

**POLİMER KAPLI AGREGA İLE ÜRETİLEN HAFİF
BETONLARIN DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ**

METİN TUNCER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BEKİR ÇOMAK**

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER KAPLI AGREGA İLE ÜRETİLEN HAFİF
BETONLARIN DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

Metin TUNCER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Alper BİDECİ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ

Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 04/07/2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

4 Temmuz 2023

Metin TUNCER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında göstermiş olduğu her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli danışmanım Doç. Dr. Bekir ÇOMAK'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam ve diğer tüm çalışmalarım boyunca değerli katkılarını esirgemeyen ve bana her zaman yol gösterici olan saygı değer hocalarım Doç. Dr. Alper BİDECİ'ye ve Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ 'ye şükranlarımı sunarım.

Yapmış olduğum deneysel çalışmalarımın bir kısmı için laboratuvarlarını kullanmama izin veren ve fikirleriyle bana destek olan Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ'a ve çalışmalarım için malzeme temini konusunda kolaylık sağlayan Blok Bims A. Ş.'ye teşekkür ederim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

4 Temmuz 2023

Metin TUNCER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. HAFİF BETON	3
1.1.1. Hafif Betonun Tanımı	3
1.1.2. Hafif Betonun Tarihçesi	3
1.1.3. Hafif Beton Üretimi ve Sınıflandırması	5
1.1.4. Hafif Betonun Avantaj ve Dezavantajları.....	7
1.2. HAFİF AGREGA.....	8
1.2.1. Pomza	9
1.2.1.1. Pomzanın Oluşumu	10
1.2.1.2. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	11
1.2.1.3. Pomzanın Kullanım Alanları	13
1.2.1.4. Dünya’da ve Türkiye’de Pomza Rezervleri.....	15
1.3. POLİMERLER VE POLİMERLERİN BETONDA KULLANIMI.....	18
1.3.1. Polimerler.....	18
1.3.1.1. Polimerlerin Sınıflandırması.....	19
1.3.1.2. Polimerlerin Genel Özellikleri.....	21
1.3.2. Polimerlerin Betonda Kullanımı.....	21
1.3.2.1. Polimer Beton (PC).....	22
1.3.2.2. Lateks Modifiye Beton (LMC).....	22
1.3.2.3. Polimer Emdirilmiş Beton (PIC).....	22
1.4. LİTERATÜR ÖZETİ	23
2. MATERYAL VE METOT	34
2.1. MATERYAL	36
2.1.1. Agrega	36
2.1.1.1. Doğal Kırmataş Kum	36
2.1.1.2. Kaplanmamış Pomza Agregaları	36
2.1.1.3. Polyester Kaplanmış Pomza Agregaları	38
2.1.2. Çimento	38
2.1.3. Su	39
2.1.4. Polyester	39
2.1.5. Mermer Tozu	40
2.1.6. Polyester Kaplanmış Pomza Agregaları	40
2.2. METOT	43
2.2.1. Hafif Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi	43
2.2.2. Agrega Deneyleri	44
2.2.2.1. Özgül Ağırlık Deneyi.....	44
2.2.2.2. Su Emme Deneyi	45

2.2.3. Taze Beton Deneyleri	45
2.2.3.1. Çökme (Slump) Deneyi.....	45
2.2.3.2. Birim Ağırlık Deneyi	46
2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	47
2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık	47
2.2.4.2. Su Emme	48
2.2.4.3. Basınç Dayanımı	49
2.2.4.4. Kılcal Su Emme.....	50
2.2.4.5. Ultrases Geçiş Hızı	51
2.2.4.6. Donma Çözülme Direnci.....	52
2.2.4.7. Sülfat Direnci	53
2.2.4.8. Isı İletim Katsayısı	53
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
3.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI	55
3.1.1. Özgül Ağırlık Deneyi.....	55
3.1.2. Su Emme Deneyi	55
3.2. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI	56
3.2.1. Slump (Çökme) Deneyi	56
3.2.2. Birim Ağırlık Deneyi.....	57
3.3. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ	58
3.3.1. Kuru Birim Ağırlık	58
3.3.2. Su Emme	59
3.3.3. Basınç Dayanımı.....	60
3.3.4. Kılcal Su Emme	62
3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı	63
3.3.6. Donma Çözülme Dayanımı.....	64
3.3.7. Sülfat Direnci.....	66
3.3.8. Isı İletim Katsayısı.....	69
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
5. KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ayasofya Cami ve Pantheon Tapınağı	4
Şekil 1.2. Hafif beton ile inşa edilen Park Plaza Otelі.....	5
Şekil 1.3. Hafif beton agregalarının birim ağırlıklara göre sınıflandırması.....	6
Şekil 1.4. Pomza oluşumunun sembolik olarak gösterimi.....	10
Şekil 1.5. Türkiye geneli pomza yatakları	17
Şekil 1.6. Termoplastiklerin zincir yapılarının sembolik gösterimi	20
Şekil 1.7. Elastomer zincirlerinin çekme kuvveti altındaki davranışı	20
Şekil 1.8. Termosetlerin zincir yapılarının sembolik gösterimi.....	20
Şekil 2.1. Deney akış şeması (iş planları).....	35
Şekil 2.2. Polyester kaplanmamış pomza agregaları	36
Şekil 2.3. Nevşehir ili pomza ocaklarının dağılımı ve maden haritası	37
Şekil 2.4. Polyester kaplanmış pomza agregaları	38
Şekil 2.5. Pomza agregalarını polyester kaplama işlemleri (a-g)	42
Şekil 2.6. Beton karıştırma işleminde kullanılan mikser	44
Şekil 2.7. Çökme deneyinin gerçekleştirilmesi	46
Şekil 2.8. Beton numunelerinin etüvde kurutulması.....	48
Şekil 2.9. Beton numunelerinin tartılması ve boyutlarının ölçülmesi	48
Şekil 2.10. Basınç dayanımı deneyi.....	49
Şekil 2.11. Basınç dayanımı deneyinde kullanılan numune örnekleri.....	50
Şekil 2.12. Kılcal su emme deneyinin gerçekleştirilmesi	51
Şekil 2.13. Ultrases geçiş hızı ölçümleri.....	52
Şekil 2.14. Donma çözülme çevrimi sıcaklık/zaman grafiğı (1 çevrim)	52
Şekil 2.15. Beton numunelerinin sülfat çözeltisinde bekletilmesi	53
Şekil 2.16. Isı iletim katsayısı ölçümleri için üretilen numuneler	54
Şekil 2.17. Isı iletkenlik deneyi	54
Şekil 3.1. Beton numunelerinin çökme (slump) değerleri (mm)	57
Şekil 3.2. Beton numunelerinin su emme oranları (%).....	59
Şekil 3.3. Beton numunelerinin basınç dayanımları (MPa).....	60
Şekil 3.4. Numunelerin kılcal su emme grafikleri	62
Şekil 3.5. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı ilişkisi	64
Şekil 3.6. Numunelerin donma çözülme sonrası basınç dayanımları (MPa).....	65
Şekil 3.7. MgSO ₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri grafiğı	68
Şekil 3.8. Na ₂ SO ₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri grafiğı	68
Şekil 3.9. Numunelerin ısı iletim katsayısı - kuru birim ağırlık ilişkisi.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Hafif betonların yoğunluklarına göre sınıflandırması	7
Çizelge 1.2. Hafif betonların basınç dayanımlarına göre sınıflandırması	7
Çizelge 1.3. Türkiye'de oluşan pomza kayaçlarının fiziksel özellikleri	12
Çizelge 1.4. Türkiye'de oluşan pomza kayaçlarının kimyasal özellikleri.....	13
Çizelge 1.5. 2011 yılında pomza kullanımının sektörel dağılımı	14
Çizelge 1.6. Son 2 yılda dünya geneli pomza üretimleri (milyon ton).....	15
Çizelge 1.7. 2020 yılı işletme ruhsatlı pomza sahalarının il bazında rezervleri	17
Çizelge 2.1. Doğal kırmataş kumun fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 2.2. Pomza agregalarının kimyasal özellikleri.....	38
Çizelge 2.3. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal içeriği	39
Çizelge 2.4. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	39
Çizelge 2.5. Polyesterin teknik özellikleri	40
Çizelge 2.6. Hafif beton karışım oranları (kg/m^3)	43
Çizelge 2.7. Taze betonun çökme sınıfları	46
Çizelge 3.1. Agreg a özgül ağırlıkları (g/cm^3).....	55
Çizelge 3.2. Agreg a su emme oranları (%).....	56
Çizelge 3.3. Taze betonların birim ağırlık değ erleri (kg/m^3).....	57
Çizelge 3.4. Beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları (kg/m^3)	58
Çizelge 3.5. Beton numunelerinin basınç dayanımları (MPa).....	60
Çizelge 3.6. Numunelerin kılcal su emme katsayıları	62
Çizelge 3.7. Beton numunelerinin ultrases ge çiş hızları (km/sn)	63
Çizelge 3.8. Numunelerin donma ç özü lme sonrası basınç dayanımları (MPa).....	65
Çizelge 3.9. MgSO_4 ç ö zeltisinde bekletilen numunelerin kü te kayıpları (%).....	66
Çizelge 3.10. Na_2SO_4 ç ö zeltisinde bekletilen numunelerin kü tle kayıpları (%)	67
Çizelge 3.11. Beton numunelerinin ısı iletim katsayıları (W/mK)	69

