

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA VE PERLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT HAFİF BETON
TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Melik BAKIRHAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

POMZA VE PERLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT HAFİF BETON
TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hazırlayan
Melik BAKIRHAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN
Dr. Öğr. Üyesi Namık YALTAY
Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT

EKİM 2019

ONAY

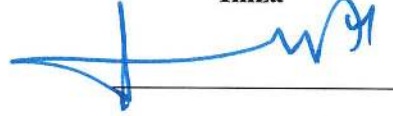
Melik BAKIRHAN tarafından hazırlanan “**Pomza Ve Perlit Kullanılarak Üretilen Kompozit Hafif Beton Tasarımı Ve Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı tez çalışması 14/10/2019 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Ünvanı, Adı ve Soyadı
(Başkan)

Prof.Dr. Hakan ÇOBAN

İmza



Ünvanı, Adı ve Soyadı
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT



Ünvanı, Adı ve Soyadı
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Namık YALTAY



Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 11../12./2019 gün ve 41../22 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK

Enstitü Müdür V.

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum **“Pomza Ve Perlit Kullanılarak Üretilen Kompozit Hafif Beton Tasarımı Ve Özelliklerinin İncelenmesi”** adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 13/11/2019

Melik BAKIRHAN



ÖZET

POMZA VE PERLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN KOMPOZİT HAFİF BETON TASARIMI VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Melik BAKIRHAN

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT

Ekim 2019, 58 Sayfa

Son yıllarda hızla büyüyen inşaat sektörü, beton teknolojisinin gelişmesini de sağlamıştır. Gelişen beton teknolojisi ve sektörün artan talepleri nedeniyle, kompozit hafif beton üzerine akademik çalışmaları da artmıştır.

Bu tezin amacı, Bitlis Pomzası ve perlit kullanılarak, kompozit hafif beton tasarımı ve özelliklerinin laboratuvar sonuçlarını sunmaktır. Tez çalışmasında bağlayıcı olarak CEM-I 42,5 N tipi çimento, agrega olarak Bitlis Pomzası ve pelit kullanıldı. Bununla birlikte, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve viskozite artırıcı ve hava sürükleyici kimyasal katkıları beton özelliklerini arttırmak için kullanılmıştır. Laboratuvarda üretilen kompozit hafif beton, 100x100x100 mm küp numuneye yerleştirilmiş, 24 saat sonra kalıplardan alınmış ve 3, 7, 28 ve 90 gün boyunca 23 ± 2 ° C su içinde kür edilmiş ve çeşitli deneylere tabi tutularak, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre perlitli hafif betonların, pomzalı hafif betonlara nazaran ısı yalıtımlarının daha yüksek, mukavemetlerinin ise daha düşük olduğu görülmüştür. Mineral katkılardan uçucu külün mukavemete olumlu etkisi görülürken, silis dumanının ise ısı yalıtım özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hafif Beton, Beton Özellikleri, Beton Tasarımı, Pomza, Perlit.

ABSTRACT

THE DESIGN AND EXAMINING PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT COMPOSITE LIGHTWEIGHT CONCRETE THAT PRODUCED WITH PUMICE AND PERLITE

Melik BAKIRHAN

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nusret BOZKURT

October 2019, 58 pages

The construction sector, which has been growing rapidly in recent years, has also enabled the development of concrete technology. Due to the developing concrete technology and the increasing demands of the sector, it has increased academic studies on composite lightweight concrete.

The aim of this thesis is to present the laboratory results of composite lightweight concrete design and properties using Bitlis Pumice and perlite. CEM-I 42,5 N type cement was used as binder and Bitlis Pumice and perlite was used as aggregate in the thesis. However, fly ash, silica fume, blast furnace slag and viscosity modifier and air entraining chemical additives were used to increase the concrete properties. The composite lightweight concrete produced in the laboratory was placed into 100x100x100 mm cubic samples, after 24 hours, it was taken from the molds and cured in 23 ° C water for 3,7,28 and 90 days and subjected to various experiments and interpreted by examining its mechanical and physical properties.

According to the data obtained from experimental studies, it is seen that lightweight concrete with perlite has higher thermal insulation and lower strength than lightweight concrete with pumice. It has been observed that from the mineral admixtures, fly ash has a positive effect on strength and silica fume have been improved properties of thermal insulation.

Keywords: Lightweight Concrete, Properties of Concrete, Desing of Concrete, Pumice, Perlite

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT'a şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan annem Gülten BAKIRHAN'a, rahmetli babam İhsan BAKIRHAN'a, yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen kıymetli eşim Rabia Hanım'a, varlıkları ile birer motivasyon kaynağı olan ailemin her ferdine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasında teknik desteklerini esirgemeyen değerli meslektaşlarım Makbule Tansu BAYDAŞ'a, Ozan Erden KARACA'ya, Nail ESER'e ve BEBAP 2017.10 numaralı projeler kapsamında verdikleri desteklerden dolayı Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürü borç bilirim.

Bu tezim; 27.03.2018'de derin bir üzüntü ile kaybettiğim, ama misyonu ve vizyonu ile her daim yüreğimde hissettiğim rahmetli babam İhsan BAKIRHAN'a armağan olsun.

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler, insan popülasyonunun artması ile inşaat sektörünün hızla gelişme ihtiyacını doğurmuştur. Bu sebeple gelişen inşaat sektörü ile beraberinde beton teknolojisine ilgiyi yoğunlaştırmıştır. Son yıllarda olan yıkıcı doğal afetler ve özel talepler hafif beton tasarımı üzerindeki çalışmalarının önemini arttırmıştır.

Yapılan çalışmalar kapsamında Bitlis Pomzası, perlit, mineral ve kimyasal katkıları ile kompozit hafif beton tasarımı yaparak, kompozit hafif beton teknolojisine yeni bir bakış açısı kazandırmak amacıyla akademik çalışmalara katkı sunulması hedeflenmiştir.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKLİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Beton	1
1.1.1. Betonun Sınıflandırılması	1
1.2. Hafif Beton	2
1.2.1. Hafif Betonun Tanımı	2
1.2.2. Hafif Betonun Tarihçesi	2
1.2.3. Hafif Betonun Sınıflandırılması	3
1.2.4. Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	4
1.2.5. Hafif Agrega	5
1.2.5.1. Pomza	5
1.2.5.2. Perlit	7
1.3. Literatür Özetleri	8
1.3.1. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Beton Çalışmaları	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM	12
2.1. Materyal	12
2.1.1. Pomza	12
2.1.2. Perlit	13
2.1.3. Çimento	14
2.1.4. Karışım Suyu	15
2.1.5. Mineral Katkılar	16
2.1.5.1. Yüksek Fırın Cürufu	16
2.1.5.2. Uçucu Kül	17

2.1.5.3. Silis Dumanı	19
2.1.6. Kimyasal Katkılar	20
2.1.6.1. Viskozite Düzenleyici Katkı	20
2.1.6.2. Hava Sürükleyici Katkı	20
2.2. Yöntem.....	21
2.2.1. Hafif Beton Tasarımı	21
2.2.2. Hafif Beton Tasarıma Göre Hazırlanması ve Dökümü	23
2.2.3. Dökülen Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi.....	25
2.2.4. Kompozit Hafif Betonun Özelliklerinin İncelenmesinde Uygulanan Deneyler	25
2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık Ölçümü	25
2.2.4.2. Beton Basınç Dayanım Deneyi	26
2.2.4.3. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Ölçüm Deneyi	27
2.2.4.4. Isıl Geçirgenlik Deneyi	28
2.2.4.5. Donma-Çözünme Deneyi	29
2.2.4.6. Asit Dayanıklılığı Deneyi.....	30
2.2.4.7. Yüksek Sıcaklık Deneyi	31
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
3.1. Kompozit Hafif Betonun İle İlgili Bulgular	33
3.1.1. Kuru Birim Ağırlık İle İlgili Bulgular	33
3.1.2. Beton Basınç Dayanım İle İlgili Bulgular	34
3.1.3. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı İle İlgili Bulgular	36
3.1.4. Isıl Geçirgenlik İle İlgili Bulgular	37
3.1.5. Donma Çözünme İle İlgili Bulgular	41
3.1.6. Asit Dayanıklılığı İle İlgili Bulgular	42
3.1.7. Yüksek Sıcaklık İle İlgili Bulgular	44
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
5. KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

2.1. Bitlis yöresi pomzanın fiziksel özellikleri	12
2.2. Bitlis yöresi pomzanın kimyasal özellikleri	13
2.3. Perlitin analiz raporu	14
2.4. CEM-I 42,5 N tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliği.....	15
2.5. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	16
2.6. Uçucu külün kimyasal analizi	18
2.7. Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	19
2.8. Sika Viscocrete Hi-Tech 28 beton katkısına ait teknik bilgiler.....	20
2.9. Sika Lightcrete I-500 beton katkısına ait teknik bilgiler	21
2.10. Kompozit hafif beton tasarım karışımı	22

ŞEKLİLLER DİZİNİ

SEKİL

Sayfa

1.1. Hafif Betonun Sınıflandırılması	4
2.1. Farklı ebatlardaki pomzalara ait görüntüler.....	13
2.2. 0-4 mm genişletilmiş perlit agregası	14
2.3. Yüksek fırın cürufu.....	17
2.4. Uçucu kül.....	18
2.5. Silis dumanı	19
2.6. Kimyasal katkıları.....	21
2.7. Karışım suyu eklenmeden önce	24
2.8. Karışım suyu eklendikten sonra	24
2.9. Kür havuzu	25
2.10. Beton pres cihazı	26
2.11. USG test cihazı	28
2.12. Isıl geçirgenlik test cihazı	29
2.13. Donma çözünme deneyi	30
2.14. Asit dayanıklılık testi.....	31
2.15. Yüksek sıcaklıklı fırın	32
3.1. BHA'larına ait grafik.....	33
3.2. M1 serisinin basınç dayanım sonuçları	34
3.3. M2 serisinin basınç dayanım sonuçları	34
3.4. M3 serisinin basınç dayanım sonuçları	35
3.5. M1 serisi USG sonuçları	36
3.6. M2 serisi USG sonuçları	36
3.7. M3 serisi USG sonuçları	37
3.8. Isı iletkenlik katsayısı değerleri	38
3.9. Özgül ısı değerleri	38
3.10. Isı yayılımı değerleri	39
3.11. Isıl iletkenlik katsayıları kıyaslama grafiği	39
3.12. Isıl iletkenlik katsayısı ve birim ağırlık kıyaslaması	40
3.13. Donma çözünme sonrası USG sonuçları	41
3.14. Donma çözünme sonrası basınç dayanım sonuçları	41

3.15. Donma çözünme sonrası basınç dayanım kayıp yüzdesi grafiği.....	42
3.16. Asit dayanıklılığı USG sonuçları.....	42
3.17. Asit dayanım testi sonrası basınç dayanım grafiği	43
3.18. Asit sonrası basınç dayanım kaybı yüzdesi grafiği	43
3.19. 200°C sonrası M1 serisi USG sonuçları.....	44
3.20. 200°C sonrası M2 serisi USG sonuçları.....	44
3.21. 200°C sonrası M3 serisi USG sonuçları.....	45
3.22. 400°C sonrası M1 serisi USG sonuçları.....	45
3.23. 400°C sonrası M2 serisi USG sonuçları.....	46
3.24. 400°C sonrası M3 serisi USG sonuçları.....	46
3.25. 600°C sonrası M1 serisi USG sonuçları.....	47
3.26. 600°C sonrası M2 serisi USG sonuçları.....	47
3.27. 600°C sonrası M3 serisi USG sonuçları.....	48
3.28. 800°C sonrası M1 serisi USG sonuçları.....	48
3.29. 800°C sonrası M2 serisi USG sonuçları.....	49
3.30. 800°C sonrası M3 serisi USG sonuçları.....	49
3.31. Yüksek sıcaklıklar sonrası M1 serinin basınç dayanım grafiği.....	50
3.32. Yüksek sıcaklıklar sonrası M2 serinin basınç dayanım grafiği.....	50
3.33. Yüksek sıcaklıklar sonrası M3 serinin basınç dayanım grafiği.....	51
3.34. Yüksek sıcaklıklar sonrası basınç dayanım kıyas grafiği.....	51
3.35. Yüksek sıcaklıklar sonrası basınç dayanım kayıpları yüzdesi.....	52

SİMGELER DİZİNİ

MPa	Megapascal
°C	Sıcaklık
sn	Saniye
λ	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m.K)
Cp	Özgül Isı Kapasitesi (J/kg.°C)
α	Isıl Yayınım Katsayısı (m ² /s)
W _{dyk}	Numune doymuş kuru yüzey ağırlık
V	Numune hacmi



KISALTMALAR DİZİNİ

KB	Kuru birim ağırlık
WK	Numune kuru ağırlık
WS	Numune su altı ağırlık
HB	Hafif Beton
KHB	Kompozit Hafif Beton
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
PO	Pomza
C	Portland Çimento
PE	Perlit
UK	Uçucu Kül
SD	Silis Dumanı
YFC	Yüksek Fırın Cürufu
DÇ	Donma-çözünme
AD	Asit Dayanaklık
USG	Ultrasonik Ses Geçirgenliği
BHA	Birim Hacim Ağırlık

1. GİRİŞ

Beton, çağdaş toplumların temelini oluşturan ve eski medeniyetlerin kurulmasında önemli bir yere sahip yapı malzemesidir. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcılar kullanılması, Pantheon ve Colloseum gibi antik yapıların doğal hidrolik bağlayıcı olan puzzolanlar ile yapılmış olması beton olarak tanımlanabilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. Çağdaş beton tarihinin ise 1800’lü yılların başında Fransız Louis Vicat’ın su kireci (hidrolik kireç) kullanımıyla ilgili çalışmalar yaparak ilk yapay çimentoyu üretmesi ve Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustasının “Portland Çimentosu”nun patentini almasıyla başladığı düşünülebilir [1-3].

Yapı sektörü ve yapı teknolojileri arasında taşıyıcı eleman olarak en çok kullanılan malzeme betondur. Beton, ekonomik, güvenli, dayanıklı ve çok fazla bakım gerektirmeyen en önemli yapı malzemesidir. Betonu oluşturan ham maddeler doğada bol miktarda bulunmaktadır. Ucuz sağlanması ve kolay şekil verilmesinin yanı sıra dış etkenlere karşı dayanıklı olması bakımından beton yaygın kullanılan yapı malzemesi olmuştur [1, 2].

1.1. Beton

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral bir katkı maddesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre karışımı tasarlanmış, uygun koşullar altında elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir [6]. Beton hangi amaç için üretilirse üretilsin muhakkak işlenebilir, dayanımlı ve dış etkilere karşı dayanıklı (durabil) olma özelliklerine sahip olmalıdır [7].

Bileşenleri açısından önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan “kaliteli” betona bir takım kimyasal ve mineral katkılar ilâve edilerek istenen bazı özellikler kazandırılabilen, özellikler iyileştirilebilmektedir [4,5].

1.1.1. Betonun Sınıflandırılması

Betonlar, basınç dayanımlarına ve birim ağırlıklarına göre gruplandırılabilir:

Basınç dayanımlarına göre betonlar:

- Hafif betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm^2 ’nin altında olan betonlar.
- Normal betonlar: Basınç dayanımları $20\text{-}40 \text{ N/mm}^2$ olan betonlar.

- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm^2 'den fazla olan betonlardır [8].

Birim ağırlıklarına göre betonlar:

- Normal Betonlar: Yaklaşık 2.400 kg/m^3 birim ağırlığında olan betonlardır ve taşıyıcı amaçlarla en çok kullanılan beton türüdür.
- Hafif betonlar: Birim ağırlıkları 2.000 kg/m^3 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı olarak veya dayanım ağırlık oranının yüksek olması gereken koşullarda kullanılırlar.

1.2. Hafif Beton

1.2.1. Hafif Betonun Tanımı

Beton içerisinde çeşitli yollarla boşluklar oluşturularak veya birim hacim ağırlığı (BHA) normal agregaya kıyasla daha düşük olan agregalar kullanmak suretiyle betonun birim hacim ağırlığı düşürülerek üretilen ve BHA 2.200 kg/m^3 'ten düşük olan betonlara hafif beton denilmektedir [3].

Hafif beton teknik, ekonomik ve çevresel avantajları sayesinde yapılar için çok yönlü kullanılan bir materyal olmuş ve son zamanlarda yapılarda daha fazla kullanılmaya başlamıştır [9].

Hafif beton üretiminde en popüler yöntem normal agregaya yerine hafif agregaların kullanılması ile hafif beton üretimidir. Hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlar, hafif agregalı betonlar olarak adlandırılmaktadır. Betonların birim ağırlık ve dayanımı arasında büyük oranda orantılı artış olduğu için birim ağırlıklara bağlı olarak betonların sınıflandırılması yapılabilmektedir. Hafif agregalı betonlar, pratikte 300 ile 1.850 kg/m^3 değerleri arasında birim ağırlıklara sahip betonlardır [10].

1.2.2. Hafif Betonun Tarihçesi

Hafif betonun en önemli bileşeni maddesi elbette pomza ve perlit gibi hafif agregalardır. Özellikle de gözenekli yapısı nedeniyle hafifliği ve dış etkenlere karşı yüksek dayanıklılığı nedeni ile volkanik kökenli pomza en eski yapı malzemelerinden biridir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomzanın; amfiteyatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir [13]. Roma'da Pantheon ve Pompeii'deki amfiteyatro bunlara örnek olarak verilebilir.

