

Mermer ocağında blok kesimi sırasında az miktarda mermer tozu açığa çıkmaktadır. Kesim sırasında ince parçacıkların (<2 mm) üretimi, mermer endüstrisi için en büyük sorunlardan biridir. 1 m³ mermer bloğu 2 cm kalınlığında levhalara kesildiğinde, ince parçacık üretim oranı yaklaşık %25'tir (Kun, 2000).

Mermer ocağında mono-telleme sırasında da mermer tozu üretilmektedir (Ural ve Yakşe, 2015). Mermer işleme tesisinde, levha üretim sürecinde levha kesimi ve ardından cilalama uygulamaları sırasında mikronize boyutta mermer tozu oluşmaktadır. Mermer atıkları boyutlarına göre isimlendirilmektedir. Bunlar kaba boyutlardan mikron boyutlarına doğru moloz, kapak, paledian ve toz atıkları olarak adlandırılmaktadır (İpek ve ark., 2014). Büyük ve şekilsiz çıkarılan mermerler, mono-telli makinelerde şekillendirilerek disk kesme veya çete testere makinelerinde işlenmeye uygun hale getirilmektedir. Bu işlem sırasında, "moloz" adı verilen büyük boyutlu mermer atıkları oluşmaktadır. Reddedilen moloz mermer atığının boyutuna bağlı olarak, mermer işleme tesislerinde disk kesme makinelerinde işlenerek küçük boyutlu levhalar üretilir ve bu da mermer madenciliği sürecinin geri kazanım oranını artırmaya yardımcı olmaktadır. Bununla birlikte, bu atıkların çoğu değerlendirilememekte ve ocağın etrafındaki atık depolama alanlarına stoklanmaktadır (Kocabağ, 2018).

Sahada yığınlar oluşturan ve olumsuz çevresel etkilere neden olan atık miktarı, kayaç türüne, jeolojiye, mermer yatağının morfolojisine, kayacın kristal yapısına ve parametrelere göre değişmektedir (Nicholson, 1995). Gang testere kesimi ve disk testereleme işlemi sırasında küçük düz levha parçacıkları oluşmaktadır. Bu tür atıklara paledian denilmektedir. Paledian üretimiyle levha üretim verimliliği azalmaktadır. Bu tür mermer atıkları inşaat, agrega üretimi ve yol yapımı gibi alanlarda tüketilir. Ancak, üretilen atık miktarına kıyasla kullanım oranı düşük olduğundan, paledian atıkları bertaraf alanlarında depolanmaktadır (Tunç, 2021).

Mermer bloklarının kesimi sırasında soğutucu olarak su kullanılmaktadır. Ancak ince parçacıklar, rüzgar ve yağmur gibi atmosferik koşullar altında nem kaybettikten sonra kolayca dağılabilmektedir. Bu nedenle ince parçacıklar, diğer mermer atık türlerinden daha fazla kirliliğe neden olmaktadır (Başer, 2009).

Mermer, özellikle dekorasyon nedenleriyle inşaat için çok önemli bir malzemedir. Mermerin %25'i şekillendirme, cilalama ve kesme nedeniyle toz ve toza dönüşür (Çınar, 2019). Oluşan tozun görüntüsü Şekil 1.15'de verilmiştir. Türkiye, dünya toplam mermerinin %40'ına sahiptir ve her yıl 7 milyon ton mermer üretilmektedir. Türkiye'de

mermer üretimi için beş bin işleme fabrikası kullanılmaktadır. Bu atık ürünlerinin milyonlarca tona ulaştığı açıktır; bu nedenle bu miktarda atığı depolamak çok zordur (Pooja ve Prof, 2014).



Şekil1.15. Atık mermer tozu (URL1)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Koçyiğit ve ark., (2018), yapmış olduğu çalışmada, geliştirilmiş perlit agregası, atık mermer tozu ve kitre katkılı kompozit malzemelerin değişik oranlarda karışım kombinasyonları ile gözenekli katı malzemeler üretmişlerdir. Ürettikleri numunelerin ısı iletkenliklerini sıcak tel metodu kullanarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, ürettikleri numunelerin ısı iletkenliklerinin geliştirilmiş perlit tane boyutu, geliştirilmiş perlit oranı, atık mermer tozu oranı, kitre ve çimento oranlarına bağlı olarak 0.159W/mK ile 0.446W/mK arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, deneysel ve kuramsal olarak geliştirdikleri denklemlerle elde ettikleri ısı iletkenlik sonuçlarını birbirleriyle mukayese etmiş, sonuçların uyum içerisinde olduğunu bildirmişlerdir.

Alyousef ve ark., (2019), yapmış oldukları çalışmada, mermer atıklarının ve geliştirilmiş perlit agregasının, çimentolu matris yapı malzemelerine katkı maddesi olarak kullanılmak üzere geri kazanılmasını amaçlamışlardır. Bir başka deyişle, atık mermerin kırılması sonucu elde edilen kum, doğal kum ve geliştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen hafif betondan yeni bir yalıtım bloğu üretmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında atık mermerden elde edilen kumun doğal kuma hacim oranı 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 olarak belirlemiş ve plaka ve kübik formunda numuneler üretmişlerdir. Numunelere basınç dayanımı, ısı iletkenlik, ısı yayılma, özgül ısı kapasitesi ve farklı frekanslarda ses azaltma indeksi deneyleri uygulamışlardır. Sonuç olarak; atık mermerden üretilen kum ve doğal kum karışımı ile üretilen hafif beton bloklarının mekanik ve termal özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Arman (2020), yapmış olduğu çalışmada, mermer tozu ve perlitin, rijit üstyapı kaplama inşasında kullanılabilirliği araştırmıştır. Farklı agregalar ile lifli ve lifsiz olarak üretilen betonlara farklı kürler uygulamıştır. Uyguladığı bu kürler ile maksimum basınç ve eğilme dayanımı elde etmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonucunda;

- ✓ Mermer agregalı lifli betonun basınç dayanımının 58.0 MPa, eğilme dayanımının ise 5.4 MPa olduğunu,
- ✓ Ham perlit agregalı lifli betonun basınç dayanımı 74.1 MPa, eğilme dayanımı ise 8.5 MPa olduğunu
- ✓ Geliştirilmiş perlit agregalı lifli betonun basınç dayanımının 29.7 MPa, eğilme dayanımının ise 3.5 MPa olduğunu bulmuştur.

Yılmaz (2020), yapmış olduğu çalışmada, uçucu kül ve mermer tozu atıklarını katı atık yönetimi kapsamında zemin stabilizasyonu için kullanmıştır. Çalışma

kapsamında, düşük plastisiteli killi bir zemine %25 uçucu kül ve sırasıyla %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ilave etmiştir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özelliklerini irdelemiştir. Ayrıca, katkı maddelerinin zeminin donma-çözülme çevrimi sonucundaki dayanım değerlerine etkisi incelemiştir. Çalışma sonunda; uçucu kül+mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül içeren karışımlara göre daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna varmıştır.

Zhang ve ark., (2020), yapmış oldukları çalışmada, silis dumanı (SF), (%0, %2.5, %5 ve %10) ve atık mermer tozunun (WMP), (%0, %5, %10, %15 ve %20) gözenekli betonun mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Hüresel betonun çökme, yoğunluk, su emme ve mekanik özelliklerini tartışmışlardır. SF ve WMP içeren gözenekli betonun $MgSO_4$ ve H_2SO_4 saldırısına karşı direnci, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kütle ve mikro yapıdaki değişikliklerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada sonuç olarak, %10 SF ve %5-20 WMP içeren gözenekli beton, optimum mekanik ve dayanıklılık özellikleri sergilediğini bildirmişlerdir. H_2SO_4 saldırısından sonra, bu beton, kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha yüksek mekanik özellikler sergilemiş ve önemli ölçüde daha az beton bozulması ve kütle (%0.20–1.49), basınç dayanımı (%27.40–40.20) ve yarmada çekme dayanımı (%37.26–46.04) kayıpları sergilediğini tespit etmişlerdir. Ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri, SF ve WMP içeren numunelerin (özellikle SF10 ve SF10M5) $MgSO_4$ ve H_2SO_4 saldırısına karşı daha iyi direnç gösterdiğini ifade etmişlerdir. Genel olarak, çimentonun uygun SF ve WMP ikameleri, özellikle sülfat asidi saldırısından sonra, hüresel betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Oza ve ark., (2022), mermer tozunun yeniden kullanılabilir malzeme olarak inşaat sektöründe kullanımına ilişkin bir inceleme yapmışlardır. Çalışmada, dolgu malzemesi olarak farklı oranlarda mermer tozu kullanarak beton üretimi yapmış ve ürettikleri betonun basınç dayanımını incelemiştir. Çalışmada, mermer tozu ilavesiyle betonun basınç dayanımında bir artış meydana geldiği bildirilmiştir. Bunun yanı sıra, çimento yerine kullanılan mermer tozu yüzdesine bağlı olarak üretim maliyetinin düştüğü tespit edilmiştir.

Al-Shammari (2023), yapmış olduğu çalışmada, Kırşehir ili Kaman bölgesi atık mermer tozunun çevre dostu tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırmıştır. Çalışmada kil içerisine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında atık mermer tozu kullanmıştır. Ürettiği numunelere suya doygun birim hacim ağırlık, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi ve sülfat etkisi, basınç dayanımı ve eğilmede çekme

dayanımı deneyleri yapmıştır. Sonuç olarak, atık mermer tozu miktarının artmasıyla, suya doygun birim hacim ağırlığında azalma, porozite, su emme (ağırlıkça), donma çözülme etkisi, sülfat etkisi değerlerinde artış meydana geldiğini bildirmiştir. Basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanım değerinde azalma olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca uygun miktarlarda (%10) atık mermer tozu ikamesinin tuğla özelliklerini iyileştirebileceği sonucuna varmıştır.

Benjeddou ve ark., (2023), yapmış oldukları çalışmada, mermer atıklarının (MWS) ezilmesiyle elde edilen kum ile geliştirilmiş perlit agregası (EPA) kullanarak üretilen hafif betonun özelliklerini araştırmışlardır. İlk olarak, mermer atık kumu ve geliştirilmiş perlit agregasının mekanik, kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlemişlerdi. Daha sonra EPA yüzdelerini (%0, 20, 40, 60, 80 ve %100) değiştirerek farklı beton karışımları hazırlamışlardır. Ürettikleri betonun termal ve akustik özelliklerini (ısı iletkenlik, ısı yayılım, özgül ısı kapasitesi ve farklı frekanslarda ses azaltma indeksi) araştırmışlardır. Sonuç olarak; mermer atığı kullanılarak üretilen betonun ısı ve ses yalıtımının iyileştiğini bildirmişlerdir. Ayrıca, mermer atığı ve geliştirilmiş perlite dayalı çimentonun inşaat bütçesine katkıda bulunduğu ve uzun vadede hammadde sürdürülebilirliğini geliştirebileceğini ifade etmişlerdir.