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	American Test Metotları Standardı
LMC	Lateks Modifiye Beton
MAPEG	Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PC	Polimer Beton
PC-100	İçerisindeki pomza agregalarının %100'ü kaplanmış agrega olan beton serisi
PC-25	İçerisindeki pomza agregalarının %25'i kaplanmış agrega olan beton serisi
PC-50	İçerisindeki pomza agregalarının %50'si kaplanmış agrega olan beton serisi
PC-75	İçerisindeki pomza agregalarının %75'i kaplanmış agrega olan beton serisi
PIC	Polimer Emdirilmiş Beton
REF	İçerisindeki pomza agregalarının %0'ı kaplanmış agrega olan beton serisi (kontrol serisi)
SBR	Stiren Bütadien Lateks
TS	Türk Standartları
TS EN	Avrupa Normlarına Uygun Türk Standartları
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu

SİMGELER

°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
D	Taze betonun birim ağırlığı (kg/m^3)
dak	Dakika
F_{ck}	Basınç dayanımı (MPa)
g	Gram
K	Kelvin
k	Kılcal su emme katsayısı ($\text{cm/s}^{1/2}$)
kg	Kilogram
LC	Hafif beton dayanım sınıfı
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
S_k	Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m^3)
sn	Saniye
t	Zaman
V	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
δ	Özgöl ağırlık (g/cm^3)
λ	Isı iletim katsayısı (W/mK)

ÖZET

POLİMER KAPLI AGREGA İLE ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

Metin TUNCER

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Bekir ÇOMAK

Haziran 2023, 82 sayfa

Bu çalışmada, tane boyutları 4 mm ile 16 mm arasında olan pomza agregaları yüksek yapışma ve yalıtım özellikleriyle bilinen polyester ile kaplanarak polyester kaplanmış pomza agregaları elde edilmiştir. Polyester kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları iri agrega, doğal kırmataş kum ise ince agrega olarak kullanılarak 450 doz çimentolu 5 farklı seri hafif beton numuneleri üretilmiştir. Beton karışımlarında, polyester kaplanmış pomza ve kaplanmamış pomza agregaları hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada, agrega deneyleri olarak özgül ağırlık ve su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taze betonlar üzerinde birim hacim ağırlık ve çökme deneyleri, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise kuru birim hacim ağırlık, su emme, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, sülfatlara dayanım, donma-çözölmeye karşı dayanım ve ısı iletim katsayılarını tayin edecek deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, pomza agregalarının polyester kaplanmasıyla birlikte özgül ağırlıklarının arttığı, su emme oranlarının ise ortalama %85 oranda azaldığı belirlenmiştir. Basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları açısından en yüksek sonuçlar kaplanmamış pomza agregalarının kullanımı ile elde edilmiş ve polyester kaplanmış pomza agregaları ile üretilen beton numunelerinin basınç dayanımlarında düşüş gözlenmiştir. Polyester kaplanmış pomza ile üretilen betonların sülfatlara karşı daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Donma-çözölme performansları ve ısı iletim katsayıları açısından en olumlu sonuçlar polyester kaplanmış pomza agregalarının %25 oranında kullanımıyla elde edilen beton serisinde görölmüştür. Sonuç olarak, polyester kaplanmasıyla elde edilen agregaların hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Durabilite, Hafif Beton, Pomza, Polimer

ABSTRACT

DURABILITY PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCED WITH POLYMER COATED AGGREGATE

Metin TUNCER

Düzce University
Graduate School, Department of Civil Engineering
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bekir ÇOMAK

June 2023, 82 pages

In this study, polyester coated pumice aggregates were obtained by coating the pumice aggregates that grain sizes between 4 mm and 16 mm with polyester, which is known for its high adhesion and insulation properties. By using polyester coated and uncoated pumice aggregates as coarse aggregate and natural crushed stone sand as fine aggregate, 5 different series of light concrete samples with 450 dose cement were produced. In concrete mixtures, polyester coated pumice and uncoated pumice aggregates were used by replacing 0%, 25%, 50%, 75% and 100% by volume. In the study, specific gravity and water absorption tests were carried out as aggregate tests. Unit weight and slump tests were carried out on fresh concrete, and tests to determine dry unit weight, water absorption, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, resistance to sulfates, freeze-thaw resistance and thermal conductivity were carried out on hardened concrete samples. In the study, it was determined that the specific gravity of the pumice aggregates increased with the polyester coating, while the water absorption rates decreased by 85% on average. The highest results in terms of compressive strengths and ultrasonic pulse velocities were obtained with the use of uncoated pumice aggregates, and a decrease was observed in the compressive strengths of concrete samples produced with polyester coated pumice aggregates. It has been determined that concretes produced with polyester coated pumice have better performance against sulfates. The most positive results in terms of freeze-thaw performances and thermal conductivities were seen in the concrete series obtained by using 25% polyester coated pumice aggregates. As a result, it has been determined that the aggregates obtained with polyester coating can be used in the production of lightweight concrete.

Keywords: Durability, Lightweight Concrete, Pumice, Polymer

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, evler, işyerleri, okullar, spor salonları, hava alanları, limanlar ve barajlar gibi küçüklü büyüklü pek çok yapıda beton kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe oldukça yaygın kullanıma sahip olan beton; agrega, çimento, su ve gerekli durumlarda belli kimyasal veya mineral katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir [1]. Beton, üretim aşamasından başlayarak kullanım aşamasına kadarki bütün süreçte özen ve dikkat gerektirmektedir. Diğer yapı malzemelerine kıyasla; ekonomik olması, kolay şekil verilebilmesi, dayanıklılığı, imalatındaki düşük enerji gereksinimi, çeşitli ortamlarda imal edilebilmesi ve estetik yönü, betonu en çok tercih edilen yapı malzemesi yapmıştır [2].