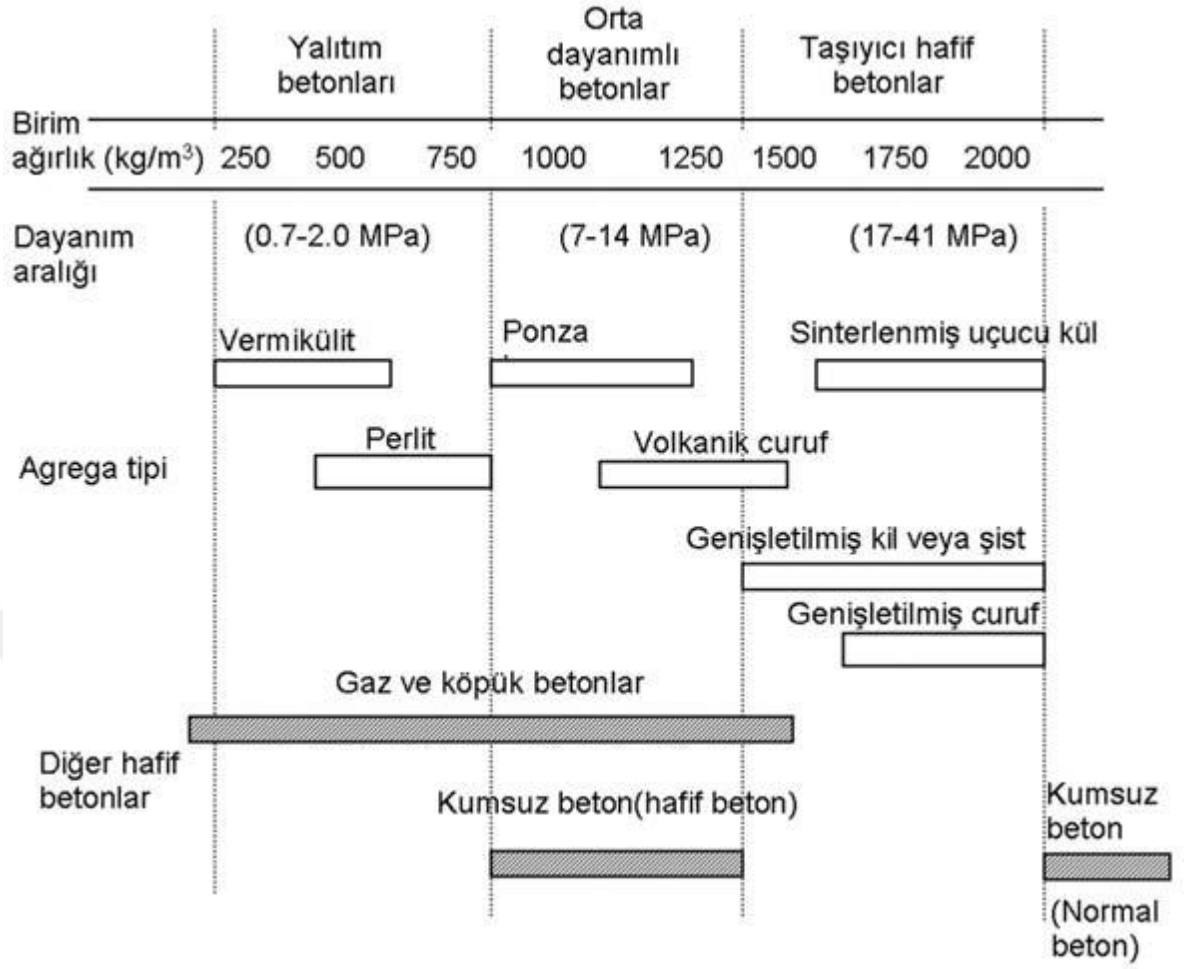
20.yüzyıla geldiğimizde; hafif agreganın betonda kullanımının, yük gemileri ile başladığı görülmektedir. N.K.Fougner'in tasarladığı 25 m boyunda ilk beton mavnası, Norveç'te 1917'de denize indirilmiştir. Savaş koşullarında çelik yokluğu nedeni ile, A.B.D'de de ticari gemileri donatılı betondan üretme fikri benimsenmiş, Fougner ile 24 gemilik anlaşma yapılmıştır. I.Dünya savaşı devam ederken; J. Hayde, yaptığı araştırmalar sonucunda, 1918'de geliştirilmiş şist tipi hafif agreganın patentini almıştır. Bu gelişme, doğal hafif agregalara kıyasla istenen performans düzeyine daha kolay erişilebilen; üretimi, dane biçimi ve boyutu kontrol altında olan, daha yüksek dayanım elde edilebilen yapay agregayı uygulama alanına sokmak açısından önemli bir basamak olmuştur. 1917-1920 döneminde normal agregalı yapılarda beton dayanımı yalnız 17 MPa iken, üretilen donatılı beton gemilerde 1.760 kg/m³ yoğunluk ile 38 MPa basınç dayanımı ve 23 GPa elastisite modülü elde edilmiştir [12] , 90 yıl sonra betondan alınan karotlarda dayanımın 60 MPa'a ulaştığı görülmüştür. Bu gemiler ile sadece kuru yük değil aynı zamanda petrol taşımacılığı da yapılmış, betona herhangi bir zararı izlenmemiştir. Ayrıca savaş döneminde, bir geminin arka tarafına isabet eden bombanın betonun kompakt içyapısı nedeniyle kalıcı hasara neden olmadığı görülmüştür. Bazı gemilerden daha sonra dalgakıran olarak da yararlanılmıştır [11].

Geçmişten günümüze, A.B.D (1920'lerden itibaren), S.S.C.B ve Polonya (1960'lardan itibaren)'da çok sayıda köprü tabliyesinde yapay hafif agregalı beton uygulanmış; içsel kür nedeniyle artan aşınma, donma ve klorid dayanımı ile üstün performans özellikleri göstermiştir [14]. Beton birim hacim ağırlığı sıklıkla 1.800-2.000 kg/m³ olup, 1990'lardan itibaren basınç dayanımları 55-70 MPa aralığında yer almıştır [11].

Birim ağırlıkları 300 – 2.000 kg/m³, küp basınç dayanımı 1 – 60 MPa' la, ısı iletkenlik değerleri ise 0,2 – 1 W/m.K arasında değişen hafif betonlar üretilmektedir [15].

1.2.3. Hafif Betonun Sınıflandırılması

Doğal veya yapay agregalardan üretilen hafif betonlar dayanım ve birim ağırlık bakımından üç sınıfa ayrılmaktadır. Düşük dayanım (küp örneklerin) ve düşük birim ağırlığa (7-20 kgf/cm², 250-750 kg/m³) sahip birinci kategorideki hafif betonlar yalıtım malzemesi olarak, orta dayanıma 20-42 kgf/cm² ve 1.000-1.400 kg/m³) sahip ikinci kategorideki betonlar blok duvar yapımında ve dayanımı yüksek (173-418 kgf/cm² ve 1.500-2.000 kg/m³) üçüncü kategorideki yapısal betonlar ise taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılmaktadır [16, 17]. Hafif betonun sınıflandırması Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Hafif betonun sınıflandırılması [18]

1.2.4. Hafif Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Hafif betonun yapı malzemesi olarak kullanımı ile yapı yükünün azaltılması dolayısıyla malzeme yönünden ekonomi ve düşük birim ağırlığı sayesinde de yüksek ısı ve ses yalıtımı gibi yararlar sağlanmıştır (Bomhard 1980, Şişman ve ark. 2008). [17, 19]

Hafif betonların düşük yoğunluğu, ısı yalıtımı, yangına karşı dayanımı, ısı şoku dayanımı ve deformasyonla ilgili özellikleri önemli avantajlarıdır. Bugün gelişmiş ülkelerde hafif betonlar yapılarda ölü yükü azaltmak amacıyla halâ kullanılırken, ısı yalıtımı amacı ile kullanılan çok hafif beton ve blokların üretilmesine gayret edilmektedir [20].

Hafif betonun özellikleri denince akla işlenilebilirlik ve dayanım gelmektedir. Hafif betonun kıvam betonun kullanımına, yerleştirilmesine, sıkıştırılmasına, iletim imkânlarına bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hafif betonda tercih edilen beton kıvamı koyu veya orta olmalıdır. Çünkü akıcı kıvamdaki taze betonun taneleri hafif olmaları nedeniyle seçilmeye uğramaktadır. Hafif betonun diğer önemli özelliklerinden birisi olan dayanım artışı ise

betonda kullanılan agreganın birim hacim ağırlığıyla ilişkilidir. Diğer bir ifadeyle, agreganın yoğunluğu arttıkça hafif betonun dayanımı da arttırılabilir [21].

Hafif betonların normal betonlara göre üstünlükleri şöyle özetlenebilmektedir;

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

- Hafif betonla üretilen elamanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yatay ve düşey yapı yükleri azalır, bu azalma ile temeller ve diğer yapı elemanları daha küçük boyutlarda yapılarak ekonomi sağlanır.

- Isıl iletkenlikleri düşük, ısı ve ses yalıtımları yüksektir.

- Yangın bakımından normal betona göre daha dayanıklıdır.

Hafif betonların normal betonlara göre sakıncaları ise şöyle özetlenebilmektedir;

- Boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşüktür. Bu nedenle birçok yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme değildir

- Aşınmaya karşı dayanıksızdırlar.

- Boşluk oranları fazla olduğunda, rutubete karşı yalıtım gereklidir.

- Elastisite modülü düşük değerler alır [22].

1.2.5. Hafif Agreg

İçerdikleri bileşenler açısından geleneksel beton ile hafif beton arasındaki tek fark, kullanılan agregaların farklı olmasıdır. Hafif agregalar da üretim şekillerine göre doğal ve yapay olarak iki kısımda incelenirler. Sadece kırma ve eleme gibi mekanik işlemlerine tabi tutularak elde edilen agregalara doğal hafif agrega denir (Pomza, scoria gibi). Doğal agregaların ısıtılma işlemine tabi tutulmasından sonra elde edilen agregalar ise yapay hafif agregalar olarak tanımlanırlar (Kil, kil taşı, şeyl, perlit gibi) [3].

1.2.5.1. Pomza

Pomza, gözenekli yapısı, yüksek yalıtım etkileri, atmosferik şartlara olağanüstü direnci nedeniyle insanoğlunun kullandığı en eski yapı malzemelerinden biridir. Antik Yunan ve Roma dönemlerinde pomza, amfi tiyatrolar, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar, mahzenler ve konut inşaatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapılar zamana karşı hala direnmektedir. Pomza farklı endüstri dallarında yaygın kullanım alanları bulmaktadır. Bu endüstri dalları inşaat, tekstil, kimya, ziraat, kişisel bakım, kozmetik, sağlık ve diğer endüstri dallarıdır.

Pomza, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyeti ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı inşaat ve yapı endüstrisinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.

Pomza, İtalyanca ponza, Almanca Bimsstein, İngilizce Pumice olarak adlandırılır. Dilimizde süngertaşı, kisir, köpüktaşı, topuktaşı olarak da adlandırıldığı gibi bilimsel terminolojide dünyaca kabul görmüş pümis (pumice), pümisit (pumicite) olarak da adlandırılabilir (İri - çakıl boyutuna pümis, kum ve altındaki tane boyutlarına pümisit denilir). Dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür.

Pomza püskürük piroklastik bir kayadır. Çok poroz volkanik cam olarak da adlandırılabilir. Patlayıcı (jeolojik olarak Tersiyer yaşlı) volkanizma faaliyetleri esnasında, yüksek sıcaklık ve basınç altında eriyik haldeki magma, şiddetli olarak yeryüzünden atmosferin üst katmanlarına doğru püskürür. Likit haldeki kızgın eriyikler atmosferin üst katmanlarında ani olarak soğuk ortamla karşılaşır. Bu soğuma neticesinde piroklastik kayaç bünyesindeki su buharı ve fümeroller akabinde bünyeden uzaklaşarak, kristallenmeye fırsat bulamayan çok poroz bir kayaç oluşur.

Bu poroz kayaç havadan akma mekanizması ile aktif volkan krateri ve civarında mevcut topografya üzerine yayılır. Aktivasyonu yavaşlayan volkanizma faaliyeti sonrası püsküren tüf ve sonrası meydana gelebilecek alüvyonal formasyonlar pomza katmanlarının üzerini muhtelif kalınlıklarda örtebilir. Yoğun erozyon etkilerinden korunmuş pomza katmanları, günümüzde ekonomik öneme sahip yatakları oluşturmuşlardır.

Türkiye’de zengin doğal hafif agrega kaynakları mevcuttur, rezerv itibarı ile tarihte pomzanın ilk kullanıldığı bölgelerden biri Van Gölü Havzası’dır; Urartular Döneminde (M.Ö.900-M.Ö.600) konutlarda ve gıda depolarında izolasyon malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir [23]. Günümüzde pomzanın % 90’ı inşaat sektöründe değerlendirilmektedir. İnce olanlar kısmen sıva ve şapta, iri olanlar ise daha ziyade ısı yalıtım amaçlı hafif blok üretiminde değerlendirilmekte, yoğunluğu 400-1300 kg/m³ aralığında hafif yalıtım elemanı (boşluklu bloklar) üretilmektedir [24]. Türkiye’de, zengin pomza rezervine (2.6 milyar m³) [25] rağmen, nitelikli ve boşluk yüzdesi daha az olan pomzalar bile betonarme taşıyıcı sistem tasarımında yer almamaktadır. Oysaki, içsel kür ile zaman içinde devam eden hidratasyonun sonucu olarak dış etkilere karşı daha dayanıklı iç yapı oluşumunun yanı sıra, betonarme yapılarda deprem yüklerinin azaltılması ve temel sisteminin daha ekonomik seçimi söz konusudur [26].

1.2.5.2. Perlit

Perlit, genleştirildiğinde hacminin yaklaşık yirmi katına kadar ulaşan, genleşmiş haliyle oldukça hafif olan, ısı ve ses izolasyonu sağlayan bir kayadır. Ülkemiz dünya üzerindeki olası perlit rezervinin %74'üne sahiptir. Dünya ve Türkiye'de, en yaygın perlit kullanımı inşaat sektöründe görülmektedir. Bu sebeple, dünya perlit tüketimi de inşaat sektöründeki dalgalanmalardan oldukça etkilenmektedir. Isı yalıtımı, ses yalıtımı ve depreme dayanıklılık avantajları açısından önemli üstünlükleri olan perlitin, inşaat sektöründe değerlendirilmesi ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır.

Beton, inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Beton; çimento, agrega, su ve betonun sahip olması istenilen özelliklerine bağlı olarak katılacak kimyasal katkılardan oluşmaktadır. Kullanılan kimyasal katkılarla, betondan istenen bazı özelliklerin kazandırılması sağlansa da, beton içinde hacimsel olarak %60-85 civarında bulunan agregalar, betonun sahip olacağı karakteristik özellikleri en çok etkileyen bileşenlerdir. Kullanılan agreganın özelliklerine bağlı olarak, betonun birim ağırlığı düşürülebilmekte ve bu şekilde hafif betonlar üretilebilmektedir. Hafif betonların normal betonlara göre sahip olduğu üstünlükler; yapıdaki ölü yüklerin azaltılması, depreme dayanıklılık, yüksek ısı ve ses yalıtımı sağlanması şeklinde sıralanabilmektedir.

Topraklarının neredeyse tamamının güçlü bir deprem kuşağı üzerinde olan ülkemizde, kısa zaman aralıklarında büyük can ve mal kayıplarına neden olan depremler olmaktadır. Ancak gerekli önlemler alınırsa, depremin zararlarını azaltmamız mümkün olabilmektedir. Japonya, ABD gibi gelişmiş ülkelerde şiddetli depremlerde büyük can ve mal kayıplarının olmamasının sebebi inşaat teknolojilerindeki gelişmelerin uygulanışı ve yapılan binalarda pomza, perlit, gazbeton vb. hafif malzemelerin, yaygın olarak kullanılmasıdır. Hafif malzemeler, bina yükünü önemli oranda azalmaktadır. Böylece binalar kendi ağırlıklarıyla ezilmemekte ve depremin yıkıcı zararları azalmaktadır. Diğer yandan, depremin oluşturduğu yatay ve düşey yöndeki şiddetli sarsıntılar, boşluklu malzemeler tarafından emilmekte dolayısıyla bina sallanmakta ancak yıkılmamaktadır [27].

Hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlar içerisinde, en yüksek ısı yalıtımı perlit katkılı hafif betonlar ile sağlanabilmektedir [28]. Perlit katkılı betonlar, normal betona göre yaklaşık on kat daha iyi ısı yalıtımı sağlamaktadır [27]. Perlit katkılı hafif yapı malzemeleri enerji verimliliğinin artırılması suretiyle sera etkisi yaratan gaz atıklarının azaltılmasını sağlamakta ve bu sebeple çevre dostu malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Perlit katkılı beton kullanılan yapılarda, yapı içerisinde dış çevreye ısı kaybı büyük oranda azalacağı için, enerji

tasarrufu sağlanacak, enerji daha verimli kullanılabilir ve enerjisinin büyük bölümünü ithal eden ülkemiz ekonomisi olumlu yönde etkilenecektir.

1.3. Literatür Özetleri

1.3.1. Pomza ve Perlit İçerikli Hafif Beton Çalışmaları

Literatür araştırmalarına baktığımızda pomza ve perlitin birlikte hafif beton tasarımlarında kullanıldığı gibi, pomza ve perlit ayrı ayrı da kullanılarak da farklı çalışmalar sunulmuştur.

Pomza ile yapılan akademik çalışmalarından bazıları şöyledir:

Pomza agregasıyla ilk çalışmayı 1949 yılında Niederhoff yapmıştır [29]. Pomza agregasıyla beton yaparak, bu betonların yapısal davranışlarını ve özelliklerini incelemiştir. Erciyas, 1963 yılında yaptığı çalışmada bims agregası ile yaptığı beton duvarların özelliklerini incelemiştir [30].

Ağırdır, Konya Altınapa bims agregası ile beton bloklar üretmiş, bims agregalı beton blokların ısı iletim katsayısının normal agregalı bloklara göre düşük olduğunu belirlemiştir. Bimsblok kullanımı ile yapılarda yakıt maliyetinin düşeceğini ifade etmiştir [31].

Taşdemir, yaptığı çalışmada en büyük agrega boyutu ve çimento miktarını sabit tutarak, agrega granülometrisinin çeşitli bölümlerini pomza agregasıyla değiştirerek yaptığı hafif agregalı normal beton, yarı hafif ve hafif betonlar üzerinde elastik ve elastik olmayan davranışlarını incelemiştir [22].

İhtiyaroğlu, 1976 yılında doğal hafif agregalarla yaptığı ve duvar olarak kullanılan hafif beton blokların davranışlarını incelemiştir [32].

Koç ve Kılıç, Madenşehri (Karaman) güney batısındaki pomzanın hafif beton agregası olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır [33].

Çankıran, Pomza agregalı hafif betonun mekanik özellikleri ve kimyasal katkılarla dayanımının arttığını ve yoğunlukta azalma olduğunu tespit etmiştir [34].

Oğuz, Pomza betonda fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmış, dozajın artmasında, su/çimento oranının azaltılmasında basınç dayanımının arttığını fakat üretilen yarı hafif ve hafif betonların yük taşıyıcı elemanlarda kullanılamayacağını açıklamıştır [35].

Sezgin, Diyatomitin hafif yapı eldesinde değerlendirilebilirliğini araştırmış, Isparta diyatomitinin yüksek ısı ve ses yalıtımı özelliğine haiz, rezerv yönünden iyi ve ucuz bir endüstriyel kaynak olduğunu tespit etmiş ve alçı, beyaz çimento vb. bağlayıcı malzemeler ile

dekoratif ve kaliteli inşaat ürünleri, hazır paneller prefabrik elemanların üretilmesinin mümkün olabileceğini belirtmiştir [36].

Perlit ile ilgili yapılan araştırmalardan bazıları da şöyledir:

Gaz beton üretiminde perlitin kullanılmasının etkileri belirlenmesi için yapılan bir deneyde perlit kullanılarak hazırlanan gaz beton özellikleri incelendiğinde normal gaz beton özellikleriyle benzerlik gösterdiği fakat dayanımında %30'luk bir düşüşün olduğu gözlenmiştir.