Rasool ve ark., (2023), yapmış oldukları çalışmada endüstriyel bir tuğla fırın fabrikasında kilin ağırlığına göre %0, 3, 6, 9, 12 ve 15 gibi değişen oranlarda atık mermer tozu (WMP) kullanımının etkisinin değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Performanslarını ölçmek için kil, WMP ve tuğlalar üzerinde bir dizi mekanik ve dayanıklılık testi yapmışlardır. WMP'nin dahil edilmesinin, yapıyı ağırlık olarak daha hafif hale getirerek, tuğlaların birim ağırlığının azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, tüm tuğla numuneleri için basınç dayanımı ve donma çözülme testi sonuçları ve %12 WMP katkılı tuğla numuneleri için sülfat testleri Pakistan Yapı Kanunu ve ASTM C67 tarafından öngörülen limitler içerisinde olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca tuğla endüstrisi için sürdürülebilirlik ve ekonomi sağlamak üzere çevresel atığı azaltabilen yanmış kil tuğlaları hazırlamak için kilin ağırlığına göre %12'ye kadar WMP'nin dahil edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Kolak ve Oltulu (2023), çalışmalarında, geliştirilmiş perlit (EP) ve kenevir saplarını kullanarak biyo-kompozit hafif yapı malzemesi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu çalışmada bağlayıcı olarak polyster matris, dolgu malzemesi olarak kenevir ve EP kullanılarak 11 farklı karışım üretmişlerdir. Üretilen bu biyokompozitlerin fiziksel, mekanik ve ısı iletkenliklerini incelemişlerdir. Çalışma sonunda;

- ✓ Kompozitteki dolgu miktarı arttıkça görünür yoğunluk, basınç dayanımı, ultrasonik darbe hızı (UPV) ve termal iletkenlikte azalma olduğunu,
- ✓ Su emme, kalınlıkta şişme (ST) ve ağırlık kaybı (WL) değerlerinde artış meydana geldiğini,
- ✓ EP eklenmesiyle kompozitlerin su emme, UPV ve basınç dayanımları artarken, ısı iletkenliğinin azaldığını,
- ✓ En düşük ısı iletkenlik değerinin 0.1093 W/mK ile H35P5 kodlu numuneden elde edildiğini
- ✓ Referans numune hariç en yüksek basınç dayanımı değerine 35.175 MPa ile H25P5 kodlu numuneden elde edildiği,
- ✓ Termogravimetrik analiz sonuçlarına göre EP ve kenevir ilavesi, düşük sıcaklıklarda kompozitin termal stabilitesinin bozulmasına neden olduğunu
- ✓ EP ve kenevir saplarından elde edilen sürdürülebilir biyokompozitlerin ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Balbuena ve ark., (2024), çalışmalarında, hafif agrega olarak aerojel, perlit ve vermikülitin kullanıldığı özel harçlar hazırlamış ve harcın ısı özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda, hem sıcak hem de soğuk koşullar için bir güneş simülatörü kullanmak koşuluyla, hafif agregaların değişen oranlarının, sıcak havadaki referans harcından 7 °C'ye kadar daha fazla dış cepheden yalıtım sağlayan bir harçla sonuçlandığını ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Genleştirilmiş perlit

Perlit, ısıyla genişleme özelliği olan, genişletildiğinde çok hafif ve gözenekli hale geçen volkanik bir kayadır. Isıtıldığında, 840-1100°C arasında yumuşamaya ve 1315-1330°C arasında erimektedir. Perlit belirli tane iriliğinde özel şartlarda 900-1150°C arasında ısıtıldığında hacmi 24 katına kadar artmaktadır. A sınıfı yanmaz malzeme sınıfındadır.

Tez çalışması kapsamında üretilen katkılı hafif beton numunelerinde kullanılan genleştirilmiş perlit Erzincan ili Mollaköy beldesinden çıkarılan perlitten üretilmiştir. Üretim Erzincan'da bulunan PERSAN AŞ. tarafından gerçekleştirilmiştir. Üretilen genleştirilmiş perlitin özellikleri Tablo 3.1'de, görüntüsü ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tabloya göre; genleştirilmiş perlit agregası %71.33 oranında SiO₂, %12.15 oranında Al₂O₃ ve %2.04 oranında Fe₂O₃ içermektedir.

Tablo 3.1. Genleştirilmiş perlitin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellik (%)	
Özellik	Değer
Yoğunluk (kg/m ³)	1.95
Birim hacim ağırlık (g/ cm ³)	0.21
Su emme değeri (%)	70.6
Isı iletim katsayısı	0.13-0.57
Kimyasal Özellik (%)	
SiO ₂	71.33
Al ₂ O ₃	12.15
Na ₂ O	3.42
K ₂ O	4.57
Fe ₂ O ₃	2.04
CaO+MgO	3.20
Diğer	3.38



Şekil 3.1. Genleştirilmiş perlit

3.1.2. Atık mermer tozu

Çalışmada kullanılan atık mermer tozu Kırşehir il merkezinde bulunan Ertaş Granit Mermer A.Ş'den temin edilmiştir. Mermer atığı bir çekiç kullanılarak mümkün olduğunca küçük boyutlara getirilmiştir. Kırılmış mermer parçaları çeneli kırıcı makinesinde öğütülerek taneciklendirilmiştir. Daha sonra ince toz haline gelen atık mermer, 63 m'lik elekten elenmiş ve elek alı malzeme hafif beton üretimi için kullanılmıştır.

Elde edilen atık mermer tozu beyaz renkte, 2 μ tane boyutunda ve 2.41 g/cm³ yoğunluktadır. Üretilen atık mermer tozunun kimyasal özellikleri Tablo 3.2'de görüntüsü ise Şekil 3.2'de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. Atık mermer tozunun kimyasal özellikleri

Oksi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI	Diğer
MT (%)	2.71	1.78	2.17	50.43	1.28	39.43	2.20



Şekil 3.2. Atık mermer tozu

3.1.3. Çimento

Çalışma kapsamında üretilen katkılı hafif beton numunelerinde kullanılan çimento Ankara ilinde faaliyet gösteren BAŞTAŞ çimentodan satın alınmıştır. Kullanılan CEM I 42.5 N tipi çimento TS EN 197-1 standardının gereksinimlerini sağlamaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Çimento

Deneysel çalışmada elde edilecek sonuçlarda herhangi bir hatanın yaşanmaması için hafif beton üretiminde kullanılacak çimento miktarı belirlenmiş ve bir seferde alınmıştır. Serin, kuru, rutubetten uzak bir şekilde muhafaza edilen çimentonun özellikleri Tablo 3.3’de verilmiştir (Yılmaz, 2024).

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. Süper akışkanlaştırıcı

Üretilen genişletilmiş perlit katkılı hafif beton numunelerinin işlenebilirliğinin yükseltilmesi amacıyla kullanılan çimentonun %1 i kadar süper akışkanlaştırıcı katılmıştır. Tablo 3.4’de fiziksel özellikleri verilen süper akışkanlaştırıcının görüntüsü ise Şekil 3.4’de verilmiştir. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı MYFIX firmasından satın alınmıştır.

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/lt
pH	7-9
Klorür	Yok
Uygulama sıcaklığı	+5 °C ile +35 °C



Şekil 3.4. Süper akışkanlaştırıcı

3.1.5. Karışım suyu

Çalışmada üretilen hafif betonda karışım suyu olarak, TS EN 1008 standardında belirtilen gereksinimlere uygun su kullanılmıştır. Karışım suyu olarak, içerisinde organik madde bulunmayan, berrak ve içilebilir özellikteki Ankara ili şehir şebeke suyu tercih edilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Katkılı numunelerin üretimi

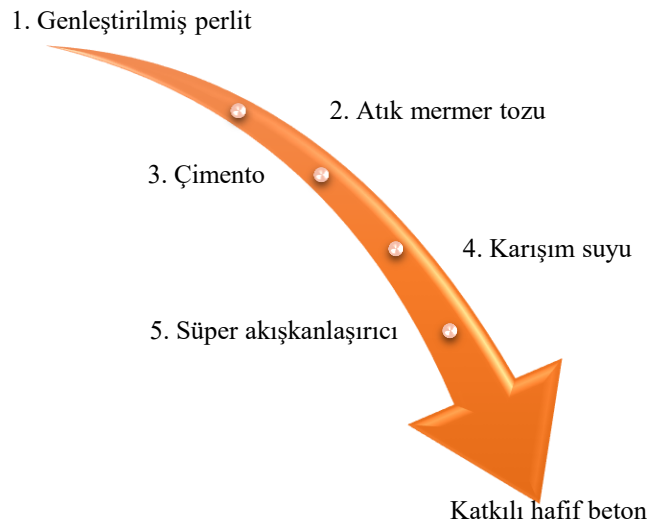
Tez çalışması kapsamında referans (REF), %5 oranında geliştirilmiş perlit ikameli (PHB5), %10 oranında geliştirilmiş perlit ikameli (PHB10), %20 oranında geliştirilmiş perlit ikameli (PHB20), %40 oranında geliştirilmiş perlit ikameli (PHB40) olmak üzere 5 farklı sitede hafif beton üretilmiştir. Numunelerin birim hacim ağırlık, su emme (ağırlıkça), pozitif ve basınç dayanımı deneylerinin yapılması için 10x10x10 cm ölçülerinde kübük numune üretilmiştir. Isı iletim katsayısı ve özgül ısı kapasitesi deneylerinin yapılması için 27x27x4 cm ölçülerinde plaka formunda numuneler üretilmiştir. Yamada çekme dayanımı için ise 15x30 cm ölçülerinde silindirik formunda numuneler üretilmiştir.

Katkılı hafif beton numunelerinin üretim reçetesi Tablo 3.5’de verilmiştir. Üretimde çimento miktarı 300 dozaj olarak belirlenmiştir. Su/çimento oranı karışımların toplam gözenekliliği dikkate alınarak 0.33 ila 0.60 arasında değişmiştir.

Tablo 3.5. Hafif beton üretim reçetesi

Numune Adı	Atık mermer tozu (%)	Genleştirilmiş Perlit (%)	Çimento (%)	Süperakışkanlaştırıcı (%)
REF	100	0	100	1
PHB5	95	5	100	1
PHB10	90	10	100	1
PHB20	80	20	100	1
PHB40	60	40	100	1

Hafif betonların TS 2511 standardında yer alan gereksinimlere göre üretimi yapılmıştır. Üretim aşamaları Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Hafif beton numunelerinin üretim şeması

Şekil 3.5’den yola çıkılarak hafif beton üretimi genleştirilmiş perlit agregasının mikser konulmasıyla üretime başlanmıştır. Ardından atık mermer tozu mikser içerisine alınmış ve kuru bir şekilde homojenlik elde etmek için karıştırılmıştır. Daha sonra bir diğer kuru malzeme olan çimento mikser içerisine ilave edilerek tekrar karıştırma işlemi yapılmıştır. Homojen kuru karışım elde edildikten sonra mikser içerisine belirlenen miktarlarda karışım suyu ve süperakışkanlaştırıcı eklenerek karıştırılmaya devam edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Hafif beton hamurunun hazırlanması

Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, hafif beton hamuru önceden yağlanmış kalıplara dökülmüş (Şekil 3.7a) ve kalıp içerisinde 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.7b).



a



b

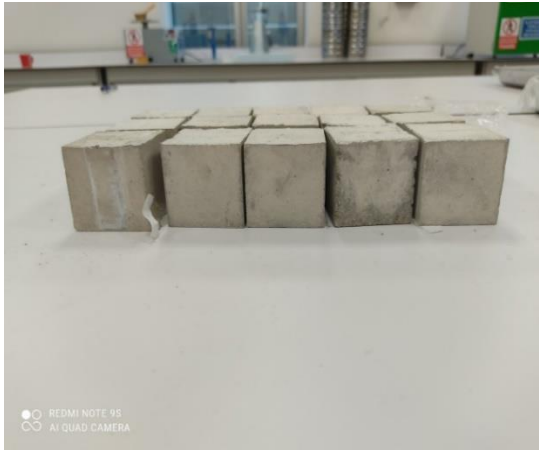
Şekil 3.7. a:Hafif beton hamurunun kalıplara dökülmesi, b: Numunelerin kalıp içinde bekletilmesi

24 saatin sonunda numuneler kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca kürlenmesi için kür havuzuna bırakılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Numunelerin kürlenmesi

28 günün ardından numuneler kür havuzundan çıkarılmıştır (Şekil 3.9). Çıkarılan numunelere fiziksel, termal ve mekanik deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.9. Katkılı hafif beton numuneleri

3.2.2. Numunelere uygulanan fiziksel deneyler

❖ Birim hacim ağırlık

Tez çalışması kapsamında üretilen atık mermer tozu ve genişletilmiş perlit katkıli hafif beton numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri TS EN 12390-7 standardında yer alan gereksinimler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde 30 adet 10x10x10 ölçülerine sahip kübik numuneler kullanılmıştır.