Beton, inşaat alanında en yaygın tercih edilen yapı malzemelerinden biridir. Betonun oldukça yoğun kullanım potansiyeli nedeniyle, beton endüstrisinin teknolojik gelişmelerle birlikte gelişim göstermesi mecburidir [3]. Nitekim teknolojik gelişmelerle beraber beton endüstrisi de gelişmiş ve endüstrideki bu gelişmeler sonucu özel betonlar ortaya çıkmıştır. Özel betonlar, kullanım amaçlarına ve kullanım yerlerine uygun olarak çeşitli gereksinimleri karşılamak amacıyla tasarlanan betonlardır. Taşıyıcı hafif beton, ağır beton, yalıtım özellikli beton, yüksek akıcı özellikli beton özel beton çeşitlerinden bazılarıdır [4].

Geleneksel beton birçok uygulamada kullanışlı olsa da yüksek birim ağırlığı nedeniyle yapılarda zati (ölü) yük miktarında artışa neden olmaktadır. Yapılarda zati yük miktarının fazla olması durumunda deprem etkisiyle yapıya ulaşan yatay kuvvetlerin şiddeti de fazla olmaktadır. Bu durum ülkemiz gibi sismik olarak aktif olan bölgeler için ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Özel beton türlerinden olan ve geleneksel betona kıyasla çok daha düşük birim ağırlığa sahip olmasıyla öne çıkan taşıyıcı hafif betonların yapıların taşıyıcı sisteminde kullanılmasıyla zati yük ve yapıya etkiyen yatay deprem kuvvetleri azalmaktadır. Dolayısıyla taşıyıcı hafif beton kullanımıyla olası deprem hasarları belli oranda azaltılabilmektedir [5, 6]. Bunların yanı sıra, betonun birim ağırlığının azalmasıyla birlikte ısı iletim katsayısı da azalmaktadır [7]. Tüm bunlar düşünüldüğünde, taşıyıcı hafif beton kullanımıyla birlikte yapının kiriş ve kolon gibi elemanlarında

kesitlerin azaltılması mümkün olmakta ve hem uygulama hem de ekonomik anlamda kazanç sağlanmaktadır.

Hafif beton üretimi, çimento hamurunun genişletilmesi, beton karışımı içindeki ince agreganın çıkarılması ya da agrega olarak hafif agrega tercih edilmesiyle gerçekleştirilmektedir [8]. Hafif beton üretim sürecinde, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil, uçucu kül, şist gibi yapay agregaların yanı sıra pomza, diatomit, ham perlit, volkanik tuf ve volkanik cüruf gibi doğal agregalar da kullanılmaktadır. 1980’li yıllara kadar hafif beton üretiminde daha çok yapay agregalar kullanılsa da daha sonraları enerji maliyetleri nedeniyle doğal agregalar kullanılmaya başlanmıştır [9, 10].

Agregalar, betonun temel bileşenlerinden biri olup beton içerisinde hacimce yaklaşık %75 oranında bulunmaktadır [11]. Dolayısıyla agregalar betonun performansını ve dayanım özelliklerini doğrudan etkilemektedir [12]. Pomza, volkanik faaliyetler sonucu lavların yeryüzüne ulaşması ve aniden soğuyarak içerisindeki gazların hızlı bir şekilde bünneyi terk etmesiyle gözenekli yapıya kavuşan camsı bir kayaç türüdür. İçerisinde birbirinden bağımsız çok sayıda boşluk bulunduran pomza, düşük birim ağırlığı, düşük ses ve ısı iletimi, dış etkilere karşı yüksek dayanımı ve üretim kolaylığı gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır [13]. Pomza, farklı sektörlerde kullanım alanı bulsa da en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. Gerek fiziksel gerekse kimyasal özellikleri nedeniyle kıymetli bir hammadde olan pomza, inşaat sektörü açısından büyük öneme sahiptir [14].

Polimer malzemeler, oldukça geniş bir kullanım alanına sahip olan ve her geçen gün gelişim gösteren malzemelerdir [15]. Polimerleri kullanışlı kılan pek çok özellik mevcuttur. Hafif olmaları, işlenebilirliklerinin kolay olması, elektrik ve ısı yalıtımı özelliklerinin olması, korozyona karşı dayanıklı olması ve kaliteli yüzey oluşturmaya elverişli olması polimer malzemeleri farklı uygulamalarda sıkça tercih edilen malzemeler yapmıştır [16]. Polimer malzemeler, son yıllarda inşaat mühendisliği alanında da yoğun bir kullanım alanı kazanmıştır. Özellikle polimer malzemelerin su tutmama ve esneklik özellikleri betona avantaj oluşturmaktadır [17].

1.1. HAFİF BETON

1.1.1. Hafif Betonun Tanımı

Hafif betonla ilgili pek çok farklı tanım yapılmaktadır. Normal agregalara göre daha düşük birim ağırlığa sahip agregalar kullanılarak ya da farklı metotların kullanımıyla beton içerisinde boşluklu yapı oluşturularak betonun birim ağırlığını düşürecek şekilde üretimi yapılan ve birim ağırlığı 2200 kg/m^3 'ten küçük olan betonlara hafif beton denilmektedir [18]. Normal betona kıyasla çeşitli farklı özelliklere sahip olan hafif beton, genel olarak boşluklu, daha düşük birim ağırlığa sahip, daha düşük dayanımlı, ısı yalıtım özelliği yüksek olan ve bunların yanında normal betonla aynı amaçlar için kullanılabilen bir beton çeşididir [19].

Hafif betonlar çeşitli standartlara göre de farklılık göstermektedir. TS 2511'e göre basınç dayanımları en az 16 MPa olan ve kuru birim ağırlıkları 1900 kg/m^3 'ten düşük olan betonlar hafif beton olarak tanımlanmıştır [20]. TS EN 206' da ise birim ağırlıkları 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasındaki betonlar hafif beton olarak ifade edilmiştir [21]. ACI 213R-87' e göre taşıyıcı hafif betonlar, pomza, kil, cüruf ve scoria gibi hafif agregalarla üretilen, 28 günlük basınç dayanımları 17,24 MPa'dan yüksek, yoğunlukları 1120-1960 kg/m^3 arası değişiklik gösteren, tamamen ya da belli oranlarda hafif agregalar kullanılarak üretilen betonlar olarak tanımlanmaktadır [22].

1.1.2. Hafif Betonun Tarihçesi

Günümüzde, giderek yaygın kullanım alanı bulan hafif betonlar, beton teknolojisi açısından yeni bir gelişme değildir. Hafif betonların tarihteki ilk kullanımı milattan 3000 yıl öncesinde hafif agregalar kullanımıyla dayanmaktadır. Sümerler Babylon'un inşasında, Yunanlılar ve Romalılar tapınak, amfi tiyatro ve heykellerin yapımında, Mayalar ise piramitlerde hafif agregalar kullanmışlardır. Şekil 1.1'de görülen, Ayasofya Camii ile Pantheon Tapınağı eski dönemlerde hafif betonla inşa edilmiş ve günümüze kadar varlığını devam ettirmiş yapıların önemli birer örnekleridir [23, 24].