Binalarda ki ölü yükün azaltılması amaçlı yapılan bir çalışmada yapıda ki yarı taşıyıcı bims betonları perlit katkılı bims olarak üretilmiş ve yapısındaki değişiklikler incelenmiştir. Bu çalışmaya göre maksimum geliştirilmiş perlitin kullanımının ses ve ısı yalıtımında iyi değerde olduğu görülse de dayanımdaki düşük değer nedeniyle kullanımının uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle dayanımda maksimum değer elde etmek için optimum genleşme düzeyindeki perlitin kullanımı daha doğru olacaktır [37].

Farklı yoğunluktaki hafif agregalar ile üretilen betonların su emme oranı, ısı iletkenliği ve basınç dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerin incelenmesi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonrası geliştirilmiş perlit miktarı ve işlenebilirliğin doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Hafif betonların birim ağırlığı düştükçe buna bağlı olarak basınç dayanımlarının da düştüğü saptanmıştır. Perlit miktarının artışı betonun su emme ve kılcallık miktarını da beraberinde artırdığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonrası geliştirilmiş perlit katılarak hazırlanan betonlarının ısı yalıtımında daha uygun olduğu görülmüştür [37].

Perlit katılarak hazırlanan betonların yoğunlukları $400-1.600 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir [38]. Perlit katılarak hazırlanan betonların ısı ve ses yalıtım özelliği perlitin içerisinde bulunan gözenekli yapıdan dolayı oluşmaktadır. Ayrıca binalardaki fazla olan ölü yük perlit katkılı betonlar sayesinde azaltıldığı görülmüştür [39]. Perlit katılarak hazırlanan betonlarda su/çimento oranı azaldıkça, basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızı artmaktadır. Beton içerisinde bulunan ince karışımın artması da beton dayanımına ve ultra ses geçiş hızını artırıcı etki yapmaktadır [40].

Perlitin asfalt betonu kullanımında etkisini araştırmak için yapılan bir deneyde geliştirilmiş perlit katılarak hazırlanan asfalt betonu karayolları teknik şartnamesinde bulunan limit değerlerini sağlamış ve 6 kat daha hafif bir asfalt betonu hazırlanmıştır. Buna karşılık maliyet olarak iki kat artışı görülmüştür. Maliyetin düşürülmesiyle asfalt betonunda kullanımı sağlatılabilir.

Yapılan başka bir araştırmada perlitin horasan harçlarında kullanılabilirliği üzerine yapılmıştır. Kiremit tozu yerine geliştirilmiş perlit kullanılarak hazırlanan horasan harcı ağırlıkça ilk olarak fazla olsa da içeriğindeki suyun uzaklaşmasıyla birlikte kiremit tozuyla

hazırlanan harçtan daha hafif olduğu görülmüştür. Su emme özelliği olmasından dolayı dış cephelerde kullanılması uygun değildir. Restorasyon işinde hafifliğinden kullanılması avantajlıdır.

Perlit betonda özelliklerine göre çeşitli amaçlarda kullanılabilir. Perlitin betonda kullanım durumlarına göre; perlitli ısı yalıtım betonu, perlitli sıvalar, alçılı perlit bölme duvarları elemanları gibi isimleri alabilmektedir.

Genleştirilmiş perlit ses yutucu özelliği sayesinde beton gürültü bariyerlerinde kullanılarak akustik özelliği araştırılmıştır. Gürültünün fazla olduğu şehirlerde beton gürültü bariyeri olarak kullanılması gürültüyü azaltıcı etki yapmaktadır. Perlitin ülkemizde yeni kullanılmasından dolayı beton gürültü bariyerlerinde kullanımı yapılmamaktadır [41].

Ülkemiz deprem bölgesinde bulunmaktadır. Olası bir deprem ihtimaliyle insanların çadır ihtiyacının karşılanması için daha ucuz kullanışlı olan ferrocement çadırların geliştirilmesi için genleştirilmiş perlit kullanımının uygun olduğu görülmüş ve ısı ses yalıtımının sağlanması için ferrocement çadırlarında perlit kullanılarak daha hafif sağlam çadırların yapılması sağlanmıştır [42].

Perlit kullanılan betonlarda dikkat edilmesi gereken bir özellikte perlitin ısıdan dolayı genişip büzülmemesi buna karşılık perlitli betonlarda kullanılan diğer malzemelerin genişip büzülerek betonu ezmemesi için derzlerin bırakılmasına dikkat edilmelidir.

Pomza ve perlit içerikli hafif beton ile ilgili yapılan bazı araştırmalar da aşağıda verilmiştir:

Demirboğa (1999) yaptığı çalışmada farklı oranlarda genleştirilmiş perlit ve pomza agregası içeren hafif betonların ısı iletkenliklerini incelenmiştir. Hafif betonların üretiminde kullanılan agreganın genleştirilmiş perlit oranını artıp, pomza oranı azaldıkça, hafif betonların ısı iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir [43].

Ceylan ve Saraç (2006) yaptığı çalışmalarda farklı yörelere ait pomza ile üretilen hafif betonlar üzerinde sıcaklığın etkisini araştırmışlar ve elde edilen numunelerin büyük çoğunluğunun 200°C derecedeki dayanımları 28 günlük kürden sonra ölçülen ilk dayanımlardan yüksek çıktığı saptanmıştır. Mukavemet artışı göstermeyen numunelerin sebebi ise granülometrik bileşimdeki farklılıktan kaynaklandığını belirtmişlerdir [44].

Azizi (2007) perlit katkılı hafif betonların mekanik özelliklerini ve ısı yalıtımını irdelemiştir. Numunelerdeki perlit oranı arttıkça, basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları azalmış, su emme oranı ve ısı yalıtım özellikleri artmıştır [45].

Polat (2007) ise pomza ve perlit içerikli betonlarda hava sürükleyici katkının kılcal geçirimsizlik ve don etkisini irdelemiştir. Pomza ile perlit oranı arttıkça ve 100 gün boyunca

donma çözünme deneyine tabi tutulan numunelerde, basınç dayanımları ve birim hacim ağırlıkları azaldığını, kılcal geçirimsizlik katsayısının arttığını gözlemlemiştir [46].

Öztürk (2012) yaptığımız çalışmaya ön çalışma olacak nitelikte bir çalışma yapmış, karışımlardaki pomza oranın azalıp ve perlit oranının arttığı numunelerdeki basınç ve USG özelliklerinin azaldığını gözlemlemiştir [47].

Balun ve Karataş (2015) geliştirilmiş perlit ve Bitlis yöresi pomza kullanarak KYB tasarımı yapmıştır. Hafif agrega olarak 0-2 mm perlit ve 2-4 mm pomza kullanmıştır. Perlit ve pomza kullanımının arttığı numunelerde birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı azalarak, harç numunelerdeki boşluk oranının da artmasına sebep olmuştur [48].



2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmalar kapsamında Bitlis Pomzası, perlit ve mineral ve kimyasal kullanılarak üretilen kompozit hafif beton mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen betonlar belirli oranlarda pomza ve perlit kullanılmış, bulunan sonuçlar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır.

2.1. Materyal

Bu çalışmada Bitlis'te elde edilen pomza (PO), Erzincan yöresine ait genleştirilmiş perlit (PE), çimento (C), içilebilir oranda karışım suyu (KS), mineral ve kimyasal katkıları kullanılarak kompozit hafif beton üretilmiştir. Kullanılan materyallerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

2.1.1. Pomza

Tez çalışmasında kullanılmış olan agrega Bitlis yöresi pomza agregasıdır. Kullanılan pomzaya ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bitlis yöresi pomzanın fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler/Pomza Ebatları	0-4 mm	4-8 mm	8-16 mm
30 dk Su Emme oranı (%)	33.90	17.48	26.57
Toplam Su Emme Oranı (%)	40.16	38.89	51.84
Gevşek Birim Ağırlığı (kg/dm ³)	0.45	0.38	0.29
Kuru Özgöl Ağırlık (kg/dm ³)	0.94	0,88	0,69

Kullanılan pomzaya ait bazı kimyasal özellikler Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bitlis yöresi pomzanın kimyasal özellikleri

Parametre	Birim	Analiz Değeri
SiO ₂	%	70,00
Al ₂ O ₃	%	14,00
Fe ₂ O ₃	%	2,50
CaO	%	0,90
Na ₂ O+K ₂	%	9,00
MgO	%	0,60
Kızdırma Kaybı	%	3,00

Çalışmalar kapsamında kullanılan pomzalara ait laboratuvaradan çekilen görüntüler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı ebatlardaki pomzalara ait görüntüler

2.1.2. Perlit

Tez çalışmasında kullanılmış olan diğer agrega ise Erzincan Mollatepe yöresi doğal puzolanik perlit agregasıdır. Erzincan Mollatepe yöresine ait perlitin Persan Perlit A.Ş.’den alınan analiz raporu Çizelge 2.3’te sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Perlitin analiz raporu

Parametre	Birim	Analiz Değeri
Na ₂ O	%	1,67
SiO ₂	%	67,00
K ₂ O	%	3,73
Al ₂ O ₃	%	12/16
Ca	%	0,2/0,5
Fe ₂ O ₃	%	0,5/1,45
MgO	%	0,03/0,5
TiO ₂	%	0,03/0,2
pH (% 1 lik)		7,20
Rutubet		0,005
Dökme Yoğunluğu	kg/m ³	33/35

Çalışmalarda kullanılan 0-4 mm perlit laboratuvar şartlarında çekilen görüntüler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. 0-4 mm genleştirilmiş perlit agregası

2.1.3. Çimento

Tez çalışmasında, TS EN 197-1 ile uyumlu CEM I 42.5 N tipi Portland Çimento kullanılmıştır. Çimento, Elazığ’da bulunan Çimentaş A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. Deney

sonuçlarının etkilenmemesi için, tüm deney serileri için gerekli olan çimento yaklaşık olarak hesaplanıp tek seferde temin edilerek rutubetsiz ve kuru bir ortamda saklanmıştır. Taze olarak temin edilen ve uygun koşullarda saklanarak kullanılan çimento, süresi içinde bozulmaya uğramadan tüketilmiştir. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve bazı fiziksel özellikler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. CEM-I 42,5 N tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliği

Parametre	Birim	Analiz Değeri
2 Günlük Basınç Dayanımı	<i>MPa</i>	22,40
7 Günlük Basınç Dayanımı	<i>MPa</i>	39,40
28 Günlük Basınç Dayanımı	<i>MPa</i>	51,00
SO₃	<i>%</i>	2,60
MgO	<i>%</i>	2,10
CI	<i>%</i>	0,007
Kızdırma Kaybı	<i>%</i>	1,70
Çözünmeyen Kalıntı	<i>%</i>	0,30
Özgül yüzey	<i>cm²/g</i>	3749
Priz Başlangıcı	<i>dakika</i>	161
Priz Sonu	<i>saat</i>	04:20
Hacim Sabitliği	<i>mm</i>	0,40
Serbest Kireç	<i>%</i>	0,50
Su İhtiyacı (Vicat Suyu)	<i>%</i>	29,60

2.1.4. Karışım Suyu

Deneysel çalışma süresince, karışımların tasarımında ve deney numunelerinin üretiminde TS-EN 1008 standartlarına uygun olacak şekilde, Bitlis Eren Üniversitesi İleri Araştırma Laboratuvarında bulunan şebeke içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyu bekletilmeden, şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

2.1.5. Mineral Katkılar

Çalışmalarımızda kompozit hafif beton özelliklerini artırmak için yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) gibi üç farklı mineral katkıları kullanılmıştır. Kullanılan mineral katkılar; EN 15167-1 (YFC), EN 450-1 (UK) ve EN 13263-1 (SD) standartlarına uygun olarak seçilmiştir.

2.1.5.1. Yüksek Fırın Cürufu

Elazığ ETİ Ferrokrom İşletmesi'nde yan ürün olarak ortaya çıkan ve çimento inceliğinde öğütülerek elde edilen yüksek fırın cürufunun özellikleri Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Birim	Analiz Değeri
SiO ₂	%	42,62
Al ₂ O ₃	%	31,90
Fe ₂ O ₃	%	1,95
CaO	%	2,25
MgO	%	16,80
Na ₂ O + 0,658K ₂ O	%	1,48
Birim Ağırlık	gr/cm ³	1,06
Su Emme	%	13,63
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,86

Bu çalışmada öğütülerek kullanılan YFC'na ait görüntü Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Yüksek fırın cürufu

2.1.5.2. Uçucu Kül

Uçucu kül Sivas Kangal termik santralinden temin edilmiştir. Bu tür santrallerden açığa çıkan atıkların, özellikle de uçucu külün önemli çevre sorunları oluşturduğu bilinmektedir. Bu atığın inşaat sektöründe, özellikle çimento ve beton üretiminde değerlendirilmesi çevresel, teknik ve ekonomik yönden büyük faydalar sağlamaktadır. Kangal Termik santralinden elde edilen uçucu külün özgül ağırlığı 2.26 gr/cm^3 içerdiği mineraller kuvarz, hematit, manyetit, anhidrit, feldspat ve serbest kireçtir. Ana mineral ise amorf ve camsı mineraldir. Kangal uçucu külünün içeriği yakından incelendiğinde camsı mineralin silisle birlikte alümine içeren bir karakterde olduğu anlaşılır [21]. Uçucu küllün kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Uçucu külün kimyasal analizi

Parametre	Birim	Analiz Değeri
Yoğunluk	gr/cm^3	2,26
BaSO ₄	%	-
SiO ₂	%	38,26
Al ₂ O ₃	%	16,42
Fe ₂ O ₃	%	5,13
CaO	%	27,36
MgO	%	1,56
SrO	%	4,43
Na ₂ O	%	0,62
Diğer	%	5,45
Kızdırma Kaybı	%	0,76

Çalışmalarda kullanılan UK'ya ait görüntüler Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Uçucu kül

2.1.5.3. Silis Dumanı

Deneylerde kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesinden elde edilmektedir. Silis dumanına ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Parametre	Birim	Analiz Değeri
SiO ₂	%	79,94
Al ₂ O ₃	%	0,83
Fe ₂ O ₃	%	0,2
CaO	%	2,53
MgO	%	7,68
Cr ₂ O ₃	%	0,38
SO ₃	%	0,21
C	%	1,22
S	%	0,923
Kızdırma	%	2,96
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	2,34

Deneylerde kullanılan SD’na ait laboratuvar görüntüsü Şekil 2.5’te verilmiştir.



Şekil 2.5. Silis dumanı

2.1.6. Kimyasal Katkılar

Çalışmalarımızda kompozit hafif beton özelliklerini artırmak için viskozite düzenleyici ve hava sürükleyici kimyasal katkıları kullanılmıştır.

2.1.6.1. Viskozite Düzenleyici Katkı

Viskozite düzenleyici olarak Sika Viscocrete Hi-Tech 28 katkısı kullanılmıştır. Bu katkı yüksek oranlı hiper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Yüksek oranda su azaltması ve uzun süre işlenebilirlik sağlaması nedeniyle kompozit hafif beton tasarımıımızda kullanmayı tercih ettik. Sika Viscocrete Hi-Tech 28 katkısına ait teknik bilgiler Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Sika Viscocrete Hi-Tech 28 beton katkısına ait teknik bilgiler

Parametre	Analiz Değeri
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.055 - 1.095 kg/l, 20°C
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-5°C
Suda Çözünebilir Klorür %'si	En fazla %0.1, klorür içermez (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (%Na ₂ O Eşdeğeri Olarak)	En fazla %4 (TS EN 934-2)

2.1.6.2. Hava Sürükleyici Katkı

Hava sürükleyici olarak Sika Lightcrete I-500 katkısı kullanılmıştır. Bu katkı hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Sika Lightcrete I-500, genleştirilmiş kil, perlit, pomza taşı, polistiren gibi hafif beton agregaları ile yapılan ve/veya içinde çok yüksek miktarda hava içermesi istenen betonlarda kullanılan, yüksek konsantrasyonlu sıvı hava sürükleyici katkı malzemesidir. Bu katkının teknik bilgileri Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Sika Lightcrete I-500 beton katkısına ait teknik bilgiler

Parametre	Analiz Değeri
Kimyasal Yapı	Hava sürükleyici sentetik sıvı
Yoğunluk	1,0075 – 1,0175 kg/l, 20°C’de
pH Değeri	9 – 11
Donma Noktası	-5°C
Toplam Klorür İyon %'si	En fazla %0.1, klorür içermez (TS EN 934-2)

Bu çalışmada kullanılan kimyasal katkılar Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından 5 kg’lık kutular şeklinde gönderilmiş olup, kimyasallara ait görüntüler Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6. Kimyasal katkılar

2.2. Yöntem

2.2.1. Hafif Beton Tasarımı

Hafif beton tasarımı TS 802 standartlarına göre belirlenmiştir. Bitlis’te elde edilen pomza (PO), Erzincan Mollatepe yöresine ait genleştirilmiş perlit (PE), çimento (C), içilebilir oranda karışım suyu (KS), yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD), viskozite düzenleyici katkı (VDK) ve hava sürükleyici katkı (HSK) ile kompozit hafif beton üretilmiştir. Agrega olarak 0-4mm arası sadece pomza, sadece perlit ve pomza ile perlit, 4-8 mm ve 8-16 mm

arası sadece pomza birlikte kullanılarak üç farklı seri numuneler şeklinde hafif beton tasarımı yapılmıştır. Her bir seride bağlayıcı olarak çimento, mineral katkı olarak da YFC, UK ve SD kullanılarak dört farklı hafif beton tasarımı yapılarak mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmesi hedeflenmiştir. Tüm numunelerde belirli oranda VDK ve HSK kullanılmıştır. **M1** (0-4 mm sadece PO), **M2** (0-4 mm sadece PE) ve **M3** (0-4 mm PO ve PE) olmak üzere üç seri halinde tasarlanan numunelerde ana bağlayıcı olarak sadece çimento kullanılmıştır. **M1-I**, **M2-I** ve **M3-I** numunelerinde C+UK, **M1-II**, **M2-II** ve **M3-II** numunelerinde C+SD ve **M1-III**, **M2-III** ve **M3-III** numunelerinde ise C+YFC kullanılmıştır. Hazırlanan hafif beton numunelerine ait tasarım karışımı Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Kompozit hafif beton tasarım karışımı

BETON TÜRÜ	SU	BAĞLAYICILAR				AGREGALAR				KATKILAR	
		Ç	UK	SD	YFC	0-4 mm PE	0-4 mm PO	4-8 mm PO	8-16 mm PO	VDK	HSK
<i>BİRİM</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
M1	120	300	-	-	-	-	495	148	55	8	4
M1-I	120	210	90	-	-	-	495	148	55	8	4
M1-II	120	270	-	30	-	-	495	148	55	8	4
M1-III	120	270	-	-	30	-	495	148	55	8	4
M2	120	300	-	-	-	132	-	148	55	8	4
M2-I	120	210	90	-	-	132	-	148	55	8	4
M2-II	120	270	-	30	-	132	-	148	55	8	4
M2-III	120	270	-	-	30	132	-	148	55	8	4
M3	120	300	-	-	-	66	247	148	55	9	3
M3-I	120	210	90	-	-	66	247	148	55	9	3
M3-II	120	270	-	30	-	66	247	148	55	9	3
M3-III	120	270	-	-	30	66	247	148	55	9	3