Deneyisel çalışmada numuneler 2 saat boyunca su dolu bir ortamda tutulmuştur. Daha sonra ortamdaki numuneler kuru bir bezle silinerek etüv fırınında ± 105 °C'de

24 saat boyunca tutulmuştur. Ardından farklı oranlarda üretilen hafif beton örnekleri hassas terazide tartılmıştır. Aşağıdaki denklem kullanılarak numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Denklemde verilen E; Etüv kuru ağırlık (kg), V; Hacim (m³) anlamına gelmektedir.

$$\text{Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/cm}^3\text{)} = \frac{E}{V} \quad (\text{Denklem 1})$$

❖ Su emme (ağırlıkça)

Tez çalışması kapsamında üretilen referans ve hafif beton numunelerinin su emme değerlerinin tespiti için TS EN 772-4 standardında bulunan gereksinimler göz önünde bulundurulmuştur. Su emme deneyi 30 adet küp numune üzerinde uygulanmıştır.

Deneyde ilk olarak tüm hafif beton numuneleri 24 saat boyunca su içerisinde tutulmuştur. Süre tamamlandığında numuneler alınmış ve hassas terazide tartılmıştır. Ardından numuneler 24 saat boyunca etüv fırınında ± 105 °C'de tutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler aşağıdaki denklem kullanılarak su emme (ağırlıkça) değerleri belirlenmiştir. Denklemde yer alan S_{sh} , numunenin havadaki ağırlığı (gr), S_0 ise numunenin kuru ağırlığıdır (gr).

$$\text{Su Emme (Ağırlıkça)}(\%) = \frac{(S_{sh}-S_0)}{S_0} \quad (\text{Denlem 2})$$

❖ Porozite

Farklı oranlarda üretilen hafif beton numunelerinin porozite değerleri TS EN 772-4 standardında yer alan gereksinimlere göre yapılmıştır. Deney 10x10x10 ölçülerinde kübik formda yapılmış numunelere uygulanmıştır. 28 günlük kür sonunda etüv fırınında ± 105 °C'de kurutulmuş numuneler tartılmıştır (m_1). Ardından numune havası giderildikten sonra bir deikatör kullanılarak tartılmış ve 72 saat boyunca bir su tankında doyurulmuştur (m_2). Doymuş numunenin yüzey suyunu gidermek için yüzeysel olarak silinmiş ve tartım işlemi yapılmıştır (m_3). Son olarak, numunelerden elde edilen değerler aşağıda verilen denklem kullanılarak porozite değeri bulunmuştur.

$$\text{Porozite} = \left(\frac{m_3-m_1}{m_3-m_2} \right) \times 100 \quad (\text{Denklem 3})$$

❖ Isı iletim katsayısı tayini

Isıl iletkenlik, iki zıt yüzey bir birim sıcaklık farkı gösterdiğinde, bir yüzey birimi ve bir birim kalınlıktaki bir malzemedan bir birim zamanda aktarılan ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır (Banjeddou ve ark., 2023). Tüm hafif beton numunelerinin ısı iletkenlikleri kutu yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Deneyde kullanılmak üzere

270x270x40 mm boyutlarında plaka numuneler üretilmiştir. Bu deney TS EN ISO 8990 standardı gereksinimlerine göre yapılmıştır. Deneysel ısı iletkenlik değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

$$\lambda_{hb} = \frac{e}{S \cdot (T_1 - T_2)} \times \left[\frac{U^2}{R} - C(T_B - T_a) \right] \quad (\text{Denklem 4})$$

Burada yer alan;

U; V cinsinden elektrik gerilimi,

S; m² cinsinden plaka numune kesiti,

T₁, T₂, T_B ve T_a; platin sıcaklık sensörleri kullanılarak ölçülen sıcaklıklar,

R; Isıtıcı,

C; Genel ısı transfer katsayısıdır.

❖ Özgül ısı kapasitesi

Genel olarak bir malzemenin özgül ısı kapasitesi (C_p), sıcaklığı malzeme kütle birliğinin bir derecesi kadar artırabilen gerekli ısı miktarı olarak tanımlanır. Daha fazla ısı enerjisine sahip bir malzemenin, düşük özgül ısı kapasitesine sahip bir malzeme kullanıldığında, yüksek özgül ısı kapasitesine sahip madde sıcaklığını arttırması gerektiği fark edilmiştir. Bir malzemenin özgül ısı kapasitesinin değeri hem onun ısı yayılımına, ısı iletkenliğine hem de birim ağırlığına bağlıdır (Benjeddou ve ark., 2023). Bu değer aşağıdaki denklemde verilmektedir:

$$C_p = \frac{\lambda_{hb}}{\rho \alpha_{hb}} \quad (\text{Denklem 5})$$

Burada;

- p, kg/m³ cinsinden birim ağırlık
- λ_{hb}, W/m.K cinsinden termal iletkenlik
- α_{hb}, m²/s cinsinden deneysel termal yayılımdır.

3.2.3. Numunelere uygulanan mekanik deneyler

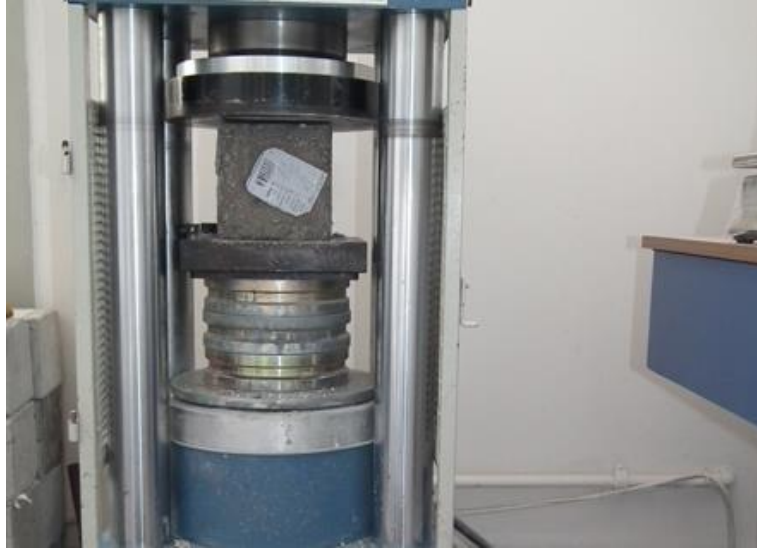
❖ Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı, aksenal basınç yükü altında betonun kırılmamak için göstereceği direnç olarak tanımlanmaktadır (Özden, 2010). Çalışma kapsamında üretilen referans ve farklı oranlarda üretilen hafif beton numunelerinin basınç dayanımını

belirlemede TS EN 772-1 standardında yer alan gereksinimler kullanılmıştır. Kurlenen numuneler etüv kurusu hale getirildikten sonra bilgisayar kontrollü basınç presinde deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilmiştir. Denklemde yer alan P_k kırılma yükü, A ise yüzey alanını ifade etmektedir. Şekil 3.10'da numunelerin basınç dayanım deneyinin görüntüsü verilmiştir.

$$\text{Basınç Dayanımı (MPa)} = \frac{P_k}{A}$$

(Denklem 6)



Şekil 3.10. Katkılı hafif beton numunelerinin basınç dayanımı

❖ Yarmada çekme dayanımı

Tez çalışması kapsamında üretilen refeans ve katkılı hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımları için TS EN 12390-6 standardında bulunan gereksinimler yerine getirilerek elde edilmiştir.

Kür havuzundan alınan hafif beton numuneleri etüv fırınında sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Etüvden alınan numuneler yarmada çekme dayanımı cihazından kaymaması için sabitlenmiştir. Pres başlığı ve yükün etki alanı olan numune yüzeyi ile aynı noktada kesişmesine dikkat edilmiştir. Örtüşme sağlandıktan sonra 0.05 MPa yükleme hızına sahip yük numune yüzeyine etki ettirilmiştir. Pres cihazının bağlı olduğu bilgisayarda görülen kırılma anındaki en yüksek yük (P_{max}) kaydedilmiştir (Aldakshe ve ark., 2020). Deneyde elde edilen veriler denklemde yerine yazılarak yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir. Denklemde yer alan f_t , yarmada çekme dayanımı (MPa), L , silindir yüksekliği ve b , numune kesitinin boyutu anlamına gelmektedir.