Şekil 1.1. Ayasofya Cami ve Pantheon Tapınağı

Eski zamanlarda hafif agrega olarak, özellikle ince haldeyken puzolanik aktiviteye sahip olan doğal hafif agregalar kullanılmıştır. Bunlar pomza, scoria, perlit ve tuf gibi volkanik kökenli kayalardır [25]. Puzolanik aktivite gösteren hafif agregalar, çimento hidratasyonu sonucunda oluşan serbest kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliği olan kalsiyum silikat hidratları oluştururlar. Bu durum çimento matrisinin yoğunluğunun ve dayanımının artmasına, boşluk yapısının düzenlenmesine neden olarak betonun mekanik, fiziksel ve durabilite özelliklerine olumlu katkı sağlamaktadır [25, 26].

Hafif agrega üretim yöntemi 1918 yılında J. Hayde tarafından geliştirilmiş ve fabrikalarda patentli olarak hafif agrega üretimine başlanmıştır. Üretilen bu hafif agregaların çoğunluğunun çeşitli betonarme yapılarda kullanılabilecek nitelikte olduğu belirtilmektedir. Bu gelişmeyle birlikte hafif agregaların kullanım alanı oldukça artış göstermiş ve Birinci Dünya Savaşı sonrasında tasarımı hafif betonla yapılan gemiler üretilmiştir [25].

1929 yılında, St. Louis’de inşa edilen Park Plaza Oteli hafif beton kullanılarak inşa edilen ilk yüksek katlı bina olma özelliğine sahiptir (Şekil 1.2). 28 katlı olarak inşa edilen bu otel yüksek yapılarda hafif beton kullanımının ekonomik ve güvenilir bir inşa metodu olduğunu göstermiştir [27].



Şekil 1.2. Hafif beton ile inşa edilen Park Plaza Oteli

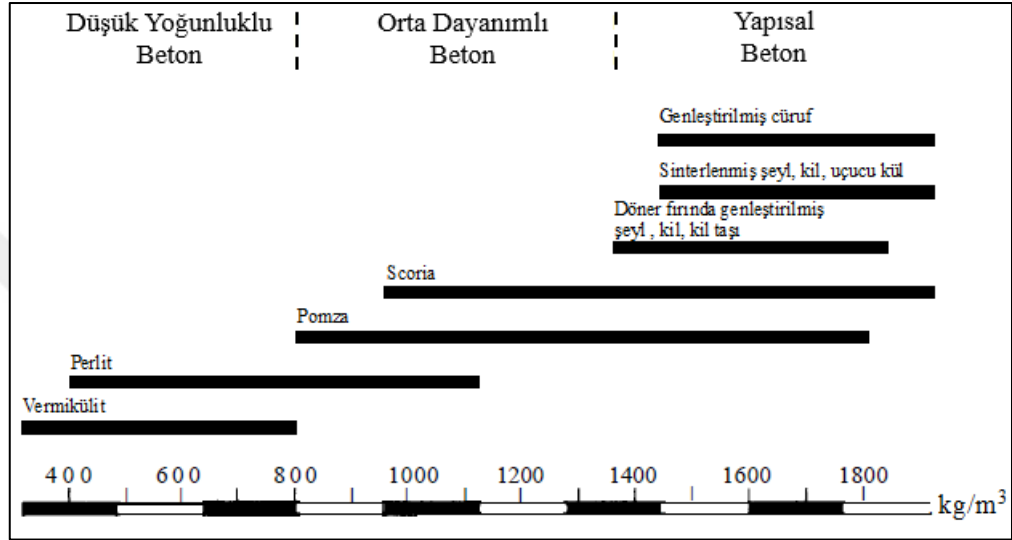
Hafif betonun büyük ölçekli yapılarda kullanımının güvenli olduğu görüldükten sonra hafif beton kullanımı giderek artış göstermiş ve Amerika, Kanada, Japonya ve Avustralya gibi pek çok ülkede hafif beton kullanılarak çeşitli yapılar inşa edilmiştir.

1.1.3. Hafif Beton Üretimi ve Sınıflandırması

Üretim yöntemlerine göre hafif betonlar kendi aralarında farklılık göstermektedir. Hafif betonların üretiminde 3 farklı yöntem kullanılmaktadır [28, 29]:

1. Beton içerisinde normal agregalar yerine, boşluklu yapıda hafif agregalar kullanılabilir. Bu hafif betonlar, içerisindeki hafif agrega cinsine göre isimlendirilmektedir. Genleştirilmiş kil ve şist kullanımıyla taşıyıcı beton, pomza kullanımıyla yalıtımlı beton veya orta mukavemetli beton üretimi gerçekleştirmek mümkündür.
2. Beton içerisinde fiziksel veya kimyasal yollarla büyük boşluklar oluşturulabilmektedir. Bu boşlukları oluşturmak için kullanılan en yaygın yöntem hava sürükleyici katkı maddeleri kullanmaktır. Bu betonlar, köpük betonu, hava sürüklenmiş beton ya da gaz beton olarak bilinmektedir.
3. Beton bileşiminden ince agreganın çıkartılıp, yalnızca iri agrega kullanılmasıyla içinde büyük boşluklar olan hafif beton üretilebilmektedir. İri agregalar 1-3 mm kalınlığında bir çimento hamuru ile birbirlerine bağlıdır ve çimento dozajı yaklaşık $70\text{--}130\text{ kg/m}^3$ arasındadır. Bu betonlar genellikle kumsuz beton olarak adlandırılmaktadır.

ACI Komitesi tarafından hazırlanan ilgili raporda hafif betonlar, birim ağırlık ve mukavemetine göre üç farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar, düşük yoğunluklu betonlar, orta mukavemetli betonlar ve taşıyıcı betonlar olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 1.3'te hafif betonlar için birim ağırlık ve mukavemete göre yapılan sınıflandırma mevcuttur. Bu sınıflandırmada verilen sınırların nihai sınırlar olarak kabul edilmemesi gerektiği belirtilmektedir [22].



Şekil 1.3. Hafif beton agregalarının birim ağırlıklara göre sınıflandırması

Düşük yoğunluklu betonlar, genellikle yalıtım betonu olarak kullanılan ve yapısal amaçlı kullanılmayan betonlardır. Kuru birim ağırlıkları 800 kg/m^3 'ü çok nadiren aşmakta ve basınç dayanımları 0,69 ile 6,89 MPa arasında değişmektedir. Bu tip betonların termal iletkenlik katsayıları oldukça düşüktür [22].

Orta mukavemetli betonların kullanımı makul seviyede basınç dayanımı gerektirmekte olup basınç dayanımları 6,89 ile 17,24 MPa arasında değişiklik göstermektedir. Bu tip betonlar orta seviyede yalıtım özelliğine sahip olmakla birlikte kimi zaman dolgu betonu olarak da ifade edilmektedir [22].

Taşıyıcı betonlar, genleştirilmiş kil, şeyl, pomza, cüruf ve scoria benzeri, nispeten daha yüksek dayanımlı agregalarla üretilen ve kuru birim ağırlıkları 1120 ile 1960 kg/m^3 aralığında olan betonlardır. Bu tip betonların minimum basınç dayanımları 17,24 MPa olup yalıtım özellikleri nispeten düşüktür [22].

Hafif betonların kuru birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırılması Çizelge 1.1'de verilmiştir [21].