Çizelge 2.10'da verilen KHB tasarımına bakıldığında; S/Ç oranı 0,40 alınmış ve çimento dozajı 300 kg olarak belirlenmiştir. Hafif agregalar olarak, 0-4 mm ince (%70) ve 4-16 mm kaba (%30) oranlarına göre tasarım yapılmıştır. Tüm seriler için aynı oranda 4-8 mm ve 8-16 mm kaba agregalar olarak sadece PO kullanılmıştır. 0-4 mm ince agregalar ise 1.seri numuneler için %100 PO, 2.seri numuneler için %100 PE, 3.seri numuneler için %50 PO ve %50 PE kullanılmıştır. Her serinin kontrol numunelerinde mineral katkı kullanılmamıştır. Diğer

numunelerde sırasıyla çimentonun %30'u UK, %10'u SD ve %10 oranında da YFC kullanılarak toplam 12 seri numune elde edilmiştir. KHB'nun işlenilebilirliğinin artırılması ve döküm aşamasında homojen dağılım sağlanması amacıyla bağlayıcının %4'ü oranda HSK ve VDK gibi kimyasal katkıları kullanılmıştır. Karışımların kısaltılmış isimlerinin açıklamaları aşağıda sıralanmıştır:

M1 – Bağlayıcı: %100 Ç, 0-4 mm Agrega: %100 PO

M1-I – Bağlayıcı: %70 Ç + %30 UK, 0-4 mm Agrega: %100 PO

M1-II – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 SD, 0-4 mm Agrega: %100 PO

M1-III – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 YFC, 0-4 mm Agrega: %100 PO

M2 – Bağlayıcı: %100 Ç, 0-4 mm Agrega: %100 PE

M2-I – Bağlayıcı: %70 Ç + %30 UK, 0-4 mm Agrega: %100 PE

M2-II – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 SD, 0-4 mm Agrega: %100 PE

M2-III – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 YFC, 0-4 mm Agrega: %100 PE

M3 – Bağlayıcı: %100 Ç, 0-4 mm Agrega: %50 PO + %50 PE

M3-I – Bağlayıcı: %70 Ç + %30 UK, 0-4 mm Agrega: %50 PO + %50 PE

M3-II – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 SD, 0-4 mm Agrega: %50 PO + %50 PE

M3-III – Bağlayıcı: %90 Ç + %10 YFC, 0-4 mm Agrega: %50 PO + %50 PE

2.2.2. Hafif Beton Tasarıma Göre Hazırlanması ve Dökümü

Çizelge 2.10' da gösterilen miktarlardaki malzemeler standartlara uygun karıştırılarak 100x100x100 mm boyutlu kalıplara yerleştirilmiştir. Hafif beton karışım bileşenlerinin karışım suyu eklenmeden önceki halleri Şekil 2.7' de, karışım suyu eklendikten sonraki hali ise Şekil 2.8' de verilmiştir.



Şekil 2.7. Karışım suyu eklenmeden önce



Şekil 2.8. Karışım suyu eklendikten sonra

2.2.3. Dökülen Numunelerin Kür Havuzunda Bekletilmesi

Taze beton deneylerinin şartlarını sağlayan bu 12 esas karışım oranı ile taze beton karışımları kalıplara konularak laboratuvar koşullarında muhafaza edilmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılmış ve 3, 7, 28 ve 90 güne kadar 23 ± 2 °C sıcaklığa sahip kür havuzunda bekletilerek kür edilmiştir. Şekil 2.9 kür havuzlarında küre tabi tutulan numuneler gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Kür havuzu

2.2.4. Kompozit Hafif Betonun Özelliklerinin İncelenmesinde Uygulanan Deneyler

2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık Ölçümü

Beton numunelerin birim ağırlıkları, her grup için 3, 7, 28 ve 90 günde belirlenmiştir. Numuneler etüvde $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ de kurutularak kuru birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Numunelerin kuru birim ağırlığı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır.

$$KB = WK / V$$

(2.1)

Burada;

KB= Numunenin kuru birim ağırlığı (kg/m³)

WK= numunenin 24 saat 105±5 0C’de kurutulmuş ağırlığı (kg)

V= Numunenin hacmi (m³)

2.2.4.2. Beton Basınç Dayanım Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 100x100x100 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde 3, 7, 28, ve 90 günlük kür sonrasında yapılmıştır. Her bir KHB serisinden 2’şer adet numune basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı testi TS EN 12390-3 [23] standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır. Basınç dayanımı testinin uygulanmasında 3000 kN yükleme kapasiteli hidrolik yüklemeli, bilgisayar kontrollü otomatik pres cihazı kullanılmıştır. Basınç deneyi sonrasında kırımı gerçekleştirilen her bir numuneye ait bilgiler özenle kaydedilerek grafikleri oluşturulmuştur. Basınç deneylerinin uygulandığı pres cihazı Şekil 2.10’da sunulmuştur



Şekil 2.10. Beton pres cihazı

2.2.4.3. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı Ölçüm Deneyi

Üretilen beton serilerinin ultrasonik ses geçirgenlik (USG) hızını belirlemede Pundit cihazı kullanılmıştır. Bu alet kullanılarak, ses dalgasının numunenin düzgün bir yüzeyinden, karşılıklı olarak diğer yüzeyine geçiş süresi tespit edilerek kaydedilmiştir. Ses dalgasının geçiş esnasında kat ettiği mesafe kaydedilen süreye oranlanarak USG hızı (2.2) denklemi ile bulunmuştur [24].

$$V = (S / t) 10^6 \quad (2.2)$$

Burada;

V = Dalga hızı (metre/saniye),

S = Beton bloğun ses-üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m),

t = Dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır. (sn),

Tez çalışmasında USG hızı tayini için 100x100x100 mm ebatlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Küp numunelere 3, 7, 28 ve 90 günlük kürü sonrasında USG hızı tayini deneyi uygulanmıştır. Su kürü sonrasında uygulanan her deneyde olduğu gibi bu deneyde de numuneler deney öncesinde 1 saat bekletilerek yüzeylerinin kuruması ve bekletme neticesinde tüm deney numunelerinin su kürü sonrası durumlarının bir ölçüde standardize edilerek, deney sonuçlarının değişik nem içeriğinden etkilenmemesi sağlanmıştır. Bu bekleme süresi sonrasında deney numunelerinin yüzeyleri temizlenerek Pundit dalga verici ve alıcı uçlarının beton yüzeylerine tam teması sağlanmıştır. Bu şekilde deneye hazırlanan beton numunelerin düzgün 4 yüzeyinden karşılıklı olarak 2 okuma yapılmış ve bu 2 değerın ortalaması alınarak kayıt altına alınmıştır. Elde edilen verilere göre USG'ye ait sonuç grafikleri oluşturulmuştur. USG'nin yapıldığı test cihazı Şekil 2.11'de sunulmuştur.



Şekil 2.11. USG test cihazı

2.2.4.4. Isıl Geçirgenlik Deneyi

Isıl özelliklerin belirlenmesi deneyi ASTM C 332 standartlarına göre yapılmıştır. Isıl özellikleri değerlerinin belirlenmesi deneyleri 90.kür yaşını doldurmuş 100x100x100 mm boyutlarına sahip 12 küp numune TS 3649 'da belirtildiği şekilde yapılmış olup, sağlıklı sonuçlar alınabilmesi amacıyla ölçümler her bir numune için 3'er defa yapılmış ve ortalama değerler kaydedilmiştir. Isı İletim Analiz Parametreleri (λ , C_p , Ortam Sıcaklığı), Dicle Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Doğal Taş Laboratuvarında bulunan ISOMET 2104 model cihaz (Şekil 2.12) kullanılarak ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar grafiğe dökülmüştür.

Şekil 2.12'de görülen ölçüm cihazı, ısı iletim katsayısını 0.04-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle, hacimsel özgül ısıyı $4.0 \times 10^4 - 4.0 \times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$ aralığında %15 hassasiyetle tespit etmektedir. Ölçüm sonucunda ortam sıcaklığı ve ısıl yayılım katsayısı da cihaz ekranından okunabilmektedir. Özellikle doğal taşlar ve yapı elamanlarının ısıl özelliklerinin tespit edilmesi için geliştirilmiş olan cihazın, 3 farklı katı yüzey probu bulunmaktadır. Bu problemler farklı ölçüm aralıkları için kullanılmaktadır.



Şekil 2.12. Isıl geçirgenlik test cihazı

2.2.4.5. Donma-Çözünme Deneyi

Donma-çözünme deneyi Şekil 2.13'deki cihaz kullanılarak yapılmıştır. Deney numunesi olarak 100x100x100 mm ölçülerinde küp numuneler kullanılmıştır. Deney standartlarına uygun olarak ve tüm beton serileri için 28.kür yaşını dolduran numunelere uygulanarak tamamlanmıştır. Donma çözünmeyi ölçen cihaz; sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C'ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C'de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C'ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C'de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C'ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu döngü 100 kez (100 gün) tekrarlanmıştır. Deney tamamlandıktan sonra numuneler üzerinde USG hızı tayini ve basınç deneyi uygulanmıştır.



Şekil 2.13. Donma çözünme deneyi

2.2.4.6. Asit Dayanıklılığı Deneyi

Asit dayanıklılık testinde sülfirik asit kullanılmıştır. Sülfirik asit kullanılarak % 5 çözünürlük ile hazırlanan çözelti plastik kaplara doldurulmuş, 28 günlük küre tabi tutulan hafif kompozit beton numuneleri etüv kurusu olarak çözelti içine yerleştirilmiş ve laboratuvar koşullarında 60 gün aside maruz bırakılarak bekletilmiştir. Bu süre sonunda deneyi tamamlanmış numuneler üzerinde USG hızı tayini ve basınç deneyi uygulanmıştır. Deneye tabi olan numuneler Şekil 2.14’te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Asit dayanıklılık testi

2.2.4.7. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık etkisi birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Yapılan çoğu çalışmada beton numuneler üzerinde, farklı sıcaklıklar ve farklı uygulama süreleri denenmiş ve bu uygulamaların daha çok basınç dayanımı üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Yapılan bu araştırmalardan farklı olarak bu tez çalışması kapsamında 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C derecelerine tabi tutulan numunelere USG hızı tayini ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Bu deney; otomatik ısı kontrollü fırın kullanılarak, 90. kür yaşını dolduran 100x100x100 mm ölçülerinde küp numunelere uygulanmıştır. (Şekil 2.15) Isınma hızı 6°C/dakika, 1200°C limit sıcaklık kapasitesi gibi teknik özelliklere sahip olan laboratuvar tipi bu fırınla, ısınma hızını, numunenin bekletileceği limit sıcaklık derecesini, bekleme süresini otomatik olarak ayarlama yapılabilmektedir.



Şekil 2.15. Yüksek sıcaklıklı fırın

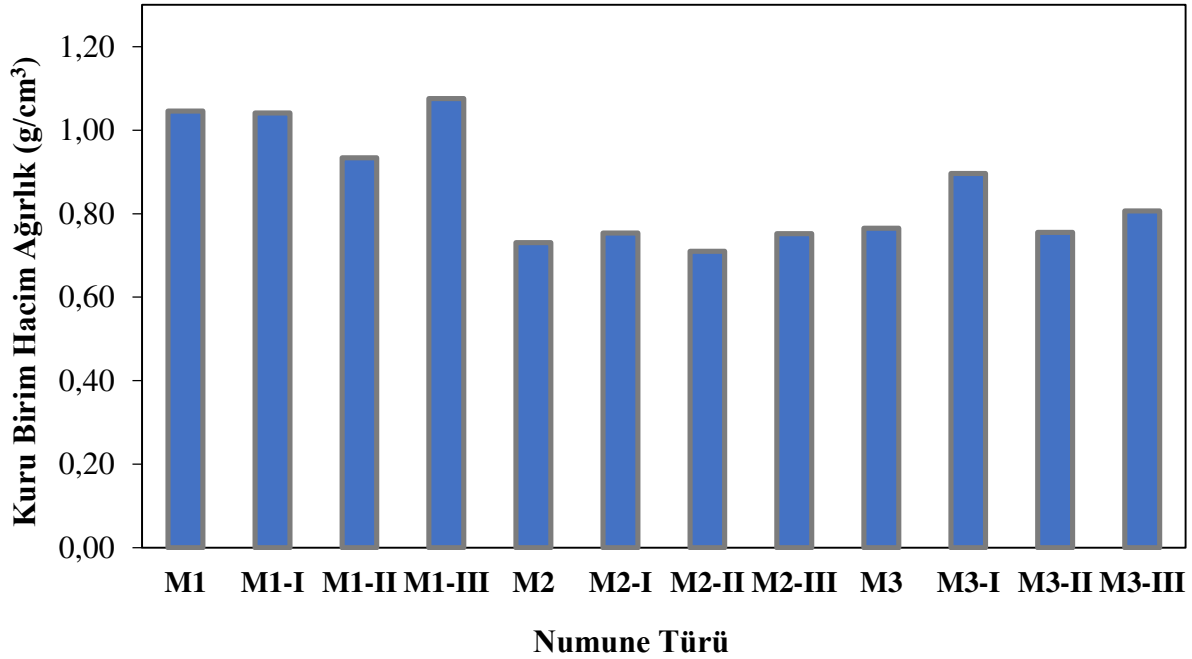
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kompozit Hafif Betonun İle İlgili Bulgular

Laboratuvar şartlarında tasarımı gerçekleştirilen 12 farklı KHB serisi uygun kür koşullarından sonra farklı deneylere tabi tutulmuş ve elde edilen bulgular bu bölümde değerlendirilmiştir.

3.1.1. Kuru Birim Ağırlık İle İlgili Bulgular

KHB serilerimizin 3,7,28 ve 90 günlük numunelerden ikişer adet fırın kurusu BHA'ları hesaplanmış ve ortalama BHA'ları Şekil 3.1'de verilmiştir.



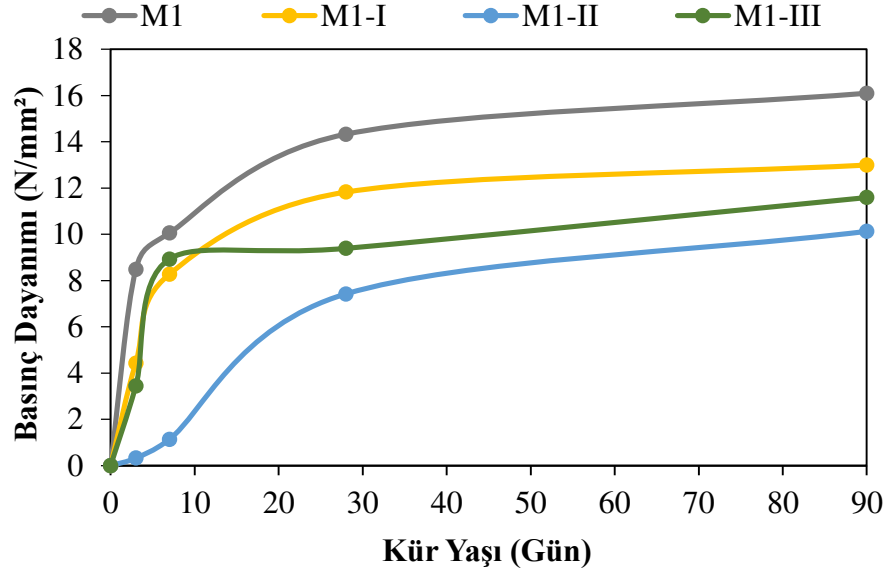
Şekil 3.1. BHA'larına ait grafik

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere numuneler içerisindeki PE oranı arttıkça BHA'larda düşüşler gözlemlenmiştir. En yüksek BHA'a sahip numune $1,076 \text{ gr/cm}^3$ değeriyle **M1-III**, en düşük BHA'a sahip numune ise $0,710 \text{ gr/cm}^3$ değeriyle **M2-II** olmuştur. %100 PO içerikli numuneler en yüksek BHA'ı sahip iken, 0-4 mm %100 PE içerikli numuneler ise en düşük BHA değerini almışlardır. Öztürk (2012) yaptığı çalışmalarda PO ve PE'li karışımlarda %90PO+%10PE karışımının taze birim ağırlığı $1,379 \text{ gr/cm}^3$ iken, %70PO+%30PE karışımının

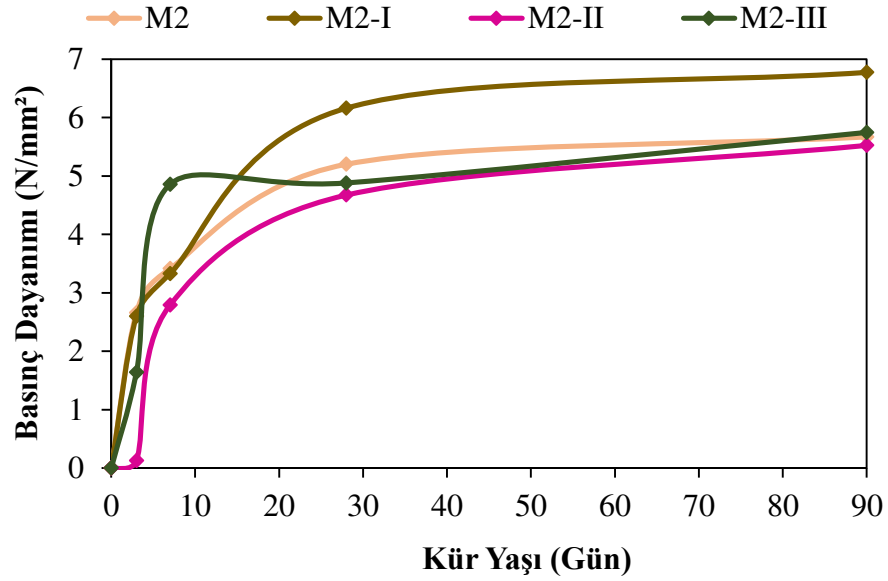
taze birim ağırlığı $1,320 \text{ gr/cm}^3$ olarak gözlemlemiştir. Çalışmalarımızda elde ettiğimiz verilere paralel olarak PE oranı arttıkça BHA da düşüşler olduğu saptanmıştır.