Şekil 3.11’de numunelere uygulanan yarmada çekme dayanımının görüntüsü verilmiştir.

$$f_t = \frac{(2.P_{max})}{(\pi.b.L)}$$

(Denklem 7)



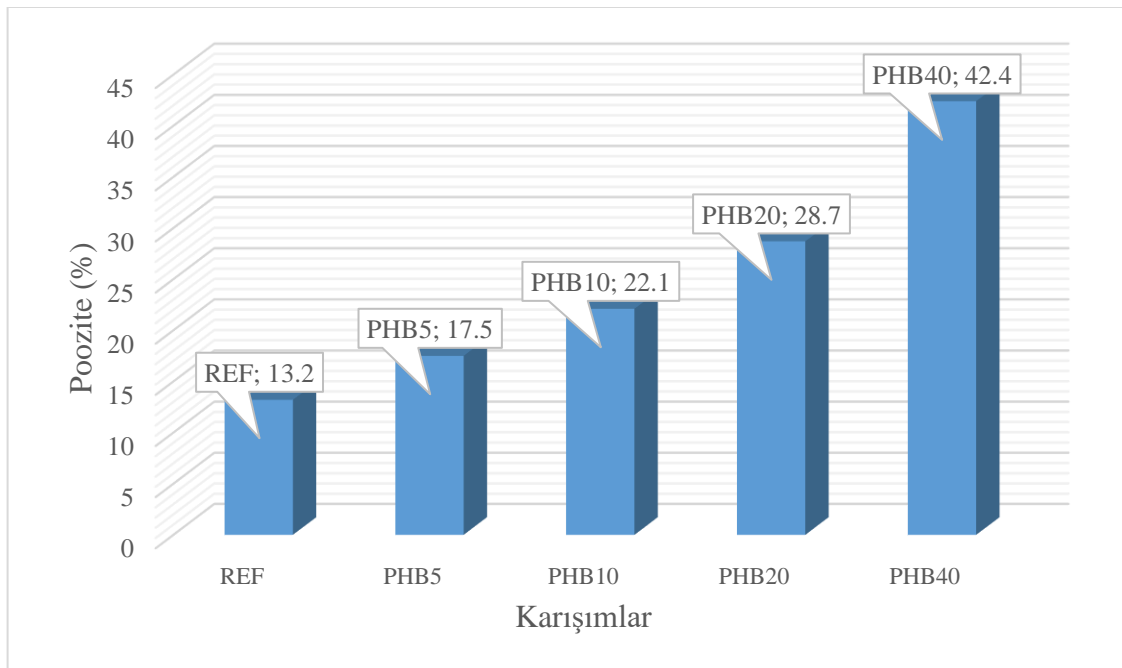
Şekil 3.11. Katkılı hafif beton numunelerinin yarmada çekme dayanımı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Fiziksel Deneyleri

4.1.1. Porozite

Şekil 4.1’de farklı oranlarda üretilen perlit katkılı numunelere ait porozite değerleri verilmiştir. Porozite değerlerinin %13.2 ile %42.4 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerlerden %42.4 PHB40 numunesinden %13.2 ise REF numunesinden elde edilmiştir. Numunelerin porozite değerleri sırasıyla %13.2; %17.5; %22.1; %28.7; %42.4’dür. Perlit miktarının artmasıyla porozite değerinde de artış meydana geldiği görülmüştür. Poroziteki bu artış, genişleştirilmiş perlit agregası ile atık mermer tozu arasındaki tane şekli farkından kaynaklanmaktadır. Genleştirilmiş perlit agregasının tane şeklinin küresel, atık mermer tozu agregasının tane şeklinin ise köşeli olduğu fark edilmiştir. Gerçekten de, yüksek genişleştirilmiş perlit yüzdesine sahip betonun granüler düzenlemesi, yüksek boşluk yüzdesine ve sonrasında yüksek gözenekliliğe sahip bir beton vermektedir. Atık mermer tozunun genişleştirilmiş perlit agregası ile değiştirilmesinin beton porozite değerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Çalışma literatürde yer alan diğer çalışmalarla mukayese edildiğinde; Benjeddou ve ark., (2023) yapmış oldukları çalışmada perlit miktarının artmasıyla hafif beton numunelerinde artış meydana geldiğini bildirmiştir. Yine birçok araştırmacı perlit agregasının gözenekliliği artırdığını ifade etmişlerdir (Alyousef ve ark., 2019; Arman, 2020; Koçyiğit ve ark., 2021; Kolak ve Oltulu 2023).

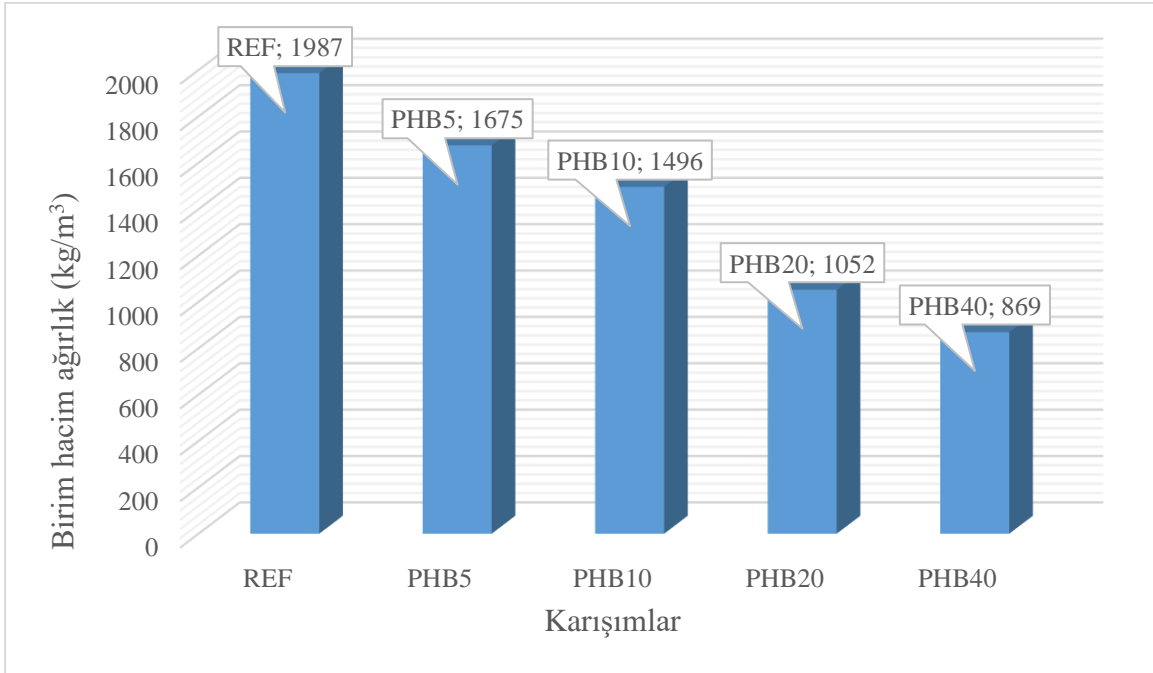


Şekil 4.1. Numunelerin porozite değer grafiği

4.1.2. Birim hacim ağırlık

Şekil 4.2’de katkılı hafif beton numunelerinin birim hacim ağırlık değerlerini gösteren grafik verilmiştir. Grafikte; birim hacim ağırlık değerlerinin 869 ila 1987 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer refeans numunesinden elde edilirken en düşük değerin PHB40 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Deneyde perlit miktarının artmasıyla birim hacim ağırlık değerinde azalma olduğu görülmüştür. Bunun başlıca nedeni genişletilmiş perlit ağırlığının yoğunluğunun 32-400 kg/m³ arasında değişirken atık mermerin yoğunluğunun 2400-2700 kg/m³ arasında değişmesidir. Bunun yanısıra Şekil 4.1’de verilen grafikte görüldüğü gibi porozite oranının artması da birim hacim ağırlık değerinin azalmasına neden olmaktadır.

Tüm bu verilere göre %10 ve üzeri perlit karışımlı hafif beton numuneleri 1500 kg/m³ birim hacim ağırlığının altında bir değere sahip olduğu için hafif beton sınıfına girmektedir. Refeans ve PHB5 numunesi ise normal beton sınıfına girmektedir.



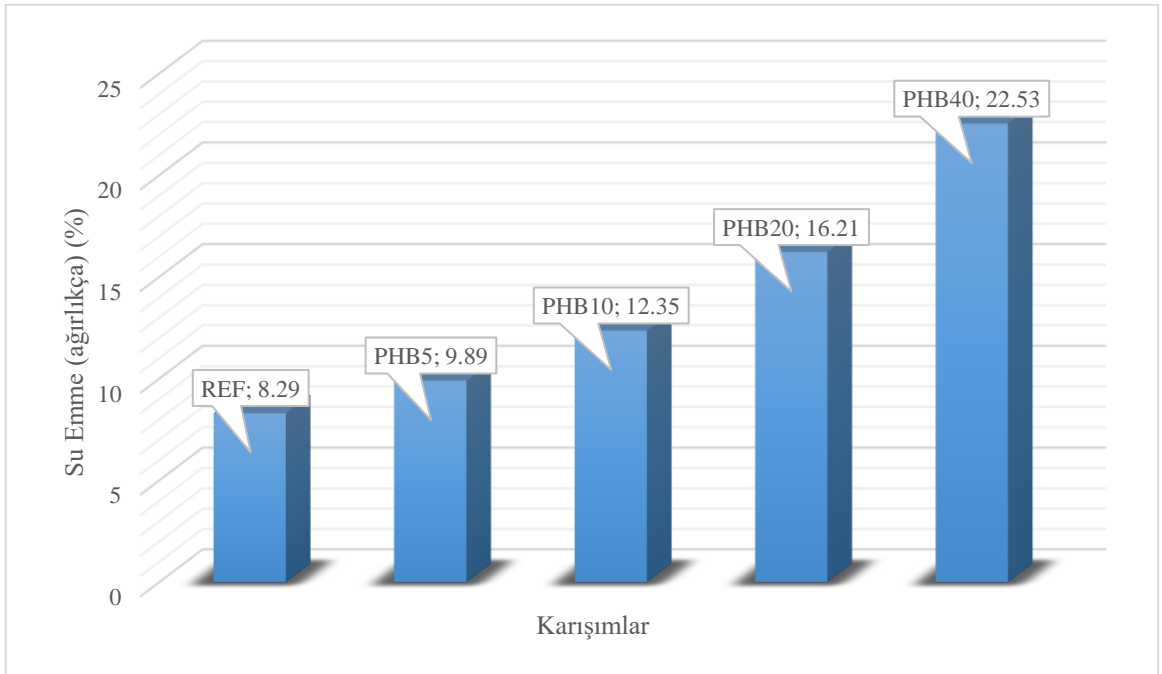
Şekil 4.2. Numunelerin birim hacim ağırlık değer grafiği

Literatürde yer alan ve Alyousef ve ark., (2019), Zhan ve ark., (2020), Benjeddou ve ark., (2023) yapmış oldukları çalışmalarda perlit katkısının betonun birim hacim ağırlığında azalma meydana getirdiğini bildirmiş ve bu durum çalışmamızı desteklemiştir.

4.1.3. Su emme (ağırlıkça)

Refeans ve katkılı numunelere ait su emme oranları Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, numunelerin su emme değerlerinin %8.29 ile %22.53 arasında değiştiği görülmüştür. En düşük su emme değeri REF numunesinden elde edilirken en yüksek su emme oranının PHB40 numunesine ait olduğu görülmüştür.

Tabloda perlit miktarının artmasıyla su emme oranının arttığı anlaşılmaktadır. Bunun nedeninin genişleştirilmiş perlit agregasının gözenekli bir yapıda olması nedeniyle su emme özelliğine eğilimli olmasıdır. Bir diğer nedeni ise yine yüksek gözenekliliğe sahip perlitin hafif betonun gözenek yapısını önemli derecede arttırması olarak düşünülmektedir. Şekil 4.1’de verilen porozite değerleri de su emme miktarının artmasını destekler niteliktedir.