Çizelge 1.1. Hafif betonların yoğunluklarına göre sınıflandırması

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk (kg/m ³)	≥ 800 ≤ 1000	≥ 1000 ≤ 1200	≥ 1200 ≤ 1400	≥ 1400 ≤ 1600	≥ 1600 ≤ 1800	≥ 1800 ≤ 2000

Hafif betonların 28 günlük basınç dayanımlarına göre sınıflandırılması Çizelge 1.2’de verilmiştir [21].

Çizelge 1.2. Hafif betonların basınç dayanımlarına göre sınıflandırması

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı ($f_{ck,silindir}$) (N/mm ²)	En düşük karakteristik küp dayanımı ($f_{ck,küp}$) (N/mm ²)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

1.1.4. Hafif Betonun Avantaj ve Dezavantajları

Hafif beton kullanımının yapı alanında belli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Avantajları [30–32]

- Hafif beton, düşük birim ağırlığı sayesinde yapılardaki zati yükün azalmasına neden olur ve bu sayede depremlerin sebep olacağı hasarı da azaltmaktadır.
- Yapılardaki zati yükün azalmasıyla yapı elemanlarındaki kesitlerde küçülme sağlanabilmekte ve bu sayede ekonomik kazanç elde edilebilmektedir.
- Hafif betonun düşük ağırlığı sayesinde taşıma işlemleri nispeten daha kolaydır.

- Yangın ve donma çözülme direnci geleneksel betona kıyasla daha yüksektir.
- Ses ve ısı yalıtım özelliği yüksektir.

Dezavantajları [30–32];

- Boşluklu yapıda olmaları sebebiyle geleneksel betona kıyasla daha düşük mukavemet ve aşınma direncine sahiptirler.
- Elastisite modülleri daha düşüktür.
- Betonda sünme ve rötre riskini arttırmaktadır.
- Üretiminde kullanılacak hafif agregaların belli bölgelerde bulunması nedeniyle temini normal agregaya kıyasla daha zor olabilmektedir.
- Geleneksel betona kıyasla daha fazla çimentoya gereksinim duyulur ve ekonomik açıdan olumsuz bir etki ortaya çıkarmaktadır.
- Rutubetten korumak için önlem almayı gerektirir.
- Yerleştirme işleminde daha nitelikli işçilik gerekmektedir.

1.2. HAFİF AGREGA

Hafif agregalar, su, çimento ve gerekli durumlarda katkı maddeleri ile karıştırılıp hafif beton üretiminde kullanılan ve organik olmayan malzemelerdir. Hafif agregaların tane yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ü, gevşek birim ağırlığı ise 1200 kg/m^3 'ü aşmamaktadır ve bu malzemeler kırılmış ya da kırılmamış halde kullanılabilir [33]. Genel olarak gözenekli yapıya sahip olan hafif agregalar betonun ağırlığını azaltmak, betona ısı ve ses yalıtımı kazandırmak ya da atık malzemeleri değerlendirmek için kullanılmaktadır [34].

Hafif agregalar, doğrudan doğal olarak veya endüstriyel malzemelerin ısıl işlemiyle elde edilebilmektedir. Doğal hafif agregalar, volkanik kökenli kayalardan oluşmaktadır. Yapay hafif agregalar, genellikle hammaddenin genleşmesini sağlayan üretim metodu ile elde edilmektedir [25].

Yapay hafif agregalar genellikle ısıtma, bazı durumlarda sinterleşme, gaz veya köpük oluşturma yoluyla gözenekli hale getirilen kırılmış ya da kırılmamış halde bulunan agregalardır [27]. Bunlara ilave olarak başka sanayilere ait atık maddeler de hafif agrega olarak kullanılabilir. Yüksek fırın cürufu, uçucu kül, genleştirilmiş perlit,

genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şist, vermikülit ve arduvaz başlıca yapay hafif agregalardır.

Doğal hafif agregalar genellikle doğada oluşumları esnasında yüksek sıcaklıklara maruz kalarak gözenekli yapı kazanan ve kırma, eleme, öğütme işlemleri dışında herhangi bir işleme tabi tutulmadan kullanılan agregalardır. Pomza, perlit, volkanik tuf, volkanik cüruf ve diatomit doğal oluşumlu hafif agregalardır. Doğal hafif agregalar volkanik kökenli olmaları nedeniyle sadece belli bölgelerde bulunmaktadır. Bu agregaların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri oluştukları bölgenin özelliklerine göre değişim gösterebilmektedir [19, 35].

1.2.1. Pomza

Pomza, İtalyanca kökenli bir sözcük olmakla birlikte Türkçe’de süngertaşı, köpüktaşı, nasırtaşı, hısırtaşı, kısır ve küvek taşı gibi farklı yöresel isimlerle bilinmektedir. Bilimsel terminolojide ise, iri boyutluları pumice, ince boyutluları pumicite olarak ifade edilmektedir. Günümüzde, teknoloji ithalinin etkisiyle birlikte pomza, ponza ya da bims isimleriyle kullanımı çok daha yaygın hale gelmiştir [36, 37].

Pomza, volkanik aktiviteler sonucunda oluşmuş, sünger görünümlü, birbirinden bağımsız boşluklu yapıya sahip, gözenekli, camsı ve silis içeriği yüksek bir kayadır. Oluşumu sırasında, içerisindeki gazların, hızlı bir şekilde bünyeyi terk etmesi ve aniden soğuması neticesinde, irili ufaklı çok sayıda gözenek oluşmaktadır. Bu gözenekler sayesinde ısı ve ses yalıtımı yüksek, hafif bir yapıya sahiptir. Mohs sertlik ölçeğine göre, sertliği yaklaşık 6 olan pomzanın birim ağırlığı genellikle 1 g/cm^3 ve altındadır [38]. Teknik terminolojide “doğal hafif agrega” olarak nitelendirilen pomza taşının (bims taşı) kırma, eleme ve boyutlandırılması sonucu elde edilen farklı tane boyutlarına sahip malzeme haline “pomza agregası” (“bims agregası”) denilmektedir [39].

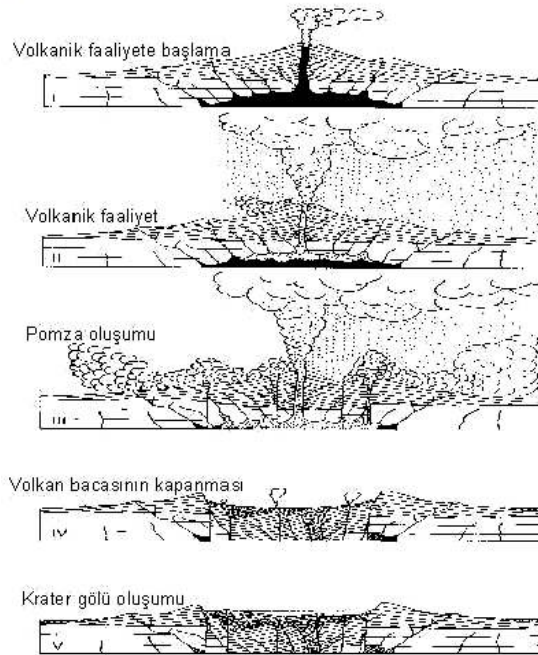
Pomza, gözenekliliği, hafifliği, ısı ve ses yalıtım özelliği, dış etkilere direnci ve puzolanik aktivitesi nedeniyle insanoğlunun kullandığı en eski doğal ve volkanik yapı malzemelerindendir [37]. Pomzanın bilinen en eski kullanımı milattan önce birinci yüzyılda Vitruvio’ya ait mimari özete dayanmaktadır. Vitruvio, pomza taşını sudan hafif olması gerekçesiyle yüzücü olarak tanımlamış ve su emmeyen, hijyenik bir yapıda olduğundan bahsetmiştir. Eski Roma döneminde, pomza taşı tapınak ve termal banyoların yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Bu yapılardan bazıları, uzun yıllar değişen ortam şartlarına rağmen ayakta kalarak günümüze kadar ulaşmıştır. Daha sonraları, 1800’lü

yıllarda Almanya’da kullanıldığı bilinen pomza taşının yapı malzemesi olarak kullanımı 1851 yılında California’da başlamış ve hızlı bir şekilde yaygın hale gelmiştir [40, 41].