3.1.2. Beton Basınç Dayanım İle İlgili Bulgular

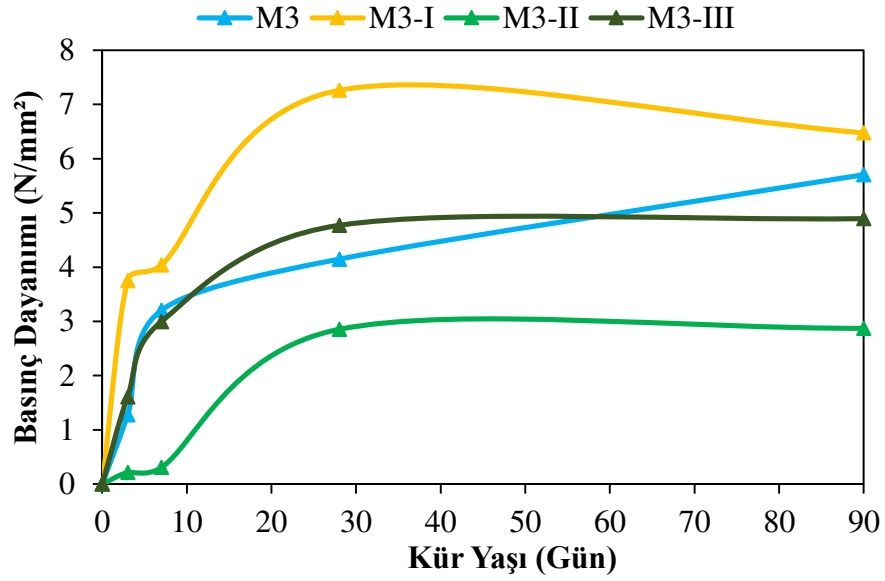
KHB serilerimizin 3, 7, 28 ve 90 günlük numunelerden ikişer adet basınç dayanımına tabi tutulmuş ve ortalama dayanımlar Şekil 3.2’de (M1 Serisi), Şekil 3.3’te (M2 Serisi) ve Şekil 3.4’te (M3 Serisi) verilmiştir.



Şekil 3.2. M1 serisinin basınç dayanım sonuçları



Şekil 3.3. M2 serisinin basınç dayanım sonuçları



Şekil 3. 4. M3 serisinin basınç dayanım sonuçları

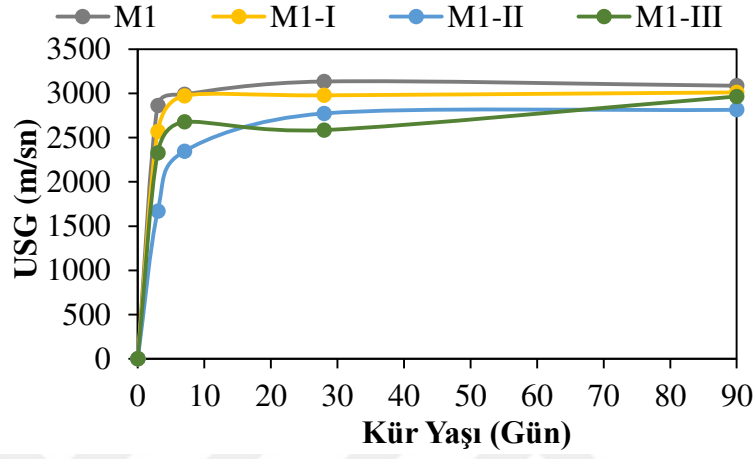
Basınç dayanımlarına bakıldığında BHA ile paralel olarak, PE oranı arttıkça dayanımlarda azalma gözlemlenmiştir. 28 günlük dayanımlar incelendiğinde 14,33 N/mm² ile **M1**, 6,16 N/mm² ile **M2-I**, 7,26 N/mm² ile **M3-I** kendi serilerinde en yüksek dayanıma ulaşmıştır. Aynı şekilde 7,42 N/mm² ile **M1-II**, 4,88 N/mm² ile **M2-II**, 2,85 N/mm² ile **M3-II** en düşük dayanım elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre %100 PO içerikli **M1** serisinde en yüksek dayanım mineral katkısız **M1** numunesi çıkarken, PE içerikli **M2** ve **M3** serisinde en yüksek dayanım UK'lı **M2-I** ve **M3-I** numunelerinde gözlemlenmiştir. Her serinin en düşük numunesi de SD'lı numunelerde gözlemlenmiştir. SD'lı numuneler mineral katkısız numunelerden daha yüksek çıkması beklenirken, daha düşük çıktığı görülmüştür. SD'lı numunelerin mukavemete olumlu bir etkisinin olmaması, PO ve PE çok gözenekli olduklarından az oranda kullanılan mineral katkıların o gözeneklere kaçarak, Şekil 2.7' de de görüldüğü gibi topaklaşmaktan kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Betona katılan hafif malzeme oranı arttıkça, betonun birim ağırlıklarında bir düşüş gözlenmiştir. Ayrıca **M2** ve **M3** serili ısı yalıtım amaçlı hafif betonun birim ağırlığının 1,000 g/cm³ sınırının altında olduğu ve yüzen beton olarak adlandırılabilceği söylenebilir. Birim ağırlıklardaki azalma, basınç dayanımı düşüşlerini de beraberinde getirmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına baktığımızda dayanım sonuçların bu düşüşü desteklediği görülmektedir.

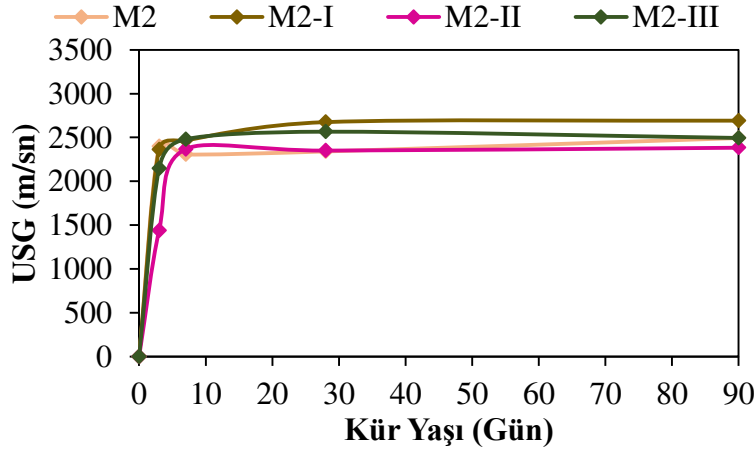
Şekil 1.1' deki hafif beton sınıflandırması ile BHA ve basınç dayanım değerlerimiz kıyaslandığında; **M1** serisi orta dayanımlı (BHA 0,800 – 1,400 gr/cm³ arası, Basınç Dayanımları 7-14 Mpa arası), **M2** ve **M3** serilerinin geneli ise yalıtım betonları (BHA 0,300 – 0,800 gr/cm³ arası) sınırlarında kaldığı gözlemlenmiştir.

3.1.3. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Hızı İle İlgili Bulgular

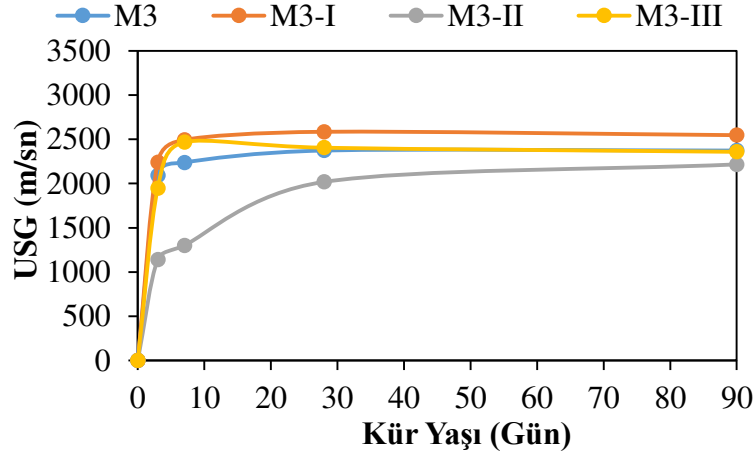
KHB serilerimizin 3, 7, 28 ve 90 günlük numunelerden ikişer adet USG deneyine tabi tutularak ortalama değerleri Şekil 3.5 (M1 Serisi), Şekil 3.6 (M2 Serisi) ve Şekil 3.7 (M3 Serisi)'de verilmiştir.



Şekil 3.5. M1 serisi USG sonuçları



Şekil 3.6. M2 serisi USG sonuçları



Şekil 3.7. M3 serisi USG sonuçları

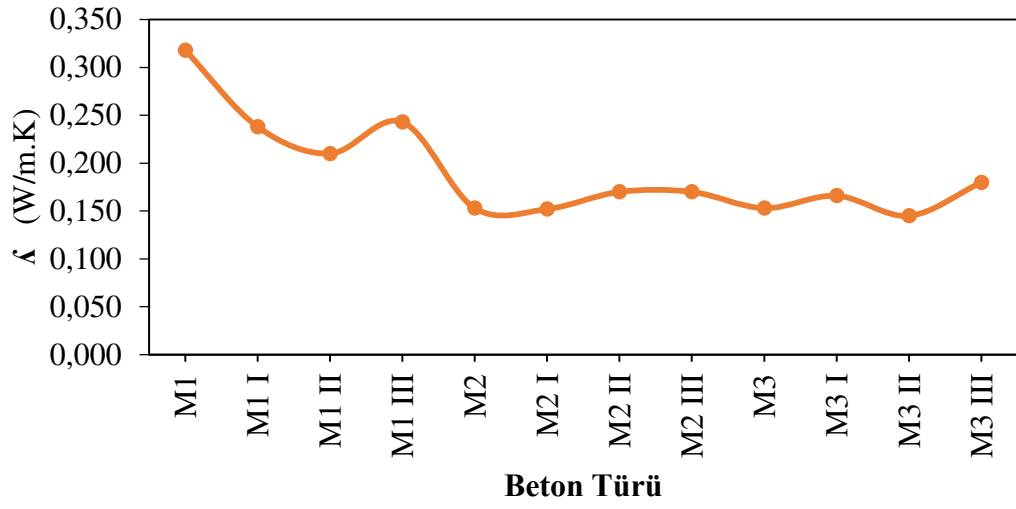
28 günlük numunelerin USG verileri incelendiğinde **M1** numunesi 3.134 m/sn değeri ile, **M2-I** numunesi 2.675 m/sn değeri ile, **M3-I** numunesi 2.585 m/sn değeri ile en yüksek değeri almıştır. Aynı şekilde **M1-III** numunesi 2.585 m/sn değeri ile, **M2** numunesi 2.340 m/sn değeri ile, **M3-I** numunesi 2.019 m/sn değeri ile en düşük değeri almıştır. %100 PO ile üretilen KHB'ların USG değerleri %100 PE ile üretilen KHB'lardan daha yüksektir.

Öztürk (2007) de çalışmalarında PE oranı arttıkça USG değerleri, basınç dayanıma paralel olarak düşüş gözlemlenmiş ve USG'nin numune içerisindeki boşluk oranına göre değişkenlik gösterdiğini savunmuştur [47].

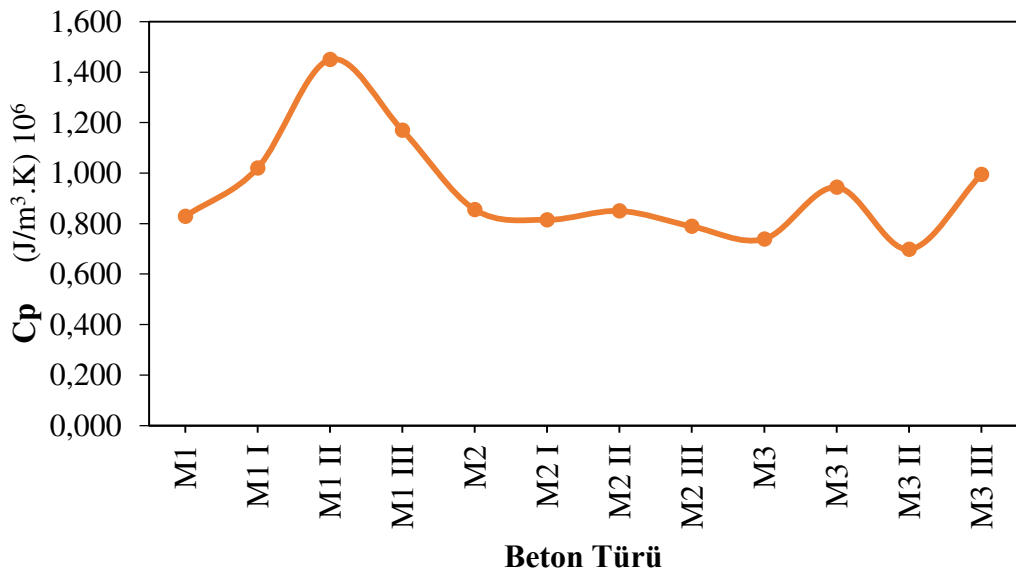
Yaptığımız çalışmada da USG değerlerine bakıldığında basınç dayanım sonuçlarıyla birbirini teyit edici sonuçlar elde edilmiştir. USG değerleri incelendiğinde **M3** serisinin, **M2** sersinden daha yüksek olması beklenirdi ama birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

3.1.4. Isıl Geçirgenlik İle İlgili Bulgular

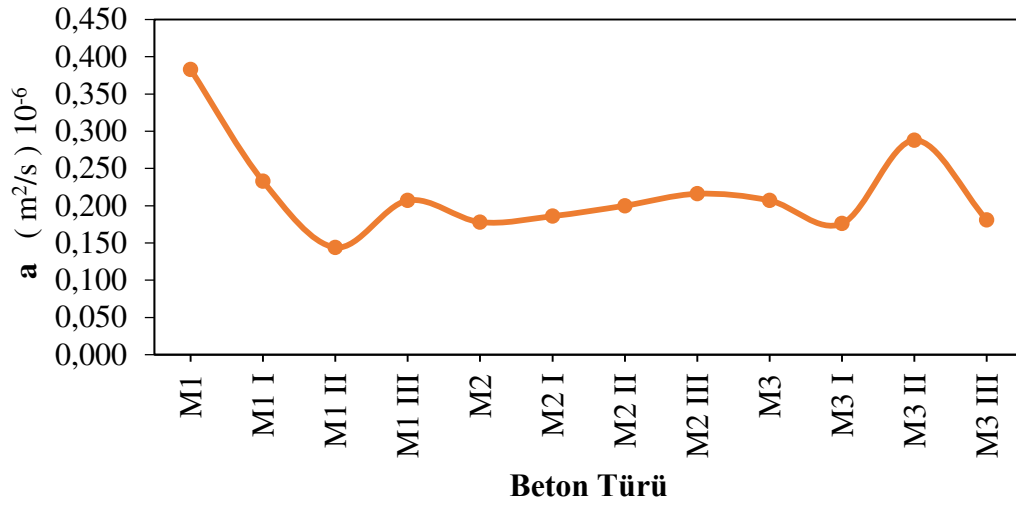
Numunelerden birer adet ısıl geçirgenlik deneyine tabi tutularak elde edilen veriler Şekil 3.8 (λ -Isıl İletkenlik Katsayısı), Şekil 3.9 (C_p -Özgül Isı) ve Şekil 3.10 (α -Isı Yayınım Değeri)'da verilmiştir.



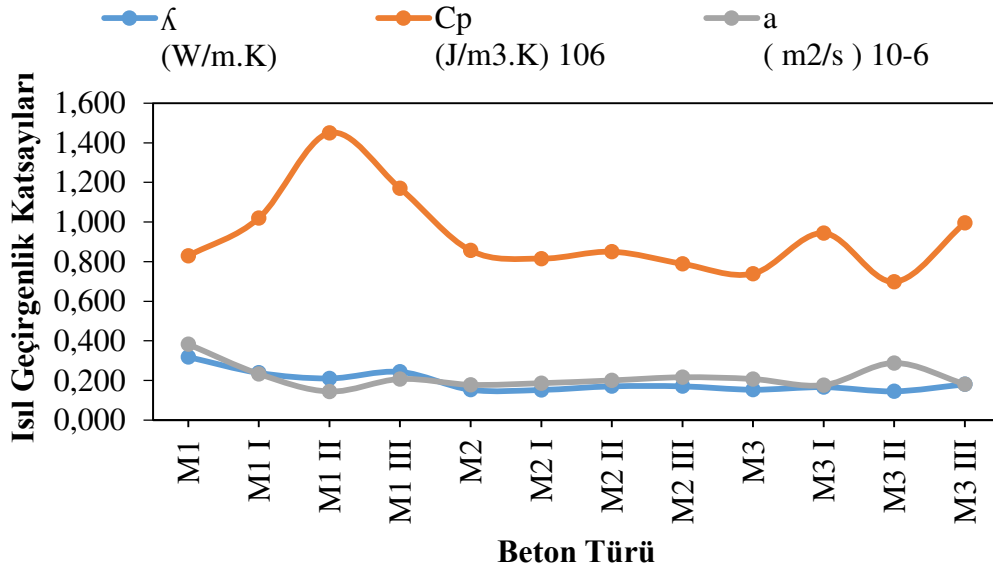
Şekil 3.8. Isı iletkenlik katsayısı değerleri



Şekil 3.9. Özgül ısı değerleri



Şekil 3.10. Isı yayılım değerleri



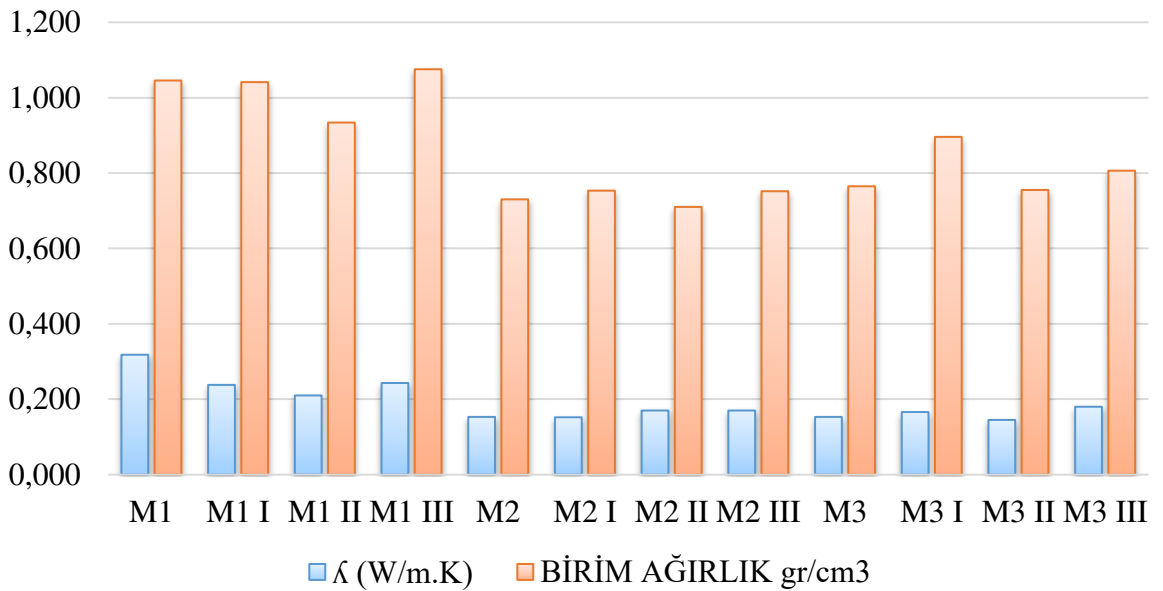
Şekil 3.11. Isıl iletkenlik katsayıları kıyaslama grafiği

Yaptığımız çalışmalarda ısıl geçirgenlik değerlerine bakıldığında PE oranı artan numunelerin ısıl iletkenlik değerinde azalmalar gözlemlenmiştir. **M1** numunesi 0,318 W/m.K değeri ile en yüksek ısıl iletkenlik katsayısına ulaşırken, **M3-II** numunesi 0,145 W/m.K değeri ile en düşük ısıl iletkenlik katsayısına ulaşmıştır. (Şekil 3.11) Yalıtım özelliğinin de PE içerikli numunelerde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Turanlı (1995), araştırmasında, SD'nın çimento hidratasyonu sırasındaki en önemli rolünün, C₂S ve C₃S hidratasyonları sonucu oluşan kalsiyum hidroksiti bağlamak ve yeni bir

kalsiyum silikat hidrat (CSH) jeli meydana getirmek olduğunu söylemiştir. Bu jelin özellikleri, çimento hamurunda normal olarak oluşan CSH jelinden biraz farklı olup, yoğunluğunun daha az ancak geçirimsizliğinin daha fazla olduğunu belirtmiştir. Yaptığımız çalışmada da PO içerikli numunelerdeki ısıl geçirgenlik katsayıları incelendiğinde; SD'lı betonlar, UK'lü ve YFC'lu betonlardan daha düşük olduğu görülmüştür. SD'lı numunelerin diğerlerine nazaran geçirimsizliğinin daha fazla olmasının muhtemel nedeni Turanlı (1995) 'nın tespitiyle örtüşmektedir. Fakat asıl nedeninin tespiti ise Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile yapılacak analizler sonrası mümkündür.