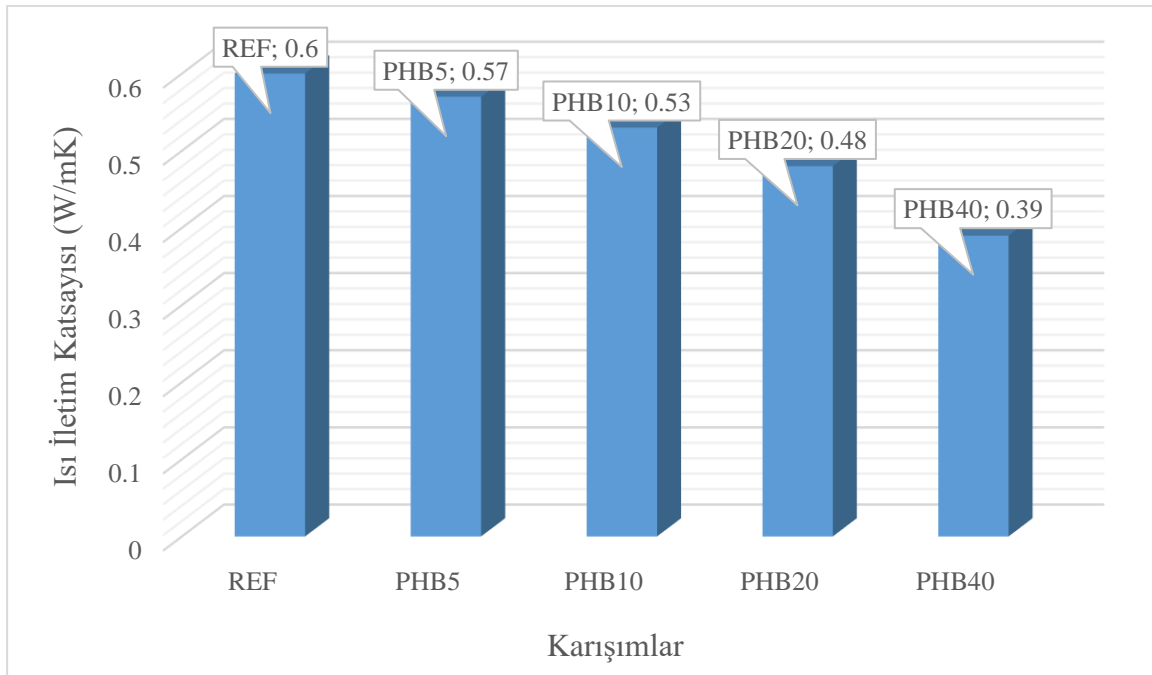
Şekil 4.3. Numunelerin su emme (ağırlıkça) grafiği

Zhang ve ark., (2020) ve Kolak ve Oltulu (2023) yapmış oldukları çalışmalarda tez çalışmasına paralel ve çalışmayı destekler nitelikte sonuçlar elde etmişlerdir.

4.1.4. Isı iletim katsayısı tayini

Bir malzemenin ısı özelliklerinin belirlenmesinde en etkili parametre ısı iletim katsayısıdır. Şekil 4.4’de refeans ve katkılı numunelerin ısı iletim katsayısının bulunduğu grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde; ısı iletim katsayısının 0.6 W/mK ile 0.39 W/mK arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek değer REF numunesinden elde edilirken en düşük değer PHB40 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Numunelerin

ısı iletim katsayısının sırasıyla, 0.6 W/mK, 0.57 W/mK, 0.53 W/mK, 0.48 W/mK ve 0.39 W/mK olduğu görülmüştür. Başka bir ifadeyle perlit miktarının artmasıyla numunelerin ısı iletim katsayısında azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum üç şekilde açıklanabilmektedir. Birincisi, 0.040-0.055 W/mK gibi çok düşük bir termal iletkenliğe sahip olan genişletilmiş perlit agregasının yalıtım özelliğidir. İkincisi, genişletilmiş perlit yüzdesi arttığında gözenekliliğin artması ve adından hava içeriğinin yaklaşık 0.02 W/mK'lik çok düşük termal iletkenliği nedeniyle termal iletkenliğin azalmasıdır (Khan ve ark., 2021). Üçüncüsü ise, hafif betonun ısı iletkenliklerinin kullanılan agregalardan ve özellikle genişletilmiş perlit agregası (0.040 W/mK) ve atık mermer tozunun (2.9 W/mK (Alyousef ve ark., 2019)) ısı iletkenliklerinden güçlü bir şekilde etkilendiğidir. Alyousef ve ark., (2019), Arman (2020), Koçyiğit ve ark., (2020), Benjeddou ve ark., (2023), Kolak ve Oltulu (2023) ve Balbuena ve ark., (2024) yapmış oldukları çalışmalarda genişletilmiş perlit agregası miktarının artmasıyla ısı iletim katsayısının azaldığını bildirmiş ve bu sonuçların tezimizle paralel olduğu görülmüştür.

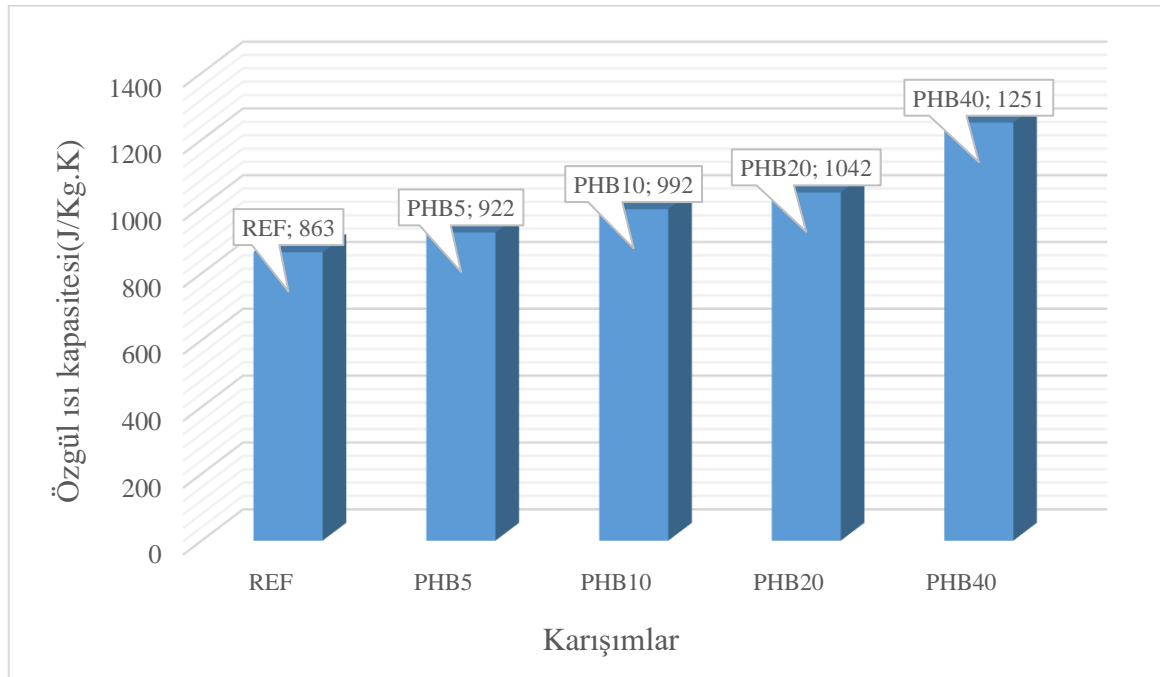


Şekil 4.4. Numunelerin ısı iletim katsayısı grafiği

4.1.5. Özgül ısı kapasitesi

Refeans ve katkılı numunelere ait özgül ısı kapasite değerleri Şekil 4.5’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde; özgül ısı kapasitesi değerlerinin 863 J/Kg.K ile 1251 J/Kg.K arasında değiştiği görülmektedir. En düşük değer REF numunesinden elde edilirken en yüksek değer PHB40 numunesinden elde edildiği görülmüştür. Yani genişletilmiş perlit miktarının artmasıyla özgül ısı kapasitesi değerinde artış meydana

gelmiştir. Bu artışın birçok nedeni bulunmaktadır. Bunlardan biri geliştirilmiş perlit agregasının özgül ısı kapasitesi değerinin atık mermer tozu değerinden daha düşük olmasıdır. Bir diğer neden ise geliştirilmiş perlit agregasının eklenmesiyle oluşan gözeneklilik artışının, hafif betonun termal iletkenliğini azaltma eğiliminde olmasıdır. Bu azalma geliştirilmiş perlit agregası kütle oranının artması atık mermer tozu kütle oranının azalması ile artış göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, özgül ısı kapasitesi ve termal direncin ters oranlı olduğunu göstermektedir. Örneğin; beton karışımına %10 oranında geliştirilmiş perlit agregası eklenmesi durumunda özgül ısı kapasitesi %14.95 oranında artış gösterirken, ısı iletim katsayısı %11.66 azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, %20'den fazla geliştirilmiş perlit agregası ilave etmenin, ısıyı depolamak ve daha iyi termal performans üretmek için bir malzeme kapasitesi olarak dikkate alınabilecek termal yalıtımlı hafif bir beton sağladığı sonucuna varabilmektedir.



Şekil 4.5. Numunelerin özgül ısı kapasitesi grafiği

4.2. Katkılı Hafif Beton Numunelerinin Mekanik Deneyleri

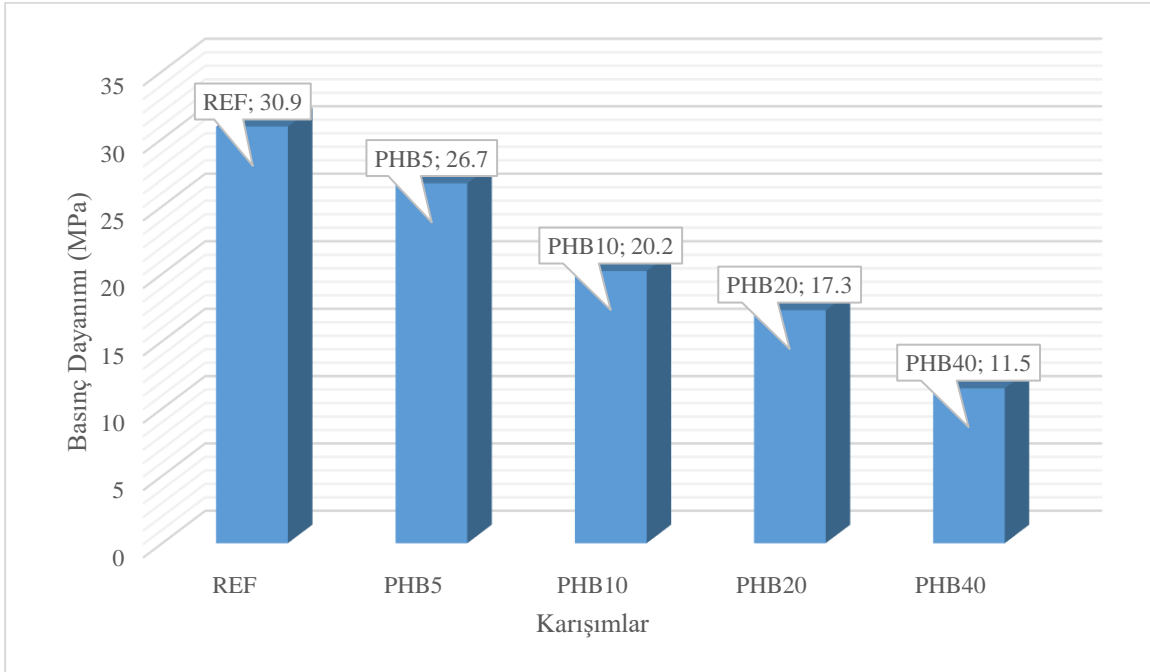
4.2.1. Basınç dayanımı

Bir malzemenin aranan özelliklerinden biri de basınç dayanımıdır. Şekil 4.6'da tez kapsamında üretilen numunelere uygulanan basınç dayanımı deney sonuçlarının bulunduğu grafik verilmiştir. Grafik baz alındığında, en yüksek basınç dayanımı 30.9 MPa ile REF numunesinden, en düşük basınç dayanımı ise 11.5 MPa ile PHB40 numunesinden elde edilmiştir. Çalışmada geliştirilmiş perlit oranının artmasıyla basınç dayanımında azalma meydana geldiği görülmüştür. Geliştirilmiş perlitin gözenekli

yapısı ve agrega olarak basınç dayanımının düşük olması bu azalmanın nedeni olarak açıklanabilmektedir. Basınç dayanımı düşük agrega kullanımı üretilen betonun basınç dayanımını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Hafif betonlar, basınç dayanımlarına göre farklı gruplara ayrılmaktadır (ACI, 2003). Basınç dayanım değeri 17.2 MPa'nın üzerinde olan numuneler yapısal hafif beton gurubuna girmektedir. Bu bağlamda, %5, %10 ve %20 oranında geliştirilmiş perlit katkılı numueler yapısal hafif beton sınıfına girmektedir. 17.2 MPa basınç dayanımının altında bir basınç dayanımına sahip olan PHB40 numunesi (11.3 MPa) yalıtım betonu sınıfında yer almaktadır. Bu çalışmada üretilen tüm karışımların aynı su/çimento oranına sahip olduğu ve su/çimento oranını düşürerek daha yüksek dayanımlar elde edilebileceği vurgulanmaktadır.