1.2.1.1. Pomzanın Oluşumu

Yer kabuğunda, volkanik aktiviteler sonucunda oluşan metalik ve metalik olmayan pek çok maden bulunmaktadır. Ekonomik değeri olan bu madenler, magmanın yer yüzüne çıkması ve aniden soğuyarak sertleşmesiyle oluşmuştur. Pomza, perlit, ignimbrit ve obsidyen bu madenlerin başlıca örnekleridir [42, 43].

Volkanik oluşumlarda asidik magma bazik magmaya kıyasla daha viskoz yapıda olup içeriğinde yüksek miktarda silis bulunmaktadır. Bazik magma sıvı halde olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunmaktadır. Bundan dolayı volkanik aktivitenin sonlandığı anlarda magma akışı da sonlanır ve asidik kayaçlar oluşur. Bu durum bir volkanın genel aktivite özelliğini göstermektedir. Basınçta artış olmasıyla birlikte asidik malzemeler ve magma içerisindeki erimiş gazlar patlamalar oluşturarak bacadan püskürmeye başlarlar. Bu süreçte ilk olarak uçucu bileşenler aniden kaçar, ardından erimiş parçalar havayla temas ederek hızla soğuyarak sertleşirler. Sonuç olarak pomza oluşur ve genellikle bu aktiviteler sonrasında volkan krateri belli zaman geçince krater gölü haline gelebilmektedir [44, 45]. Şekil 1.4’te pomza oluşumunun sembolik gösterimi verilmiştir [45].



Şekil 1.4. Pomza oluşumunun sembolik olarak gösterimi

Oluşan pomza taneleri hava akımıyla birlikte volkan bacalarından uzaklara doğru ilerler ve eski yüzey yapılarını koruyarak depolanır. Bu durumda pomza yatakları meydana gelir ve zaman içerisinde akarsularla taşınarak ideal havzalarda depolanır. Bu pomza yataklarında %1 ile %3 oranında bazalt, obsidyen, andezit ve traki-andezit gibi volkanik kayaç türleri bulunabilmektedir. İkincil koşullarda oluşan pomza yataklarında ise yabancı madde oranı daha fazla olabilmektedir [44, 45].

Pomza da taşınma sistemi; düşme (buluttan çökme) yoluyla yığılma, fırlatma yoluyla yığılma ve akma yoluyla yığılma olarak üç ana grupta incelenebilmektedir [44, 45].

Düşme yoluyla yığılma durumunda tane büyüklükleri küçük aralıklarda olmakta ve sınıflandırmada iyi bir değişim görülmektedir. Oluşan pomza tabakaları tepelik ve düzlük alanlarda benzer kalınlığa sahip olurken bu kalınlık santimetrelerle ifade edilecek kadar ince durumdadır. Fırlatma yoluyla yığılma durumunda oluşan pomzalarda, düzgün yapılaşmış ve iç içe itilmiş tabakalar oluşurken arada bazaltik kayaç sokulumları da mevcuttur. Bu yığınlarda patlamanın etkisiyle yapısal parçalanma ve sıkışmalar görülmektedir. Akma yoluyla yığılma durumunda ise pomza yataklarındaki tabakalarda boyut sınıflandırması neredeyse hiç yoktur ve kötü bir ayrışma mevcuttur. Pomza serbest halde üst katmalarda yer alırken gang minerallerinde alt katmanlara çökme meydana gelmektedir. Bu durum akma yoluyla yığılmanın en bariz göstergesidir [44, 45].

1.2.1.2. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Pomza, kimyasal ve fiziksel etkilere karşı dirençli, bünyesinde hacmen %85'e kadar gözenek barındırabilen, camsı bir kayaçtır [40]. Genel olarak gözenekleri birbirinden bağımsız yapıda ve gözle görülecek boyutlardan mikro boyutlara kadar sayısız olup, birbirlerinden camsı bir zarla yalıtılmış durumdadır. Bu özelliği sayesinde pomza oldukça iyi ses ve ısı yalıtım özelliklerine sahiptir [46]. Ergime noktası yaklaşık 1343 °C olan pomza, 760 °C nin altındaki sıcaklıklarda herhangi bir hacim değişikliğine uğramaz [44].

Pomza genel olarak doğal hafif agregalar arasında en sık kullanılanıdır. Kuru birim ağırlıkları 480 ile 880 kg/m³ aralığındadır. Özgül kütle, kuru kütlenin hacmine oranı (gözeneklerin hacmi hariç) şeklinde değerlendirilip pomza agregaları için bir fiziksel özellik durumundadır. Genellikle pomza oluşumlarında özgül ağırlık 2,1 g/cm³ değerinin üzerindedir. Agregat hacim kütlesi ise pomzada kuru kütlenin genel hacmine oranı şeklinde ele alınıp pomza yatağına ve tane boyutlarına göre değişiklik göstermektedir. Pomza agregasında tane boyutları arttıkça, gözenek yüzdesi artarken agreganın hacim

kütle değeri azalmaktadır. Ayrıca pomza oluşumlarında, volkan bacasından uzaklaştıkça pomzadaki gözenek yüzdesinde artış meydana gelmektedir. Ülkemizde oluşmuş pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri Çizelge 1.3'te verilmiştir [39].

Çizelge 1.3. Türkiye'de oluşan pomza kayaçlarının fiziksel özellikleri

Renk	Açık griden kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Kuru Birim Ağırlık (g/cm^3)	0,32-0,97
Gerçek Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,15-2,65
Sertlik (MOHS)	5,5-6,0
Porozite (%)	45-90
Su Emme (%)	30-70
Buhar Difüzyon Katsayısı	5-10
Rötre (mm/m)	<1
Isınma Isısı ($\text{cal/g,}^\circ\text{C}$)	0,24-0,28
Isı İletkenlik Katsayısı (W/Mk)	0,08-0,20
Ses Yalıtımı (dB)	40-55

Pomza kayaçlarının kimyasal yapısında %75'e kadar silis içeriği bulunabilmektedir [44]. Kayacın yapısında bulunan SiO_2 , kayacın göstereceği asidik ya da bazik karakteristik özelliği belirlemektedir. SiO_2 kayaca asidiklik ve abrasiflik özelliği kazandırdığı gibi SiO_2 oranının artması agrega dayanımını da arttırmaktadır. Kayacın yapısındaki Al_2O_3 , kayacın ateşe ve yüksek ısıya dayanım özelliklerini belirlemekte olup Al_2O_3 oranının artması ateş ve yüksek ısıya dayanımı arttırmaktadır. Doğada asidik ve bazik olmak üzere 2 çeşit pomza mevcuttur. Asidik pomzalar $0,5-1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda, beyaz veya kirli beyaz renktedir. Bazik pomzalar ise $1-2 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğunda, kahverengi veya siyah renktedir. Pomza taşının, inşaat sektörü açısından asidik karakterde olup Al_2O_3 oranı yüksek, Fe_2O_3 oranı düşük yapıda olması istenmektedir [47]. Ülkemizde oluşmuş pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri Çizelge 1.4'te verilmiştir [39].