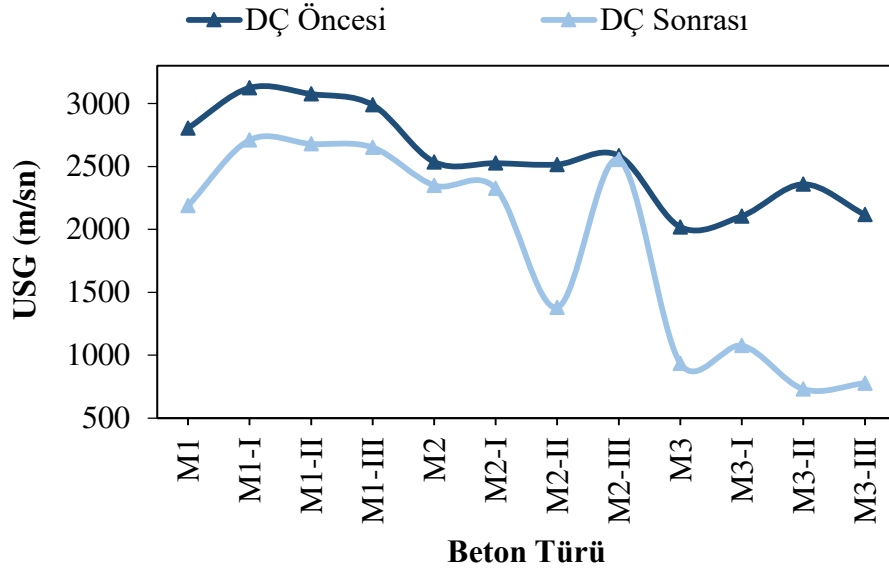
Clarke (1993) yaptığı araştırmada normal betonun birim ağırlığı ısıl iletkenliğini tam olarak etkilememesine rağmen, havanın düşük ısı iletimine bağlı olarak, hafif betonun ısıl iletkenliği birim ağırlığı ile değiştiğini gözlemlemiştir. Demirboğa ve Gül'ün (1999) ise çalışmalarında farklı oranlarda geliştirilmiş perlit ve pomza agregası içeren hafif betonların ısıl iletkenlikleri incelenmektedir [15, 46]. Hafif betonların üretiminde kullanılan toplam agregadaki genleştirilmiş perlit oranı artıp, pomza oranı azaldıkça hafif betonların ısıl iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir. Şekil 3.12'de verilen grafiğe göre genel anlamda PO oranının azalması, PE oranının arttığı numunelerde ısıl iletkenliğinin de azaldığı görülmüştür. Mineral katkıların etkileşimlerine bakıldığında, YFC'lu numunelerin, UK ve SD katkılı numunelere oranla ısıl geçirgenlik katsayısının arttığı ve ısı yalıtım özelliklerinin daha kötü sonuç elde edildiği görülmüştür.



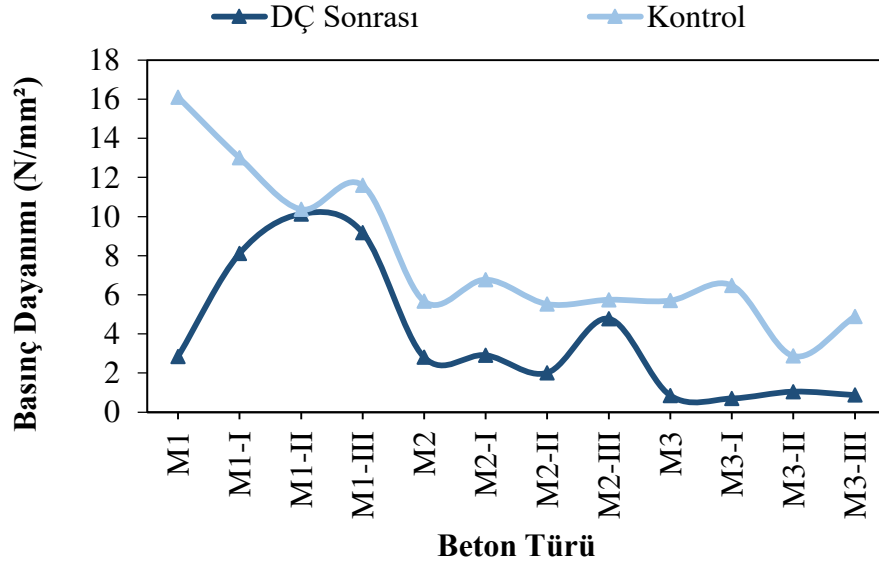
Şekil 3.12. Isıl iletkenlik katsayısı ve birim ağırlık kıyaslaması

3.1.5. Donma Çözünme İle İlgili Bulgular

KHB deneylerine ait donma çözünme deneyi yapılırken öncesi ve sonrası ölçülen USG değerleri Şekil 3.13'te, donma çözünme sonrası basınç deney sonuçları da Şekil 3.14'te verilmiştir.



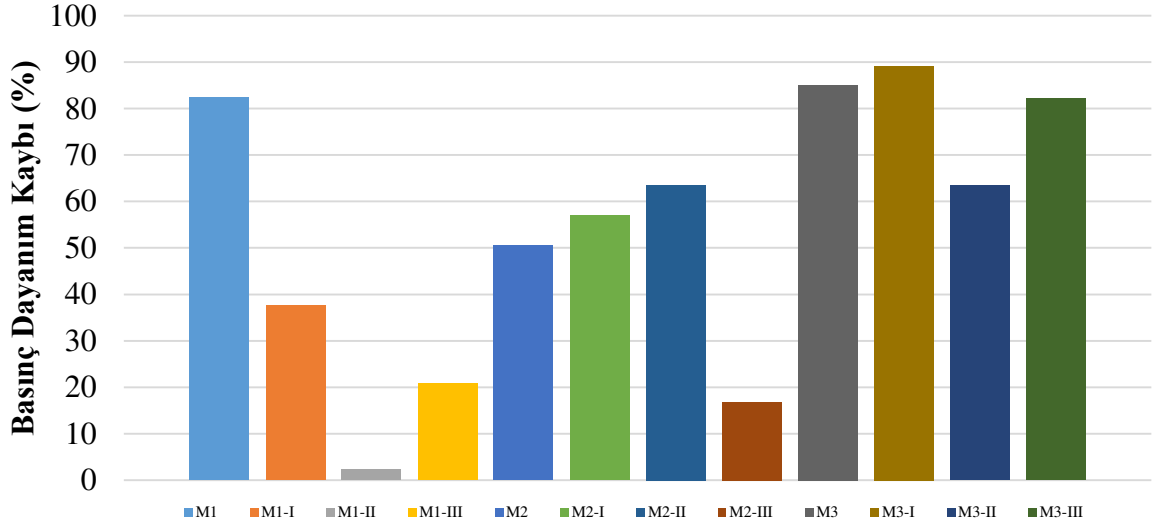
Şekil 3.13. Donma çözünme sonrası USG sonuçları



Şekil 3.14. Donma çözünme sonrası basınç dayanımı sonuçları

Donma çözünme deney verileri incelendiğinde, deney sonrası USG verilerinde PO içerikli KHB'ların çok fazla değişkenlik göstermediğini ama PE içerikli KHB'lar da ise ciddi

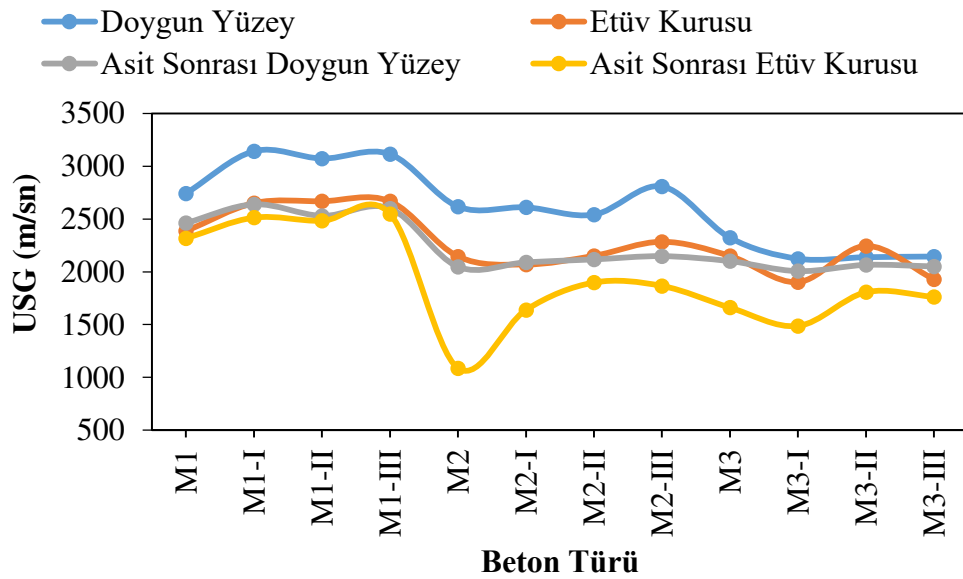
azalmalar olduğu saptanmıştır. Donma çözünme sonrası KHB’larda basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Basınç dayanım kayıpları Şekil 3.15’de verilmiştir.



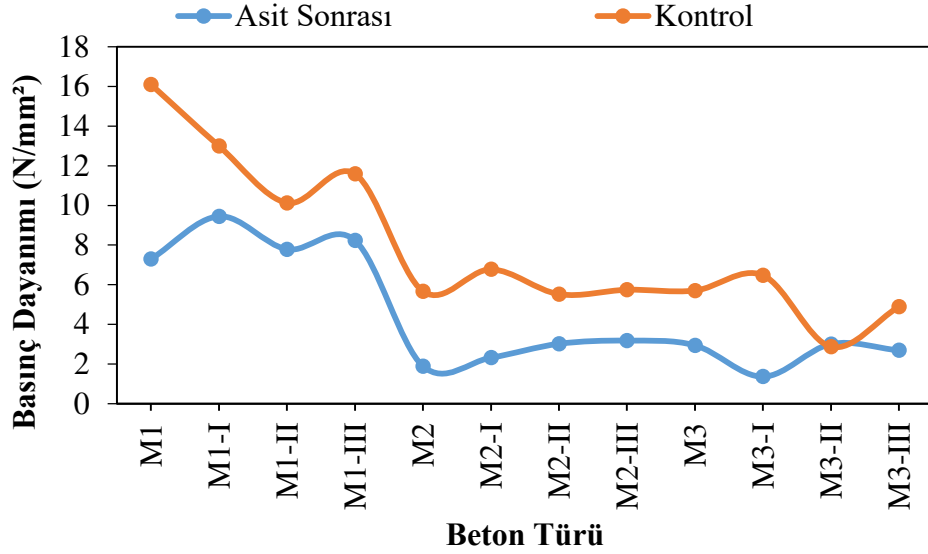
Şekil 3.15. Donma çözünme sonrası basınç dayanım kayıp yüzdesi grafiği

3.1.6. Asit Dayanıklılığı İle İlgili Bulgular

KHB numunelerine ait asit dayanıklılık deneyi yapılırken doygun yüzey, etüv kurusu, asit sonrası doygun yüzey ve asit sonrası etüv kurusu olarak ölçülen USG değerleri Şekil 3.16’da, deney sonrası basınç deneyleri de Şekil 3.17’de verilmiştir.

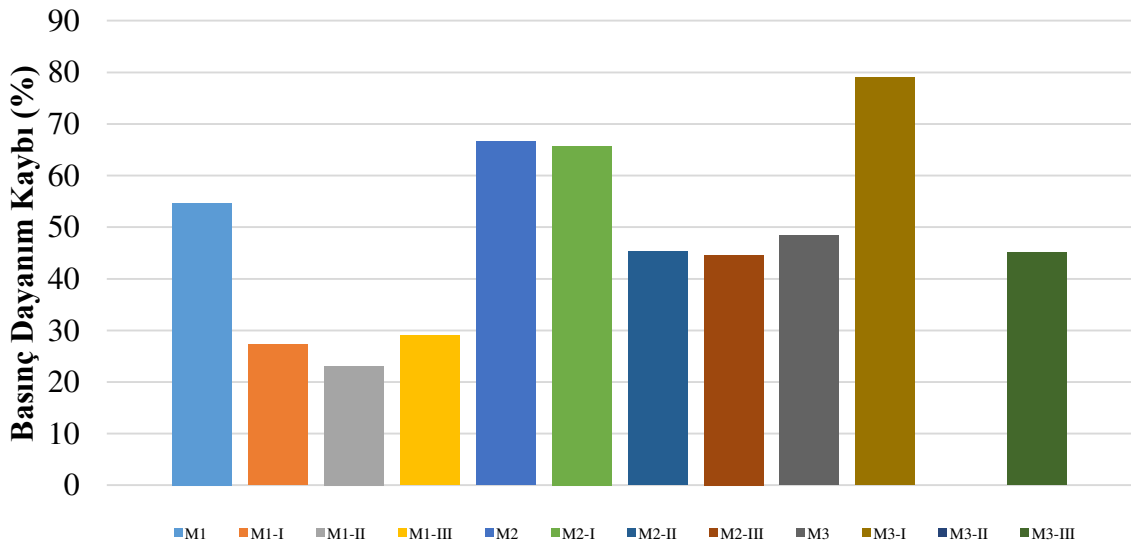


Şekil 3.16. Asit dayanıklılığı USG sonuçları



Şekil 3.17. Asit dayanım testi sonrası basınç dayanım grafiği

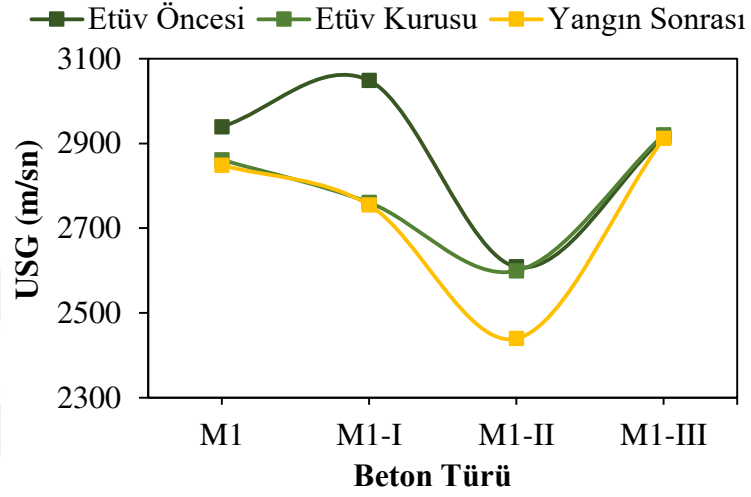
Asit dayanıklılık deney verileri incelendiğinde en çok etkilenen PE içerilik KHB numunelerdir. Mineral katkılı PE içerikli betonların asit dayanıklılığın mineral katkısına oranla daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Deney sonrası en yüksek USG değerini alan numune 2.548 m/sn ile **M1-III**, en düşük USG değerini alan numune ise 1.088 m/sn ile **M2** numunesi olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonrası **M1-I** numunesi 9,45 N/mm² ile maksimum dayanım değerini alırken, **M3-I** numunesi 1,36 N/mm² minimum değeri almıştır. Asit sonrası basınç dayanım kaybı yüzdesi Şekil 3.18’de verilmiştir.