Yapılan çalışmalar irdelendiğinde; Alyousef ve ark., (2019) yapmış olduğu çalışmada, geliştirilmiş perlit miktarının artması hafif betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediğini bildirmiştir. Topçu ve Işıkdag (2008), Khonsari ve ark., (2010), Şengül ve ark., (2011), Tapan ve ark., (2019) ve İbrahim ve ark., (2020) yılında yapmış oldukları çalışmada perlit miktarının artmasının hafif betonun basınç dayanımında azalmaya neden olduğunu ifade etmişlerdir.

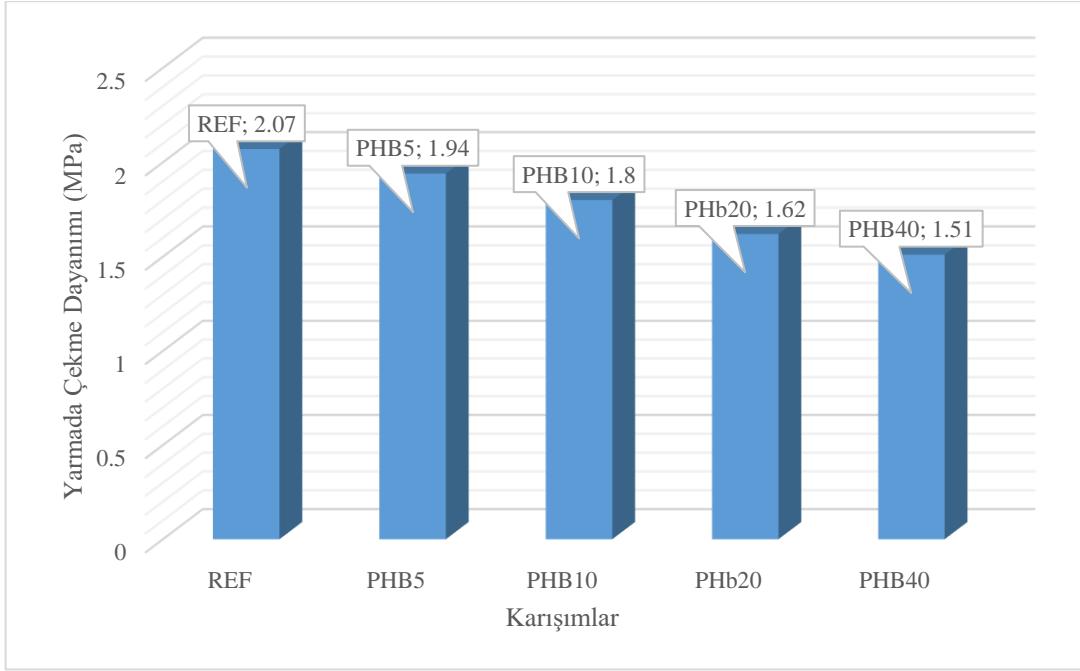


Şekil 4.6. Numunelerin basınç dayanımı grafiği

4.2.2. Yarmada çekme dayanımı

Tez çalışması kapsamında üretilen numunelere uygulanan mekanik deneylerden bir diğeri de yarmada çekme dayanımıdır. Numunelere ait yarmada çekme dayanımı

değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekilde yer alan grafikte; yarmada çekme dayanımı değerlerinin 2.07 MPa ile 1.51 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Katkılı numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri sırasıyla 1.94 MPa, 1.8 MPa, 1.62 MPa ve 1.51 MPa’dır. Grafikte anlaşıldığı üzere genişletilmiş perlit miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanımında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.7. Numunelerin yarmada çekme dayanımı grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Erzincan bölgesinden çıkarılan perlitten elde edilen geliştirilmiş perlit ve Kırşehir bölgesinden çıkarılan mermerlerden üretilen atık mermer tozu kullanılarak hafif beton üreimi yapılmış elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Tez kapsamında üretilen numunelerin birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, PHB40 numunesinin en düşük birim hacim ağırlık değerine sahip olduğu görülmüştür. Genleştirilmiş perlit katkısı birim hacim ağırlık değerinin düşmesine neden olmuştur.

2. Genleştirilmiş perlit katkısı su emme değerinin artmasına neden olmuş ve en yüksek su emme oranı %22.53 ile PHB40 numunesinden elde edilmiştir.

3. Porozite değerleri baz alındığında geliştirilmiş perlit agregasının porozite oranında artışa neden olduğu görülmüştür. En yüksek porozite değeri PHB40 numunesinden elde edilmiştir.

4. Porozite ve su emme değerleri mukayese edildiğinde porozite değerinin artmasının su emme oranının da artmasına neden olduğu ve aralarında doğusal bir ilişki olduğu görülmüştür.

5. Numunelerin ısı iletim katsayıları geliştirilmiş perlit oranının artmasıyla azalmaya eğilimli olduğu görülmüştür. En düşük ısı iletim katsayısı PHB40 numunesine ait olduğu tespit edilmiştir.

6. Porozite ve ısı iletim katsayısı değerleri incelendiğinde numunelerin porozite değerlerinin artması ısı iletim katsayısının azalmasına neden olmuştur. Bir başka deyişle gözenek oranının artması numunelerin termal özelliklerini iyileşdiği sonucu çıkarılmıştır.

7. Genleştirilmiş perlit miktarının artmasının numunelerin özgül ısı kapasitesini arttırdığı görülmüştür. En düşük özgül ısı kapasitesi REF numunesinden, en yüksek özgül ısı kapasitesi ise PHB40 numunesinden elde edilmiştir.

8. Genleştirilmiş perlit, numunelerin basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Genleştirilmiş perlitin artması basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur.

9. %20 oranına kadar geliştirilmiş perlit agregalı numunelerin yapısal hafif beton sınıfına, %40 geliştirilmiş perlit agregalı numunelerin ise yalıtım betonu sınıfına girdiği görülmüştür.

10. Genleştirilmiş perlit miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanım değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür.

11. Genleştirilmiş perlit ikamesinin ısı iletim katsayısı ve özgül ısı kapasitesi değerlerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

12. Genleştirilmiş perlit ikamesi betonun birim hacim ağırlığını azalmak için alternatif bir malzeme olabileceği görülmüştür.

13. Genleştirilmiş perlit kullanımı ile olumsuz yönde ekilenen su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi alternatif atıklarla arttırılabilir.

14. Tez çalışmasında atık mermer tozu kullanımı sadece firmanın atık depolama maliyetlerini düşürmekle kalmayıp dolaylı yoldan ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır.

15. Perlit gibi doğal kaynakların inşaat sektöründe kullanımı teşvik edilmelidir.

16. Genleştirilmiş perlit ve atık mermer tozu sadece hafif betonda kullanımı ile sınırlı kalmayıp tuğla gibi yapı malzemelerinin üretimi içinde kullanılmalıdır.

17. Atık mermer tozu gibi endüstriyel atıkların sadece inşaat değil başka alanlarda da aktif bir şekilde kullanılması önerilmektedir. Bu durum atık bertarafı için etkili bir çözüm olacaktır.

18. Atık mermer tozu kullanımı sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm için iyi bir seçim olacaktır.

19. Atıkların çevreye bırakılmak yerine farklı sektörlerde tüketilmesi çevre ve insan sağlığına olumlu yönde etki edeceği düşünülmektedir.

20. Bu çalışmaların literatürde kalmayıp uygulamaya dönüştürülmesi devlet tarafından desteklenmelidir.

6. KAYNAKÇA

- Abdelaal, A., Elkatatny, S., & Abdel Fattah, A. M. (2024). Perlite incorporation for sedimentation reduction and improved properties of high-density geopolymer cement for oil well cementing. *Scientific Reports*, 14(1), 9707.
- Abdelzaher, M.A. (2021). Experiential investigation on the effect of heavy fuel oil substitution by high sulfur petcoke on the physicomechanical features and microstructure of white cement composites. *Engineering Research Express*, 3, 015028.
- Afshari, H., Ashraf, S., Ebadi, A. G., Jalali, S., Abbaspour, H., Daliri, M. S. & Rasool Toudar, S. (2011). Study of the effects irrigation water salinity and pH on production and relative absorption of some elements nutrient by the tomato plant. *American Journal of Applied Sciences*, 8(8), 766–772.
- Ahmad, A. & Al-Hadhrami, L.M. (2009). Thermal performance and economic assessment of masonry bricks, *Thermal Science*, 13(4), 221–232.
- Ahmed, M. (2015). Development of structural lightweight concrete utilizing local materials (Master's thesis). <https://eprints.kfupm.edu.sa/id/eprint/139529/>
- Aldakshe, A., Çağlar, H., Çağlar, A., & Avan, Ç. (2020). The investigation of use as aggregate in lightweight concrete production of boron wastes. *Civil Engineering Journal*, 6(7), 1328-35.
- Al-Daraji, M. & Aljalawi, N. (2024). The effect of kevlar fibers on the mechanical properties of lightweight Perlite Concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(1), 12906-12910.
- Alduaij, J., Alshalah, K., Haque, M.N. & Ellaithy K. (1999). Lightweight concrete in hot coastal areas. *Cement and Concrete Composites*, 21, 453–8.
- Al-Khaiat, H. & Haque, M.N. (1999). Effect of curing on concrete in hot exposure conditions. *Magazine of Concrete Research*, 51(4):269–74.
- Al-Shammari, T. Z. K. (2023). Kırşehir Yöresi Atık Mermer Tozunun Çevre Dostu Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 31s.
- Alyousef, R., Benjeddou, O., Soussi, C., Khadimallah, M.A. & Jedidi, M. (2019). Experimental study of new insulation lightweight concrete block floor based on perlite aggregate, natural sand, and sand obtained from marble waste. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019(1), 8160461.