Çizelge 1.4. Türkiye'de oluşan pomza kayaçlarının kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri	
Radyoaktivite	Yok
pH	7-7,3
Suda Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	≤ 0,15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (Ağırlıkça %)	≤ 2,9
Uçucu Madde (Ağırlıkça %)	Yok
Asitlerle Etkileşimi	İnert
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ergime Noktası (°C)	> 900
(Pomza yalnızca hidroflorik asitle etkileştiğinde toksik silikon tetraflorit gazı çıkarmaktadır.)	
Kimyasal Bileşenleri	
SiO ₂	52,0-75,0
Al ₂ O ₃	11,0-17,0
Fe ₂ O ₃	0,5-5,0
CaO	1,0-8,0
MgO	0,5-3,0
K ₂ O	3,0-9,0
Na ₂ O	
SO ₃	<1,0
Kızdırma Kaybı	1,0-3,0

1.2.1.3. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza rezervleri açısından kritik öneme sahip olan ülkemiz, yaklaşık 10 farklı doku ve renk kalitesindeki pomza çeşitliliği ile önemli bir pazar potansiyeline sahiptir. Dünya genelinde elliden fazla endüstri alanında çeşitli kullanım alanı bulunan pomza, kullanım amacına göre ana hammadde veya katkı maddesi olarak tercih edilmektedir. Pomzanın en yaygın kullanım alanı, dünyada olduğu gibi ülkemizde de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü haricinde ziraat, tekstil ve kimya sektörü pomzanın başlıca kullanım alanları olarak bilinmektedir. Dünyadaki ve ülkemizdeki pomza kullanımının 2011 yılına ait sektörel dağılımı Çizelge 1.5’te verilmiştir [14].

Çizelge 1.5. 2011 yılında pomza kullanımının sektörel dağılımı

Kullanım Alanları	Dünya Geneli Kullanım Oranı (%)	Türkiye Geneli Kullanım Oranı (%)
Hafif yapı elemanları üretimi	48	80
Hafif beton üretimi	12	2
Yalıtım malzemeleri üretimi	9	4
Ziraat	12	6
Tekstil	4	3
Kimya	8	1
Diğer alanlar	7	4

Pomzanın İnşaat Sektöründeki Kullanımı

Pek çok endüstriyel hammaddeye göre üstün teknik özellikleri ve avantajları nedeniyle giderek ilgi odağı haline dönüşen pomza, inşaat sektörü için ciddi öneme sahiptir. Dünya genelinde üretimi gerçekleştirilen pomzaların yaklaşık %90'ı inşaat sektöründe kullanılmaktadır [48]. Pomza, özellikle düşük ağırlığı nedeniyle bina yükünü büyük ölçüde azaltarak deprem etkisini hafifletmesi, binalarda ısı ve ses yalıtımına katkı sağlaması bakımından giderek önem kazanmaktadır [49]. Ayrıca pomza kullanımının betonun yangına dayanım ve dona dayanım özelliklerine olumlu etki ettiği bildirilmiştir [43]. Pomza inşaat sektöründe genel olarak; hafif beton ve hafif yapı elemanlarının üretiminde, prefabrik yapıların üretiminde, sıva ve harç karışımlarında, çatı ve dekoratif kaplama uygulamalarında ve dolgu yapılacak alanlarda kullanılmaktadır [40].

Pomzanın Tekstil Sektöründeki Kullanımı

Pomza taşları ve pomza tozları, aşındırıcı özelliğe sahip olması nedeniyle kot taşlama, kumaş ağartma ve yumuşatma işlemlerinde kullanılmaktadır. Pomzanın doğal halde kullanımıyla tekstil ürünleri üretimi için sağlıklı çözümler oluşturulmaktadır [44, 48].

Pomzanın Ziraat Sektöründeki Kullanımı

Pomza yüksek oranda su tutma özelliği nedeniyle sulama ihtiyacını azaltabilmekte ve bu sayede kuraklık sorunu olan bölgelerde drenajı düzenleyerek bitki gelişimini desteklemektedir. Günümüzde su kaynaklarının kısıtlı olduğu ülkelerde, sulama suyunda buharlaşmayla meydana gelen aşırı su kaybını önlemek amacıyla pomza kullanımı görülmektedir [44, 48]. Pomza, içeriğindeki magnezium, kalsiyum ve demir gibi mineraller sayesinde bitki gelişimini hızlandırmaktadır. Ayrıca toprağın pH dengesini düzenleyici etkiye de sahiptir [50].

Pomzanın Kimya Sektöründeki Kullanımı

Pomza, kozmetik ürünler, sabun ve deterjanlar, tarım ilaçları, diş macunu ve diş pastası, izole edici duvar boyaları, kibrit ve gübre üretimi gibi pek çok alanda çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır [41, 48].

Pomzanın Diğer Sektörlerdeki Kullanımı

Pomza çeşitli özellikleri nedeniyle çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. Metal, cam ve plastik sanayi, kuyumculuk ve seramik sektörü başta olmak üzere aşındırıcı olarak kullanımı mevcuttur. Elektronik alet ve çip üretiminde hassas temizleyici olarak, filtre üretiminde emici/arıtıcı olarak, asfalt kaplamalarda ise buzlanmayı ve kusmayı engelleyici olarak kullanılmaktadır [41, 48].

1.2.1.4. Dünya'da ve Türkiye'de Pomza Rezervleri

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından yayınlanan güncel raporlara göre dünya genelindeki pomza rezervleri hakkında kesin bilgiler bulunmamaktadır. Dünya üzerinde pek çok ülkede pomza rezervlerinin olduğu ve rezerv bakımından en zengin kaynakların ABD'de bulunduğu, Türkiye, İtalya ve Yunanistan'ın da rezerv bakımından zengin ülkeler olduğu bildirilmektedir. Türkiye son yıllarda dünya üzerinde en çok pomza üretimi gerçekleştiren ülke konumundadır. Dünya genelinde 2020 sonrası döneme ait yıllık pomza üretim miktarları Çizelge 1.6'da verilmiştir [51].

Çizelge 1.6. Son 2 yılda dünya geneli pomza üretimleri (milyon ton)

Ülkeler	2021 Yılı	2022 Yılı
ABD	504	510
Cezayir	900	900
Kamerun	110	110
Şili	670	670
Ekvador	800	800
Etiyopya	510	510
Fransa	280	300
Yunanistan	960	960
Guadeloupe	200	200
Guatemala	570	570
İzlanda	100	100
Ürdün	900	900

Çizelge 1.6. (devamı) Son 2 yılda dünya geneli pomza üretimleri (milyon ton)

Suudi Arabistan	550	550
İspanya	240	240
Suriye	200	200
Tanzanya	160	160
Türkiye	5.400	5.400
Uganda	1.130	1.100
Diğer Ülkeler	710	820
Dünya Geneli Toplam	14.900	15.000

Pomzanın tüfler ile iç içe bulunması ve bir arada olduğu kayaç gruplarından ayrımının zor olması, rezerv konusunda kesin verilerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bunlara ek olarak, pomza yataklarında görülen kalite farklılıkları da rezervler konusunda kesin veri elde edilmesini zorlaştıran bir unsurdur [48].