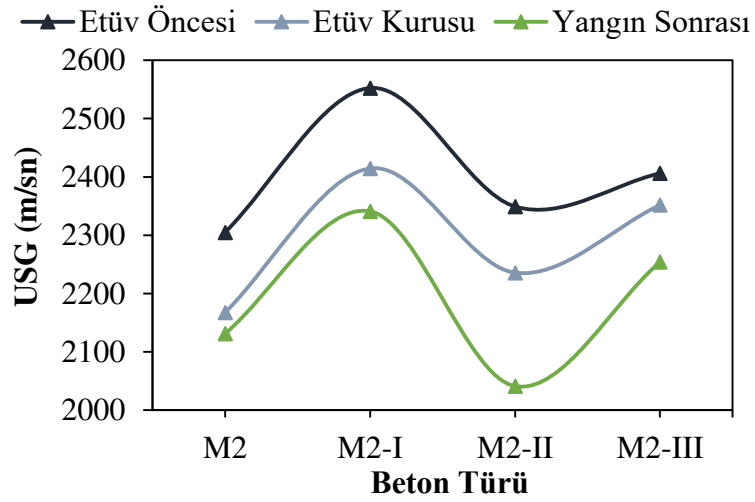
Şekil 3.18. Asit sonrası basınç dayanım kaybı yüzdesi grafiği

3.1.7. Yüksek Sıcaklık İle İlgili Bulgular

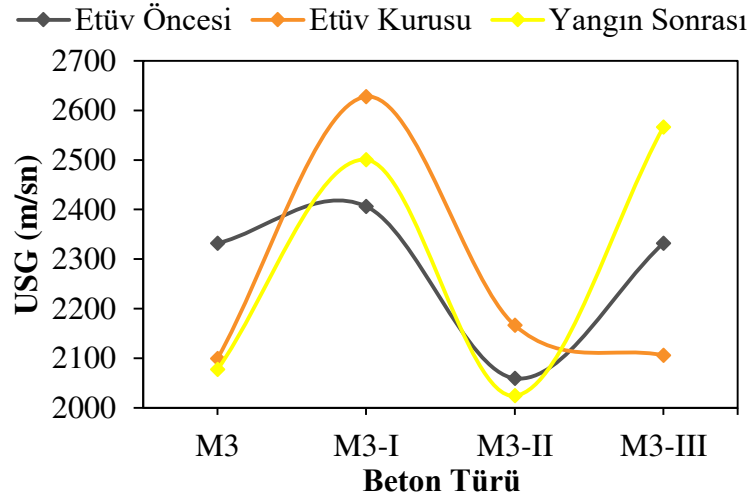
KHB numuneleri dört farklı derecede yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulmuş, etüv öncesi, etüv kurusu ve yangın sonrası USG ölçümleri yapılmıştır. 200°C’de yapılan yüksek sıcaklık deneyine ait veriler Şekil 3.19 (M1 Serisi), Şekil 3.20 (M2 Serisi) ve Şekil 3.21 (M3 Serisi)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. 200°C sonrası M1 serisi USG sonuçları

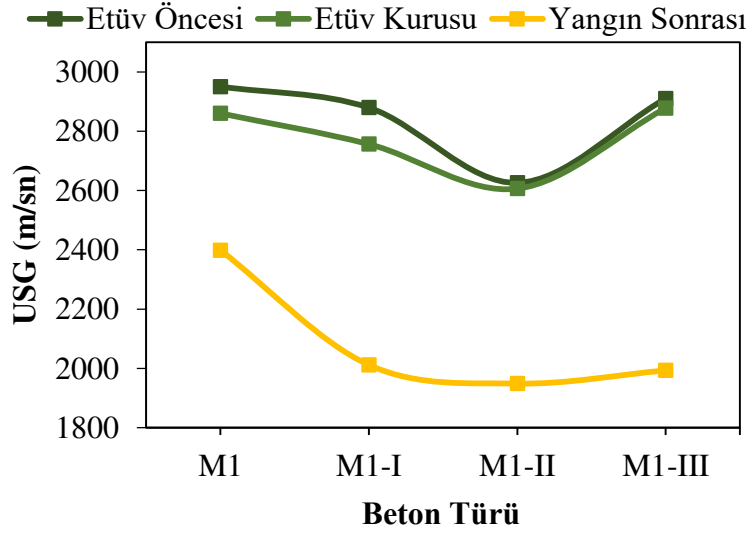


Şekil 3.20. 200°C sonrası M2 serisi USG sonuçları

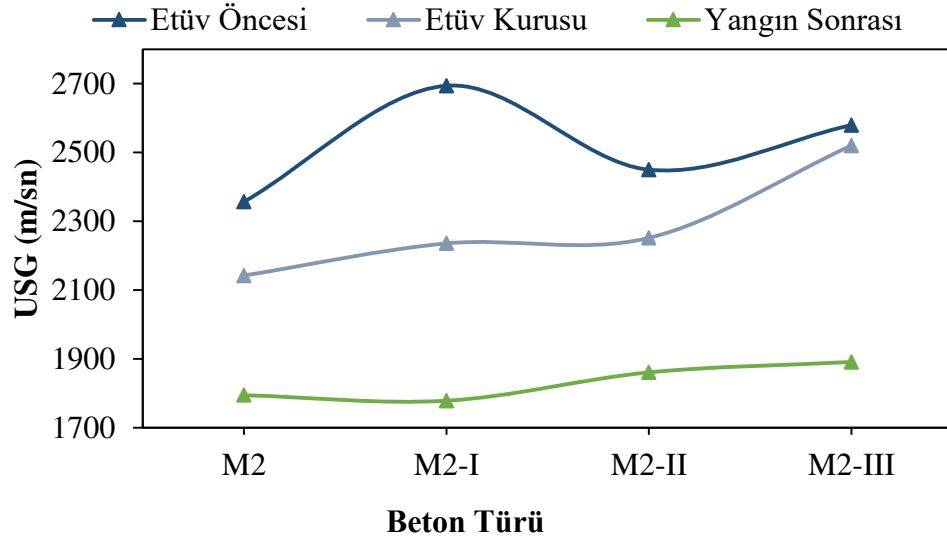


Şekil 3.21. 200°C sonrası M3 serisi USG sonuçları

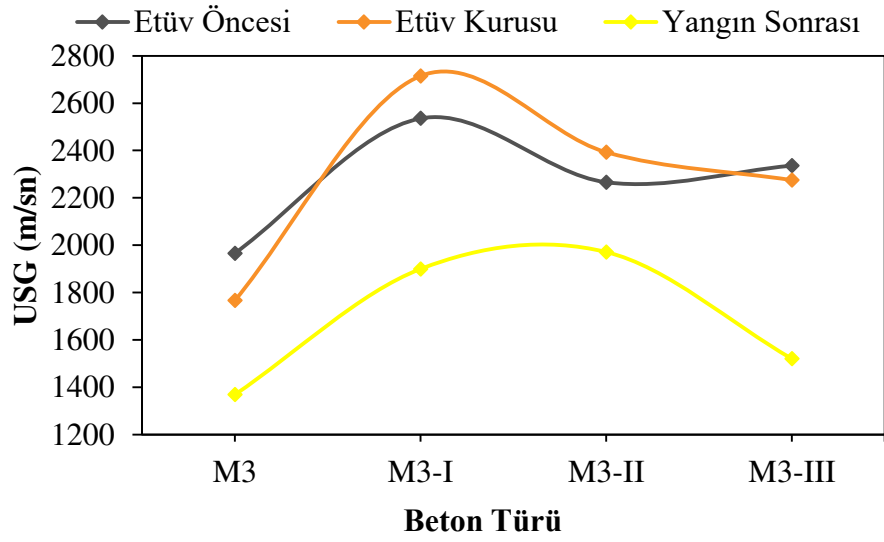
400°C’de yapılan yüksek sıcaklık deneyine ait veriler Şekil 3.22 (M1 Serisi), Şekil 3.23 (M2 Serisi) ve Şekil 3.24 (M3 Serisi)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. 400°C sonrası M1 serisi USG sonuçları

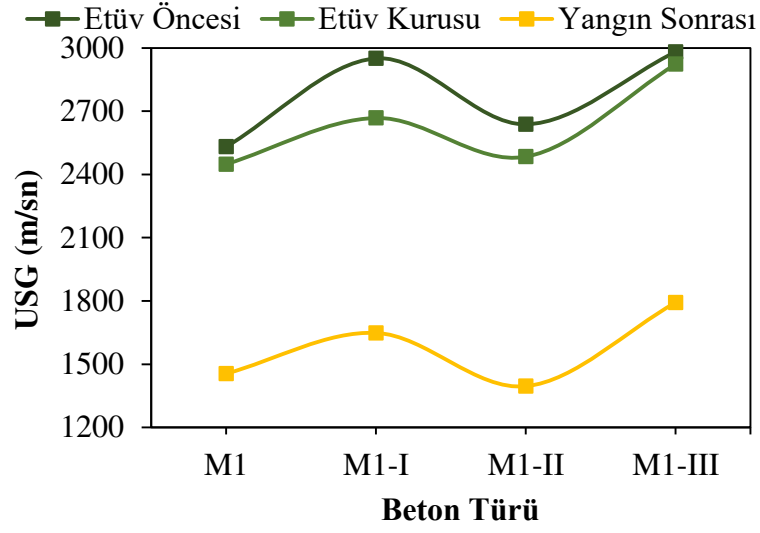


Şekil 3.23. 400°C sonrası M2 serisi USG sonuçları

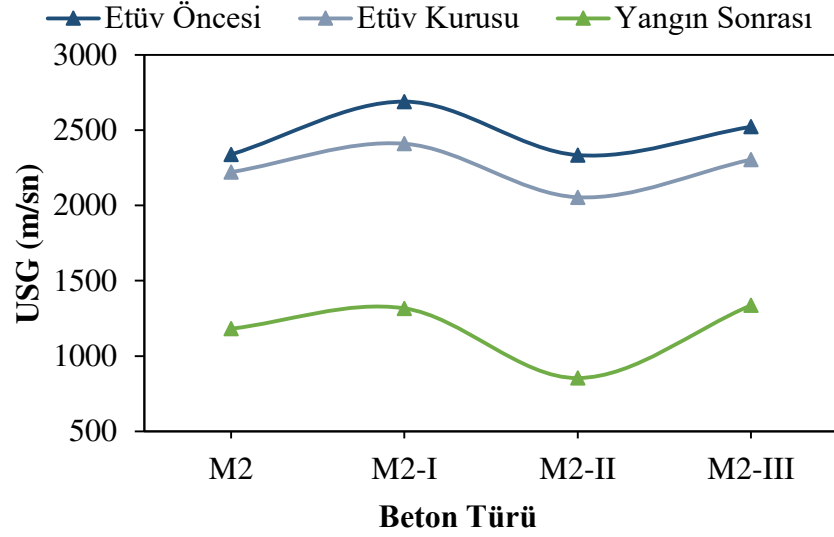


Şekil 3.24. 400°C sonrası M3 serisi USG sonuçları

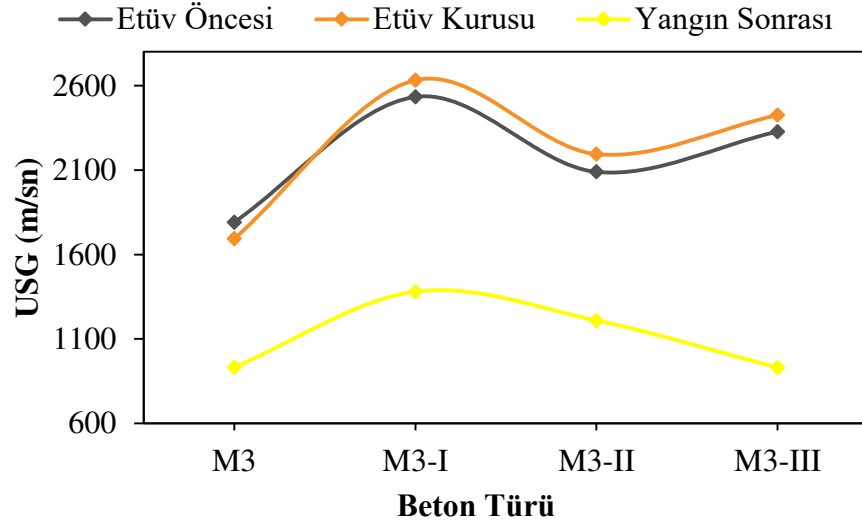
600°C’de yapılan yüksek sıcaklık deneyine ait veriler Şekil 3.25 (**M1 Serisi**), Şekil 3.26 (**M2 Serisi**) ve Şekil 3.27 (**M3 Serisi**)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. 600°C sonrası M1 serisi USG sonuçları

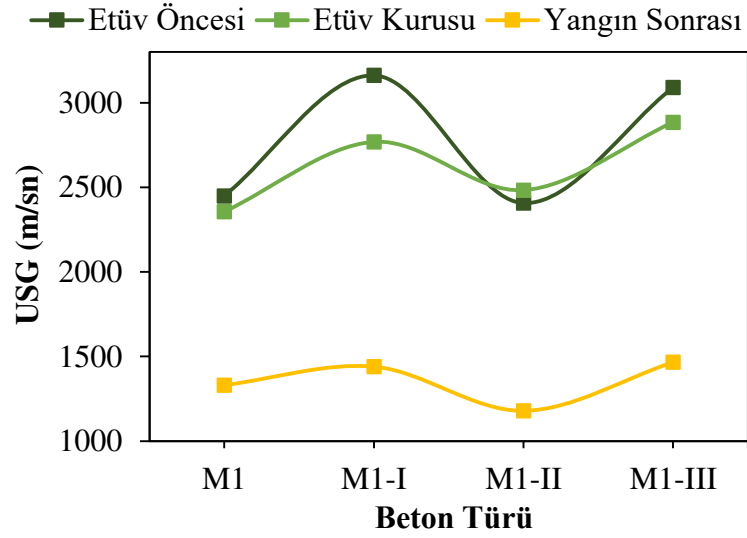


Şekil 3.26. 600°C sonrası M2 serisi USG sonuçları

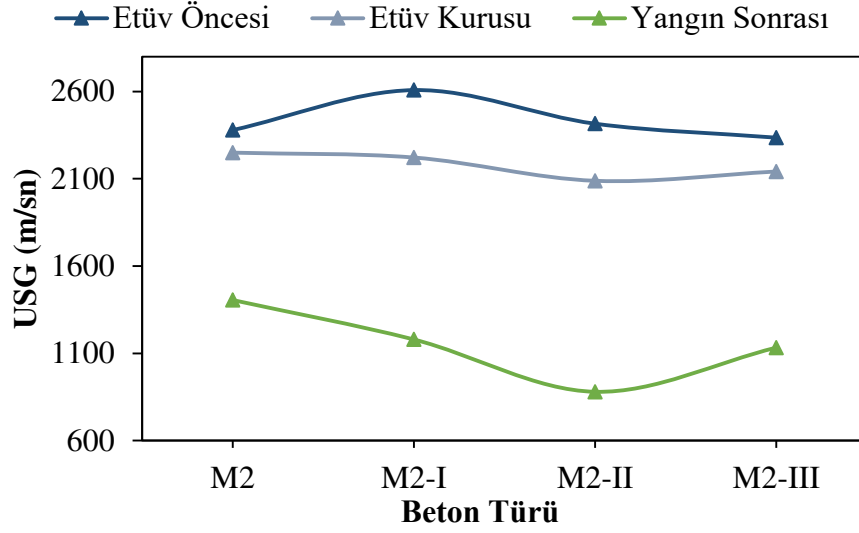


Şekil 3.27. 600°C sonrası M3 serisi USG sonuçları

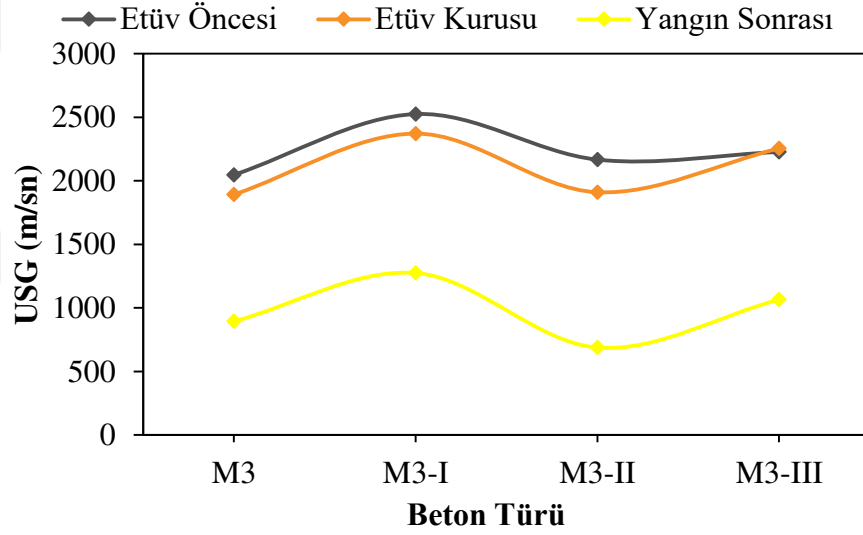
800°C’de yapılan yüksek sıcaklık deneyine ait veriler Şekil 3.28 (**M1 Serisi**), Şekil 3.29 (**M2 Serisi**) ve Şekil 3.30 (**M3 Serisi**)’de gösterilmiştir.