- Alyousef, R., Benjeddou, O., Soussi, C., Khadimallah, M. A. & Mustafa Mohamed, A. (2019). Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019(1), 4609353.
- Arifuzzaman, M. & Kim, H. (2015). Novel mechanical behaviour of perlite/sodium silicate composites. *Construction and Building Materials*, 93, 230-240.
- Arman, S.K. (2020). *Beton Yol Kaplamasında Perlit Ve Mermerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, 52s.
- Bakshi, P., Pappu, A., Patidar, R., Gupta, M.K. & Thakur, V.K. (2020). Transforming marble waste into high-performance, water-resistant, and thermally insulative hybrid polymer composites for environmental sustainability. *Polymers*, 2020(12), 1781.
- Bakshi, P., Pappu, A., Bharti, D.K., Patidar, R. & Gupta, M.K. (2021). Sustainable development of particulate reinforced composites by recycling marble waste for advanced construction applications: Ultra-low water absorption, remarkable thermal and mechanical behaviour. *Waste Biomass Valorization* 2021(12), 6449–6464.
- Balbuena, J., Sánchez, M., Sánchez, L., & Cruz-Yusta, M. (2024). Lightweight Mortar Incorporating Expanded Perlite, Vermiculite, and Aerogel: A Study on the Thermal Behavior. *Materials*, 17(3), 711-725.
- Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı. (2011). *Doğaltaş Sektörü Raporu*. Isparta: Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı.
- Başer, O. (2009). *Stabilization Of Expansive Soils Using Waste Marble Dust*, Master's Thesis, Middle East Technical University The Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara, 57s.
- 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.
- Bergama Perlit, (2024). Perlit. Erişim: https://bergamaperlite.com/?page_id. Erişim tarihi:18.09.2023
- Birawidha, D. C., Sudibyo, S., Hendronursito, Y., Amin, M., Prasetyo, E., Marjunus, R., Asmi, D. & Prinanti, P. (2024, February). Analysis of adhesive variation and

- pressure on light bricks made from perlite and basalt. *In AIP Conference Proceedings*, (3003(1). AIP Publishing.
- Bulgurcu, H. (2009). Genleşmiş perlit içeren çimento ve alçı bağlayıcılı yapı malzemelerinin ısı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. *ULIBTK 09 17.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Sivas.
- Chaid, R., Jauberthie, R., Zeghiche, J. & Kherchi, F. (2011). Impact de la poudre de marbre conjuguée au calcaire du CEM II sur la durabilité du béton. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 15, 427–445.
- Chandra, S. & Berntsson, L. *Lightweight Aggregate Concrete*, 1st ed.; Noyes Publications: Norwich, UK, 2002; p. 450. ISBN 978-0815514862.
- Ciullo, P. A. (1996). *Industrial minerals and their uses: a handbook and formulary*. Westwood, N.J. : Noyes Publications.
- Çelik, A., Kılıç, A. & Çakal, G. (2013). Expanded perlite aggregate characterization for use as a lightweight construction raw material. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(2), 689-700.
- Çelik, D.N. (2018). *Genleştirilmiş Perlit İçeren Geopolimer Bağlayıcılı Isı Yalıtım Panellerinin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 37s.
- Çınar, M. (2019). *An Investigation Of Fresh And Hardened Properties Of Cementitious Grout Made With Combined Use Of Waste Marble Powder And Fly Ash*, Ph.D. Thesis, Hasan Kalyoncu University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Gaziantep, 84s.
- Doğan, M., & Alkan, M. (2003). Removal of methyl violet from aqueous solution by perlite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 267(1), 32-41.
- Doğan, M., & Alkan, M. (2004). Some physicochemical properties of perlite as an adsorbent. *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(3), 1-18.
- Doğusan Boru Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2024). Perlit. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.seraper.com.tr>. Erişim Tarihi: 18.08.2024.
- Duman, M. (2023). *Investigation Of The Value Added In The Marble Sector: Evidence From Afyonkarahisar Marble Sector*, Master's Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School Of Social Sciences, İzmir, 65s.
- El-Kattan, I.M., Abdelzaher, M.A. & Farghali, A.A. (2020). Positive impact of ultra fine-ceramic waste on the physico-mechanical features and microstructure of white

- cement pastes composites. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 9395-9402.
- Ennis, D. J. (2011). Perlite mining and reclamation in the no aqua peaks, Taos County, New Mexico. *New Mexico Geological Society Guidebook, 62nd Field Conference Geology of Tusas Mountains-Ojo Caliente*. 409–418.
- Eraslan, H., İplikçiöğlü, İ. And Haşit, G. & Erşahan, B. (2008). Bilecik mermer sektörünün uluslararası rekabetçilik analizi: sektörel sorunlar ve çözüm önerileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10): 193-217.
- Ertaş, F, Döven, S. & Özyer, K. (2011). Tokat İli Mermer Endüstrisi Sektör Araştırması ve Rekabetçilik Analizi. Tokat: Tokat Sanayi ve Ticaret Müdürlüğü.
- Eser, H. (2014). *High Performance Structural Lightweight Concrete Utilizing Natural Perlite Aggregate And Perlite Powder*, Master's Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 63s.
- Garcia, A., Mercedal, P. & Llanza, I. (2009). Interdisciplinary Studies on Ancient Stone. Master's Thesis, Institut Català d'Arqueologia Clàssica, Tarragona, 25s.
- Gündüz, L., Şapçı, N. & Bekar, M. (2006). Bims betonların geliştirilmiş perlit agregalar ile teknik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine teknik bir analiz. *4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 1-12.
- Gür, Ö.S. (2023). *Yüksek Fırın Cürufu Esaslı Geopolimer Harçların Sülfat Dayanıklılığına Genleştirilmiş Perlit Agregasının Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 37s.
- Gürcan, S. and Sabah, E. (2003). Türkiye ve Afyon'da Mermer Sektörünün Gelişim Trendi. Afyonkarahisar: Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı.
- Haery, H. A. (2017). Elastic and mechanical properties of expanded perlite and perlite/epoxy foams, Doctoral Thesis, University of Newcastle, Faculty of Engineering and Built Environment School of Engineering, Australia, 58s.
- Haggag, F. (2012). Economic and Financial Valuation of the Marble Industry in Egypt. Cairo: The American University in Cairo.
- Haque, M.N. & Al-Khaiat, H. (1999). Strength and durability of lightweight concrete in hot marine exposure conditions. *Materials and Structures*, 32(August–September), 533–8.
- Haque, M.N., Al-Khaiat, H., & Kayali, O. (2004). Strength and durability of lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4), 307-314.

- Hatch, (2018). HKEXnews:
http://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2011/0307/01380_1017369/E114.
Pdf. Erişim Tarihi: 12.03.2024).
- Hnaihen, K.H., (2020). The appearance of bricks in ancient mesopotamia. *Athens Journal of History*, 6(1), 73-96.
- Ibrahim, M., Ahmad, A., Barry, M. S., Alhems, L. M., & Mohamed Suhoothi, A. C. (2020). Durability of structural lightweight concrete containing expanded perlite aggregate. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2020(14), 1-15.
- International Trade Center. (2023). <https://www.trademap.org/>. Erişim Tarihi: 24.09.2023
- İpek, M., İyiliksever, R. & Yılmaz, K. (2014) Atık mermer bulamacının reaktif pudra betonunun mekanik özelliklerine etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18(3), 183-192.
- Jaworska, B., Stańczak, D., & Łukowski, P. (2024). The Influence of Waste Perlite Powder on Selected Mechanical Properties of Polymer–Cement Composites. *Buildings*, 14(1), 181-193.
- Jedidi, M., Benjeddou, O. & Soussi, C. (2015). Effect of expanded perlite aggregate dosage on properties of lightweight concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 2015(9), 278–291.
- Jia, Z., Li, D., Chen, T., Zhong, S., Chen, G., Wang, Z., Wang, H., Wang, Y. & Feng, Z. (2024). Study on stress–strain curve and damage evolution model of expanded perlite concrete under uniaxial compression. *Structural Concrete*, DOI: 10.1002/suco.202300902.
- Jiang, S., Wang, Y., Hua, S., Yue, H., & Zhang, Y. (2024). Preparation and performance characterization of low-density 3D-printed expanded perlite–foam concrete. *Applied Sciences*, 14(15), 6796.
- Johnson, C., Affolter, M.D., Inkenbrandt, P. & Mosher, C. (2017) An Introduction to Geology, Salt Lake Community College, 484p
- Jsem, M., & Fawzi, N.M. (2024). Effect of expanded perlite aggregate and silica fume on some properties of lightweight concrete. *Journal of Engineering*, 30(05), 172-185.

- Kalkınma Bakanlığı. (2018). Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Ankara.
- Kandil, A. & Selim, T. (2011). Characteristics of The Marble. Cairo: The American University in Cairo.
- Kavas, T. & Kibici, Y. (2001) Afyon Bölgesi Mermer Atıklarının Portland Kompoze Çimentosu Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanım Olanakları, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2001) Bildiriler Kitabı (3-5 Mayıs 2001)*, 327-335, Afyonkarahisar/Türkiye.
- Kayali, O.A. & Haque, M.N. (2000). Status of SLWC in Australia as the new millennium dawns. *Concrete of Australia*, 25(4), 22–5.
- Khan, A., Patidar, R. & Pappu, A. (2021). Marble waste characterization and reinforcement in low density polyethylene composites via injection moulding: Towards improved mechanical strength and thermal conductivity. *Construction and Building Materials*, 2021(269), 121229.
- Kherbache, S., Bouzidi, N., Bouzidi, M.A., Moussaceb, K. & Tahakourt, A.K. (2016). The behavior of the concretes and mortars reinforced by metallic fibers wastes as substitution of cement. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2016(7), 18–29.
- Khonsari, V., Eslami, E. & Anvari, A. (2010). Effects of expanded perlite aggregate (EPA) on the mechanical behavior of lightweight concrete, in *Proceedings of the 7th international conference on fracture and mechanics of concrete & concrete structure (FraMCoS-7)*, Jeju, Korea, 1354–1361.
- Kocabağ, D. (2018) Sürdürülebilir madencilik bağlamında mermer sanayi ve mermer atıklarının değerlendirilmesi, *Muğla Büyükşehir Belediyesi Kültür Yayınları*, 6, 51-92.
- Koçyiğit, Ş., Vedat Veli, Ç. A. Y., & Koçyiğit, F. (2018). Comparison Of The Measured Thermal Conductivities Of The Light Material Produced From The Mixture Of Perlite, Marble Dust And Tragacanth With The Advanced Theoretical Thermal Conductivity Results. *International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC 2018)*, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- Kolak, M. N., & Oltulu, M. (2023). Effect of expanded perlite addition on the thermal conductivity and mechanical properties of bio-composites with hemp-filled. *Journal of Building Engineering*, 71, 106515.