Şekil 3.28. 800°C sonrası M1 serisi USG sonuçları

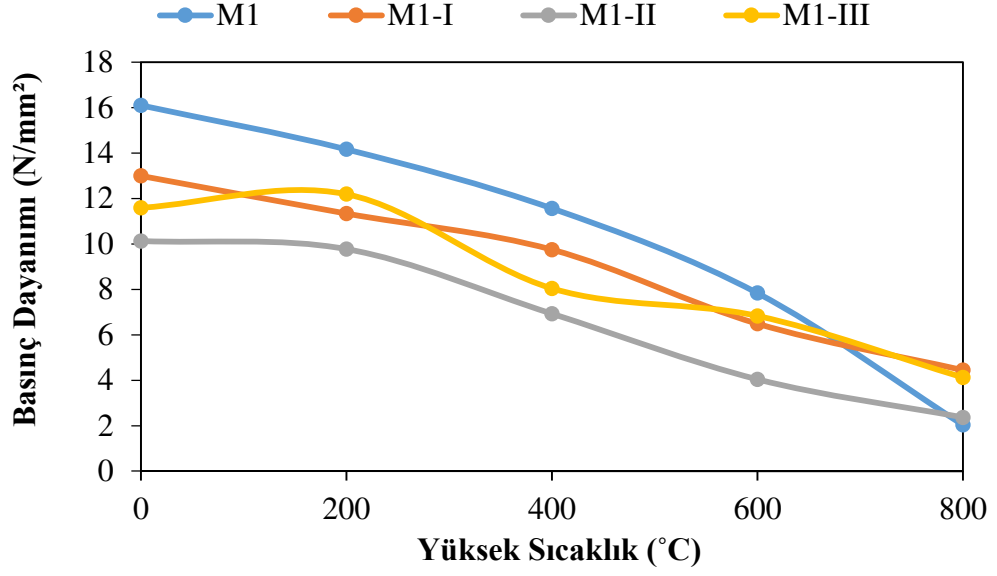


Şekil 3.29. 800°C sonrası M2 serisi USG sonuçları

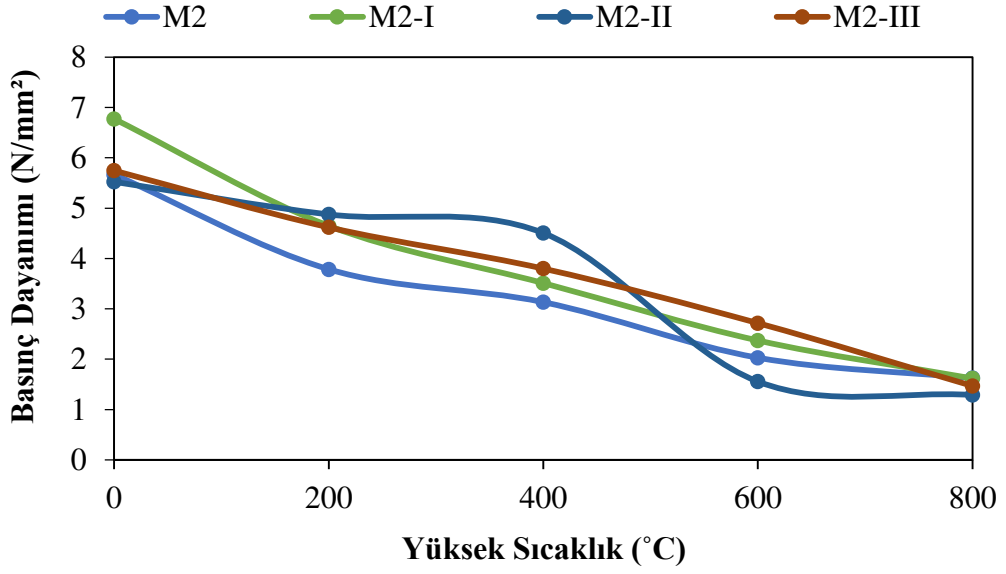


Şekil 3.30. 800°C sonrası M3 serisi USG sonuçları

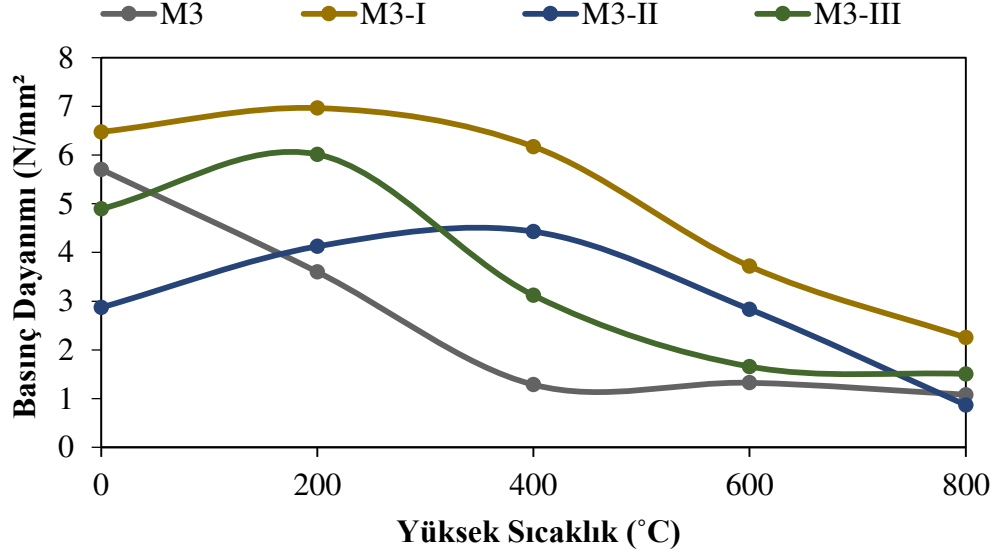
Yüksek sıcaklık deneyleri sonrası yapılan basınç dayanım deneyine ait veriler Şekil 3.31 (M1 Serisi), Şekil 3.32 (M2 Serisi) ve Şekil 3.33 (M3 Serisi)'de verilmiştir. Tüm serilerin yüksek sıcaklık altındaki basınç dayanımlarının kıyası da Şekil 3.34'de verilmiştir.



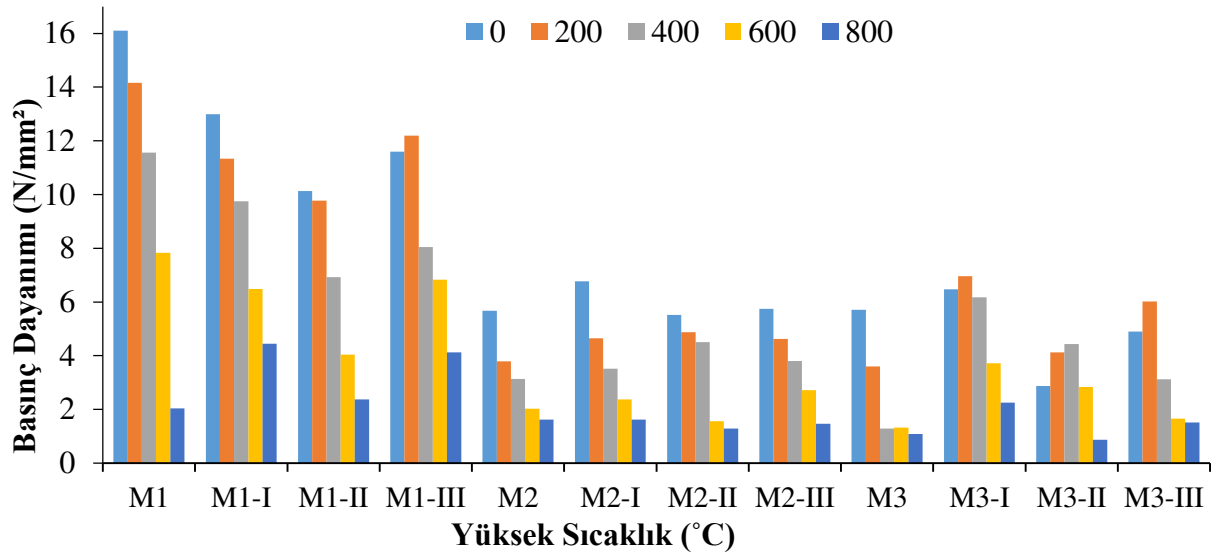
Şekil 3.31. Yüksek sıcaklıklar sonrası M1 serinin basınç dayanım grafiği



Şekil 3.32. Yüksek sıcaklıklar sonrası M2 serinin basınç dayanım grafiği

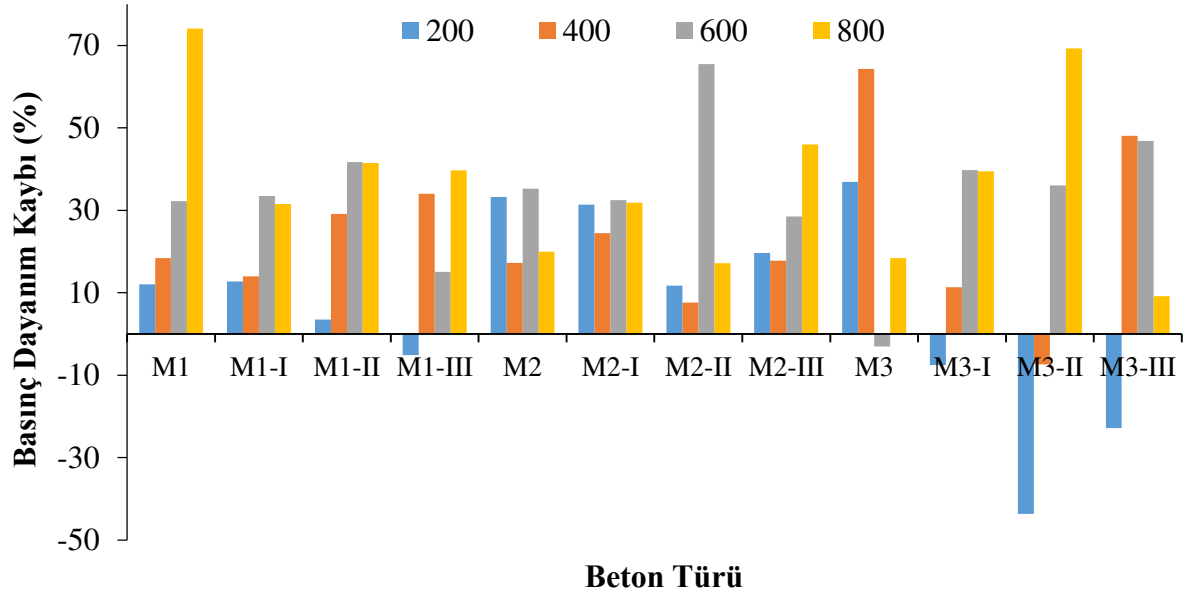


Şekil 3.33. Yüksek sıcaklıklar sonrası M3 serinin basınç dayanım grafiği



Şekil 3.34. Yüksek sıcaklıklar sonrası basınç dayanım kıyas grafiği

Yüksek sıcaklık ile ilgili tüm bu veriler incelendiğinde tüm seriler için USG ve basınç değerleri azaltmaktadır. PO içerikli numuneler 600°C'ye kadar hafif taşıyıcı özelliklerini kaybetmemişlerdir. Özellikle **M1-I** ve **M1-III** serileri 800°C sıcaklıkta bile 4 ile 5 Mpa arasında basınç dayanım sağlamaktadır. PE içerikli KHB'lar yüksek sıcaklık sonrası aşırı derecede deforme olmaktadır.



Şekil 3.35. Yüksek sıcaklıklar sonrası basınç dayanım kayıpları yüzdesi

Şekil 3.35'te verilen grafiğe göre 200°C'de **M3** serisinde artışlar görülmüştür. 200°C'de numuneler pekleşmeden kaynaklı dayanım artışı gözlemlenmektedir. En yüksek kayıplar da 800°C'de elde edilmiştir. PE içerikli numunelerin yangın dayanımları, PO içerikli numunelere nazaran nispeten daha olumlu olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Pomza ve perlit agregaları kullanılarak üretilen kompozit hafif betonun değerlendirilmesi, hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, beton karışım yüzdelerinin etkilerini görmek için deneyler yapılmış, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir:

Kompozit hafif beton tasarımında sabit S/Ç oranına sahip 12 seri numune hazırlanmıştır. Sabit oranlarda %30 UK, %10 SD ve %10 YFC gibi mineral katkıları kullanılarak fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir. UK'nın perlitli numunelerde özellikle basınç dayanımı ve USG sonuçlarına olumlu etkisi gözlemlenirken, SD'lı numuneler tüm serilerde düşük sonuçlar vermiştir. SD ve YFC'nun etkisinin az olmasının sebebi, kullanım oranından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. UK'e nispetle az miktarda kullanılan SD ve YFC hafif agregaların gözeneklerinin içerisine hapsolarak çok fazla etkileşime girmemesinden dolayı beklenen sonuçlar olduğu düşünülmektedir.

Kompozit hafif beton karışımlarının donma çözünme, asit dayanıklılığı, yüksek sıcaklık deneyleri irdelendiğinde PE oranı arttıkça daha olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. PO içerikli karışımlar, PE içerikli karışımlara oranla daha durabil sonuçlar vermiştir.

Kompozit hafif beton karışımlarında perlit miktarı arttıkça, birim ağırlık azalmakta, bununla paralel olarak USG ve basınç dayanımları da azalmaktadır. Özellikle UK'ün kullanıldığı perlitli karışımlarda USG ve basınç dayanımına olumlu etkiler olduğu görülmüştür.

Kompozit hafif beton karışımlarında perlit miktarı arttıkça, birim ağırlık azalmakta, beton içindeki boşluk miktarı artmakta ve bunun sonucu olarak ısı yalıtım özellikleri de artmaktadır. Perlit katkılı hafif betonların fırın kuru birim ağırlıkları ile ısı iletkenlikleri arasında gözlemlenen lineer ilişki, Demirboğa ve Gül'ün (1999) çalışmalarında tespit ettiğini BHA - ısı iletkenlik ilişkisine yakın olduğu görülmüştür.

Ülkemizin en büyük pomza rezervine sahip ilimizin Bitlis pomzası ile üstün yalıtım özelliklerine sahip yarı taşıyıcı yapı malzemeleri üretilerek, hem ilimize hem de ülkemize ekonomik katkılar sunulabilir. İlimizin yoğun kış şartları altında ve birinci derece deprem bölgesinde olmasından dolayı yerli pomza kullanılarak, hem yalıtımlı, hem de düşük birim ağırlıklı yapı elemanlarıyla inşaat sektörüne çok yönlü fayda sağlayacaktır.

Yapılacak çalışmalarda daha düşük S/Ç oranı seçilerek, farklı oranlarda mineral katkıları ayrı ayrı ve birlikte kullanarak daha yüksek dayanıma sahip, üstün ısı yalıtım sağlayan kompozit hafif beton tasarımı yapıp, ses yalıtım özellikleri de incelenerek kompozit hafif beton teknolojisine katkı sunulabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Özkul H, Taşdemir MA, Tokyay M, Uyan M, 1999. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- [2] Karakule F, Akakın T, Uçar S, 2004. Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- [3] Baradan, B, Yazıcı H, Aydın S, 2012. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 1-334.
- [4] Felekoğlu B, Baradan B, 2004. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri, Beton 2004 Kongresi, İstanbul.
- [5] Özşahin B, 2011. Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [6] Kocataşkın F, 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını. 2. Ulusal Beton Kongresi. 27 Mayıs 1991, İstanbul, 23-41.
- [7] Akman MS, 1987. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [8] Eren E, 2009. Farklı Cüruf Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Haque MN, Al-Khaiata H, Kayalı O, 2004. Strength and Durability of Lightweight Concrete. Cement & Concrete Composites. Elsevier Ltd., 26: 307-314.
- [10] Neville AM, 1996. Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, New York.
- [11] Yolcu C, Girgin ZC, 2017. Dünyada Yapay Hafif Agregalı Yapısal Beton Uygulamaları Ve Doğal Pomza Agregasının Kullanılabilirliği. Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 1(2): 59-67.
- [12] Ries JP, Speck J, Harmon KS, 2010. Lightweight Aggregate Optimizes the Sustainability of Concrete, Through Weight Reduction, Internal Curing, Extended Service Life and Lower Carbon Footprint. Concrete Sustainability Conference, Arizona.
- [13] Gündüz L, Şapçı N, 2005. Türkiye Pomza Madenciliği Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi. 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET2005, İzmir.
- [14] Castrodale RW, 2006. Lightweight High Performance Concrete For Bridge Decks. Presentation in Virginia Concrete Conference, Virginia.
- [15] Clarke JL, 1993. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London.

- [16] Sarı D, Paşamehmetoğlu AG, 2005. The Effects of Gradation and Admixture on The Pumice Lightweight Aggregate Concrete. Cement and Concrete Research, Elsevier Ltd, 35: 936-943.
- [17] Şişman CB, Kocaman İ, Gezer E, 2008. Doğal Zeolitten Üretilen Hafif Betonun Tarımsal Yapılarda Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 20-25
- [18] Mindess S, Young JF, 1981. Concrete. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [19] Bomhard H, 1980. Lightweight Concrete Structure, Potentialities, Limits and Realities. The International Journal of Lightweight Concrete, 2 (4): 193-195.
- [20] Urhan S, 1994. Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri Ve Teknik Kapasiteleri. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Ankara, 1-370.
- [21] Uygunoğlu T, 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [22] Taşdemir M.A, 1982. Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik Ve Elastik Olmayan Davranışları. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] Elmastaş N, 2012. Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5 (23): 197-206.
- [24] Gündüz L, 2008. The Effects of Pumice Aggregate/Cement Ratios on the Low-Strength Concrete Properties. Construction and Building Materials, 22: 721-728.
- [25] Özkan ŞG, Tuncer G, 2001. Pomza Madencilğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- [26] Yolcu C, 2017. Sürdürülebilir Taşıyıcı Sistem Tasarımında Pomza Agregaların Kullanılabilirliği, Mekanik Büyüklükler ve Uygulama Kriterleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] Doğan H, Şener F, 2004. Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong - Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni, Ocak-Mart 2004, 2004/1: 51-53.
- [28] Duaij JAA, El-Laithy K, Payappilly RJ, 1997. A Value Engineering Approach to Determine Quality Lightweight Concrete Aggregate, Cost Engineering, 39: 21-26.
- [29] Çankıran O, Serin G, Sancak E, 1998. Pomza Taşı Hammaddesinin Kullanıldığı Sektörler. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1): 59-69
- [30] Erciyas Y, 1963. Bims ve Bims Betonu Üzerinde Araştırmalar. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 5-17.

- [31] Ağırđır LM, 1989. Altınapa Bims Agregasından TS 3234'e Uygun Hafif Beton Briket İmalı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuklu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [32] İhtiyaroğlu E, 1976. Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerine Araştırmalar. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1-5.
- [33] Koç Ş, Kılıç R, 1988. Madenşehir (Karaman) Güney Batısındaki Pomza Taşının Etüdü Ve Hafif Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doğa, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, 1-12.
- [34] Çankıran O, 1998. Pomza Agregalı Hafif Betonun Mekanik Özellikleri Ve Kimyasal Katkılarla Dayanımının Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [35] Oğuz C, 1994. Pomza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [36] Sezgin M, 1998. Diatomitin Hafif Yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [37] Gündüz L, Şapçı N, Bekar M, 2006. Bimsbetonların Genleştirilmiş Perlit Agregalar İle Teknik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Teknik Bir Analiz. IV.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık 2006, İstanbul.
- [38] Kamuran A, 2009. Dolgulu Duvar Blokları İmalı ve Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [39] Gökçe H.S, Şimşek O, Durmuş G, Demir İ, 2010. Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Su/Çimento Üzerindeki Etkileri. Politeknik Dergisi, 13 (2): 159-163.
- [40] Gökçe HS, Şimşek O, Durmuş G, Demir İ, 2010. Ham Perlit Agregalı Hafif Beton Özelliklerine Alternatif Genleştirilmiş Perlit Kullanımının Etkisi. Politeknik Dergisi, 13 (1) 55-63.
- [41] Çalış M, 2014. Ses Yutucu Perlitli Kaplamaların Beton Gürültü Bariyerlerinde Kullanımı, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, Kocaeli, 2: 2.
- [42] Topçu İ, Canbaz M, Boğa A, 2005. Deprem Bölgelerinde Kullanılabilecek Ferrocement Çadırlar. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [43] Demirboğa R, 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen Hafif Betonun Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- [44] Ceylan H, Saraç MA, 2006. Farklı Pomza Agrega Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3 (2006): 413-421.
- [45] Azizi S, 2007. Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri Ve Isı Yalıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [46] Polat R, 2007. Genleştirilmiş Perlit ve Pomza İle Hava Sürükleyici Katkının Betonda Kılcal Geçirimsizlik Ve Don Hasarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- [47] Öztürk M, 2012. Pomza Ve Perlit İçerikli Hafif Betonun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [48] Balun B, Karataş M, 2015. Genleştirilmiş Perlit ve Bitlis Yöresi Pomzası İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Mekanik Özellikleri. 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan 2015, Antalya, 131-140
- [49] Taşdemir C, 2003. Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 427-2003/5: 57-61.
- [50] Doğmuş R, 2016. Hafif Agregalar Kullanılarak Yalıtım Özelliği Yüksek Duvar Yapı Malzemelerinin Geliştirilmesi, Isıl ve Ses Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Batman.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Tatvan’da doğdum. İlköğretimi Ş.Ö.Bayram Yasemin Tekin İlköğretim Okulu’nda ve liseyi Tatvan Anadolu Lisesi’nde tamamladım. 2008 yılında kazandığım Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında mezun oldum. 2015’de Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisansa başladım. Yabancı dilim İngilizcedir.

Melik BAKIRHAN