- Kumaraswamy, J., Kumar, V. & Purushotham, G. A. (2021). Review on mechanical and wear properties of ASTM a 494 M grade nickel-based alloy metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 2021(37), 2027–2032.
- Kun, N., Mermer Jeolojisi ve Teknolojisi, Tezer Matbaası, İzmir, 2000
- Kusiorowski, R., Witek, J., Majchrowicz, I., Kleta, A., & Jirsa-Ociepa, A. (2019). Fire barrier based on expanded perlite composites. *13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques*. May 16- 17, 2019. Vilnius, Lithuania.
- Lamprecht, H.O. (1996). *Opus Caementitium: Bautechnik der Römer*, 5th ed.; Beton-Verlag GmbH: Düsseldorf, Germany, 1996; p. 264. ISBN 3-7640-0350-2
- Lasfar, S., Moualli, F.I., Latrach, A., Chergui, M., Choukir, A. & Diab, A. (2015). Resistance of two different types of concrete pipes used in sewer systems under sulfuric acid and sodium sulfate attacks. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2015(6), 3002–3014.
- Mercan, E. (2021). *Production Of Aerogel-Modified Expanded Perlite Aggregate And Clay (AEP/C) Board And Investigation Of Physical And Mechanical Properties*, Master's Thesis, Department Of Interior Architecture And Environmental Design İhsan Doğramacı Bilkent University, Ankara, 74s.
- MTA (Maden Tetkik Arama), (2024). Türkiyede maden yatakları. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/maden-yataklari> Erişim Tarihi: 20.08.2024.
- MTA (Maden Tetkik Arama), (2024). https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/mermer.jpg Erişim Tarihi: 20.06.2024.
- Nicholson, D.T. (1995) The Visual Impact of Quarrying, *Quarry Management*, 22(7), 39-42
- Oates, J. A. H., Lime and Limestone, Wiley-VCH, Weinheim, 1998.
- Olbak, S.N.M. (2016). Kentsel dönüşüm uygulanmış 5 katli iki yapı örneğinin deneysel verileri kullanılarak doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile güçlendirme sonuçlarının irdelenmesi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 8(31), 145-166.
- Otis, L. M. (1960). Perlite, in Mineral facts and problems. Washington, WA: United states Government Printing Office.
- Oza, R. B., Kangda, M. Z., Agrawal, M. R., Vakharia, P. R., & Solanki, D. M. (2022). Marble dust as a binding material in concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 60, 421-430.

- Ozden, A. (2010). *A Research on The Relationship Between Compressive and Tensile Strength of Concrete with Modulus of Elasticity*. MSc. Thesis, Namık Kemal University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Hatay, 23s.
- Perlite Institute, <http://www.perlite.org/>. Erişim Tarihi:05.01.2024
- Pooja, J.C. & Prof, S.D.B. (2014). To Study the Behaviour of Marble Powder as Supplementary Cementitious Material in Concrete. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2014(4), 377-381.
- Qasim, A. J., & Fawzi, N. M. (2024). Enhancement of Perlite Concrete Properties containing Sustainable Materials by Incorporation of Hybrid Fibers. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(3), 13870-13877.
- Rapor, (2024). Aksaray ili perlit genleştirme tesisi kurulumu ön fizibilite raporu. <https://www.yatirimadestek.gov.tr/pdf/assets/upload/fizibilite/aksaray-ili-perlit-genlestirme-tesisi-on-fizibilite-raporu-2021.pdf> Erişim Tarihi:21.03.2024
- Rashad, A.M. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. *Construction and Building Materials*, 2018(170), 757–775.
- Rasool, A.M., Hameed, I.A., Qureshi, M.U., Ibrahim Y.E., Icon, A, O, Q. & Sumair, A., (2023). Experimental study on strength and endurance performance of burnt clay bricks incorporating marble waste, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(1), 1-15.
- Roulia, M., Chassapis, K., Fotinopoulos, C., Savvidis, T., & Katakis, D. (2003). Dispersion and sorption of oil spills by emulsifier-modified expanded perlite. *Spill Science and Technology Bulletin*, 8(5–6), 425–431.
- Saleh, H., Al-Kahlidi, M.M.A., Abulridha, H.A., Banoon, S.R. & Abdelzaher, M.A. (2021). Current situation and future prospects for plastic waste in maysan governorate: Effects and treatment during the COVID-19 pandemic. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(8), 4449-4460.
- Shastri, D. & Kim, H. (2014). A new consolidation process for expanded perlite particles. *Construction and Building Materials*, 2014(60), 1-7.
- Shenoy, S., Mahshook, A., Bhat, A. K., & Ahmed, S. K. (2024, August). Performance study on laterite block with perlite. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1387(1), 012009. IOP Publishing.
- Shokshok, M.M. (2024). *The Use Of Waste From Marble Workshops As An Alternative To Fine And Coarse Aggregates For The Production Of Concrete*, Altınbaş University Institute of Graduate Studies Civil Engineering, İstanbul, 85s.

- Singh, M., & Garg, M. (1991). Perlite-based building materials-a review of current applications. *Construction and Building Materials*, 5(2), 75–81.
- Şengül, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., & Tasdemir, M. A. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 671-676.
- Taherishargh, M., Belova, I. V., Murch, G. E., & Fiedler, T. (2014). Low-density expanded perlite–aluminium syntactic foam. *Materials Science and Engineering: A*, 2014(60)4, 127-134.
- Tamzok, N. & Anaç, S. (2007). *The Mining Industry in Türkiye*. Ankara
- Tantawy, M.A., El-Roudi, A.M., Abdalla, E.M. & Abdelzaher, M.A. (2013). Fire resistance of sewage sludge ash blended cement pastes. *Journal of Engineering*, 2013(1), 361582.
- Tapan, M., & Engin, C. (2019). Effect of expanded perlite aggregate size on physical and mechanical properties of ultra lightweight concrete produced with expanded perlite aggregate. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(3), 845-855.
- TCKB (Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı), (2016). Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu, Perlit çalışma grubu rezervler ve üretim. Türkiye Cumhuriyeti Kalkınma Bakanlığı.
- The Steering Committee of the Trustone Initiative. (2021). Internationaal Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen. <https://www.imvoconvenanten.nl/-/media/imvo/files/natuursteen/social-conditionschina.pdf>. Erişim Tarihi: 20.04.2024
- Thienel, K. C., Haller, T., & Beuntner, N. (2020). Lightweight concrete—From basics to innovations. *Materials*, 13(5), 1120.
- Tian, Y., Guo, X., Wu, D. & Su, S. (2013). A study of effect factors on sodium silicate based expanded perlite insulation board strength. *Applied Mechanics and Materials*, 405, 2771-2777.
- Topal, E.S (2023). *Use Of Natural Perlite Aggregate And Perlite Powder In Reinforced Concrete Beam Produced With Self-Compacting Lightweight Concrete*, Ankara Yıldırım Beyazıt University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Ankara, 77s.
- Topçu, I. B., & Işıkdağ, B. (2008). Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of Materials Processing Technology*, 204(1–3), 34–38.

- Trade Map. (2021). Trade Map Web Sitesi: www.trademap.org. Erişim Tarihi:03.05.224
- TS 2511, (2024). Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 415 EN 12939, (2005). Yapı malzemelerinin ve mamullerinin ısı performans-Mahfazalı sıcak plâka cihazı ve ısı akış sayacı metotları ile ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli kalın mamuller, 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 12667, (2003). Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performansı-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamulleri. 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, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun 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.
- TS EN 772-1, (2015). Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 8990, (2002). Isı yalıtımı- Kararlı durum ısı iletim özelliklerinin tayini-Kalibre edilmiş ve mahfazalı sıcak kutu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunç, S. (2021). *The Investigation Of The Use Of Marble Plant Wastes In Composite Slab Production*, Master's Thesis, Muğla Sıtkı Koçman University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Muğla, 55s.
- Turp, S. (2018). Mn²⁺ and Cu²⁺ adsorption with a natural adsorbent: Expanded perlite. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018(16), 5047-5057.
- Ulubeyli, G.C., Bilir, T. & Artir, R. (2016). Durability properties of concrete produced by marble waste as aggregate or mineral additives. *Procedia Engineering*, 2016(161), 543-548.

- U.S. Geological Survey. (2015). Mineral commodity summaries. Erişim Tarihi:30.12.2023.
- Uzal, B., Turanlı, L. & Mehta, P.K. (2007). High-volume natural pozzolan concrete for structural applications, *ACI Materials Journal*, 104(5), 535-552.
- Uyanık, T. (2010). Doğal Taşlar. Ankara: T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi.
- Ural, N., & Yakşe, G. (2015). Atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 53-62.
- URL 1. <https://www.ismetyurteri.com/mermer-tozu-mozaik/>. Erişim Tarihi: 24.06.2024.
- URL 2: <https://properperlit.com.tr/ham-perlit/> ve <https://www.aspayapi.com/genlestirilmis-perlit/>. Erişim Tarihi: 20.07.2024.
- Vardhan, K., Siddique, R. & Goyal, S. (2019). Influence of marble waste as partial replacement of fine aggregates on strength and drying shrinkage of concrete. *Construction and Building Materials*, 228, 116730.
- Yan, Y., Liu, W., Li, Z., Jia, G., Zhang, Y., Ma, G., & Gao, Y. (2024). Mechanical properties and frost resistance of self-healing concrete based on expanded perlite with different particle sizes as microbial carrier. *Construction and Building Materials*, 422, 135450.
- Yılmaz, A. (2005). Enerji tasarrufunda bor ve perlit. Ankara: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü.
- Yılmaz, S. C. (2024). *Nevşehir Bölgesi Pomzası Ve Pirinç Kabuğu Külünün Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir, 61s.
- Yiğit, C. (2023). *Poliüretan Esaslı Ürünlerde Genleştirilmiş Perlit Katkısı İle Mekanik Özelliklerin Ve Ses Yalıtkanlığının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 42s.
- Zhang, Y. (2020). Partially Perfluorinated Derivatives As Powerful Components For Artwork Restoration, Doctoral Thesis, Florance University, Florance, 34s.
- Zhang, S., Cao, K., Wang, C., Wang, X., Wang, J. & Sun, B. (2020), Effect of silica fume and waste marble powder on the mechanical and durability properties of cellular concrete, *Construction and Building Materials*, 241(2020), 117980.
- Zhao, X., Liang, X., Li, Q., Xie, W., Liu, Q., Tang, Y. & Yang, H. (2024). Interface Structure Strengthening of a Mesoporous Silicon/Expanded Perlite

Microevaporator for Efficient Solar-Driven Interfacial Evaporation. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2024(15), 8964-8972.

Zou, C. (2013). Characteristics of volcanic reservoirs in petroleum exploration, Published by Elsevier, 31–90.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Mohamed Emhamed El Shebani ELITAIM
Uyruğu:	Libya
Orcid Numarası:	0009-0007-9391-9321

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Yüksek Mühendislik Meslekleri Enstitüsü
Fakülte:	Mühendislik Fakültesi
Bölümü:	İnşaat Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2010
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Mezuniyet Yılı:	2024
Doktora	
Üniversite:	
Enstitü:	
Anabilim Dalı:	
Mezuniyet Yılı:	

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Uluslararası Konferans ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler
Elitaim, M. E. E. S., Çağlar, A., & Çağlar, H. (2024). Usability of Expanded Perlite and Waste Marble Powder in Building Material Production: A Study, <i>7th International Azerbaijan Congress on Life, Engineering, Mathematical, and Applied Sciences, Azerbaijan</i> .