Alp orojenik kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde volkanik faaliyetlerin geniş alanlarda etkisini göstermiş olması sonucu pek çok pomza yatağı oluşmuştur. Ülkemiz pomza rezervleri açısından dünya üzerinde önemli bir yere sahiptir [48]. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nce (MAPEG) yayınlanan güncel verilere göre, ülkemizde yaklaşık 2,2 milyar ton pomza rezervi bulunmaktadır. Bu rezervler ağırlıklı olarak İç Anadolu ve Doğu Anadolu olmakla birlikte farklı bölgelere yayılmış durumdadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yayınlanan, ülkemiz geneli pomza yataklarının dağılımını gösteren harita Şekil 1.5'te verilmiştir [52]. Doğu Anadolu bölgesi rezerv bakımından zengin olsa da bölgenin limanlara uzak olması ve ulaşım maliyetinin yüksek olması nedeniyle İç Anadolu bölgesi uluslararası pazar için daha yüksek potansiyele sahiptir [48].



Şekil 1.5. Türkiye geneli pomza yatakları

Ülkemizde farklı doku ve renk kalitesine sahip pomza çeşitleri mevcut olmakla birlikte bu pomzalar açık işletme yöntemi ile çıkarılmaktadır. Özellikle Nevşehir yöresinden çıkarılan asidik karakterli, yüksek kaliteye sahip, beyaz renkteki pomzalar ihracatta büyük talep görmektedir. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAGEP) kayıtlarına göre 2020 yılında ülkemizde bulunan işletme ruhsatına sahip pomza sahalarının il bazında rezervleri Çizelge 1.7’de verilmiştir [48].

Çizelge 1.7. 2020 yılı işletme ruhsatlı pomza sahalarının il bazında rezervleri

İl	Rezerv (Ton)
Nevşehir	1.069.115.572
Manisa	398.267.172
Kayseri	136.329.518
Osmaniye	110.172.625
İzmir	79.473.342
Konya	72.253.259
Bitlis	40.570.132
Diyarbakır	39.744.197
Erzurum	37.665.019
Isparta	32.557.558
Van	30.553.860
Burdur	25.282.904
Iğdır	20.354.889
Mardin	19.800.149
Hatay	19.264.565

Çizelge 1.7. (devamı) 2020 yılı işletme ruhsatlı pomza sahalarının il bazında rezervleri

Ağrı	17.761.140
Elazığ	14.417.717
Kars	12.225.478
Aksaray	9.218.516
Ankara	2.658.576
Gaziantep	1.100.000
Niğde	752.468
Erzincan	550.747
Toplam	2.190.089.403

1.3. POLİMERLER VE POLİMERLERİN BETONDA KULLANIMI

1.3.1. Polimerler

Günümüz dünyasında, insan yaşamı açısından vazgeçilmez konumdaki temel maddelerin ana yapı taşları polimerlerdir. İpek, yün ve selüloz gibi doğal oluşumlu polimerlere ek olarak poliester, teflon, naylon ve sentetik kauçuk gibi pek çok yapay polimer türü mevcuttur [53].

Doğal ve yapay olarak elde edilen polimerler, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağ ile birbirine bağlanmasıyla oluşan makro moleküllerdir. Polimerler, uzun zincirli moleküler yapısı sayesinde kuvvetli bağ yapan ve kolay işlenebilen malzemelerdir [54].

Son yıllarda, polimerik malzemelerin günlük yaşantımızdaki önemli yeri dolayısıyla pek çok kimyacı içinde bulunduğumuz dönemi polimer çağı olarak nitelendirmektedir. Polimerik malzemeler, günlük yaşantımızda çoğunlukla plastik, lif veya kauçuk olarak kullanılmaktadır. Bunlar ek olarak, yapıştırıcılar, boyalar ve yer kaplama malzemelerinin de pek çoğu polimerik esaslı ürünlerdir [54].

Polimer malzemelerin endüstriyel uygulamalardaki kullanımı eski çağlara dayanmaktadır. Doğal kauçuk, nişasta, selüloz, ahşap amber, bitüm, deri ve boynuz gibi polimerik malzemelerin kullanımı endüstriyel anlamdaki ilk basamağı oluşturmaktadır. Doğal polimerik maddelerin endüstri boyutunda kullanımında, ham maddenin işleme zorluğuyla birlikte ürünlerin fiziksel ve mekanik anlamda yetersiz kalması gibi problemler nedeniyle modifiye edilmiş doğal polimerlerin gelişimi ortaya çıkmıştır [55].

Polimerler ile ilgili ilk çalışmalar 1800’lü yıllarda başlamış olsa da polimer kimyası

Staudinger H. tarafından 1924 yılında ileri sürülen “makro molekül hipotezi” ile temel bulmuş ve bu gelişmeyle polimer teknolojisinde önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Staudinger H., hipotezinde doğal kauçuk ve poliesterin küçük birimlerinin birlikte bulunduğu uzun zincir yapısındaki moleküllerden oluştuğunu belirtmiş ve polimer üretim prosesinin deneme yanılma metodundan kurtulmasını sağlamıştır. Staudinger H. bu çalışması sayesinde Nobel ödülü almıştır [56].

1.3.1.1. Polimerlerin Sınıflandırması

Polimer malzemeler, oluşumlarına göre doğal ve yapay polimerler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Doğal polimerler herhangi bir üretim süreci görmeden doğal yolla oluşmuştur. Doğal polimerlerin başlıca örnekleri; selüloz, nişasta, doğal kauçuk, proteinler ve nükleik asitler olarak sıralanabilir [57]. Yapay polimerler laboratuvar ortamlarında ve endüstride üretimi yapılan polimer çeşitleridir ve başlıca örnekleri; polietilen, polivinilklorür, polimetilmetakrilat ve naylon şeklinde sıralanabilir [58].

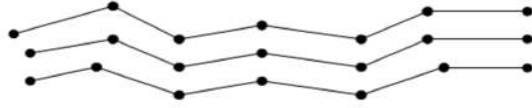
Kimyasal bileşimlerine göre polimerler, organik ve inorganik olarak iki gruba ayrılmaktadırlar. Organik polimerlerin temel zincir sisteminde başta karbon olmakla birlikte oksijen, azot ve halojen atomları bulunmaktadır. İnorganik polimerlerde ise temel zincir üzerinde karbon yerine silisyum, germanyum, bor ve fosfor gibi elementler bulunmaktadır. Temel zincirde bulunan elementlerin bağ enerjileri kıyaslandığında inorganik polimerler organik polimerlere göre daha yüksek bağ enerjisine sahip oldukları bilinmektedir [59, 60].

Zincir yapılarına göre polimerler, homopolimer ve kopolimer olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Polietilen, tek bir monomerin tekrarlanması sonucu oluşan homopolimerlere örnek olarak verilebilir. Stiren-butadien, iki farklı monomerin polimerizasyonu sonucunda oluşan kopolimerlere örnek olarak verilebilir [59, 60].

Polimerlerin sınıflandırılmasında kullanılan en temel yöntem fiziksel olarak sınıflandırmadır ve polimerler fiziksel olarak; termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

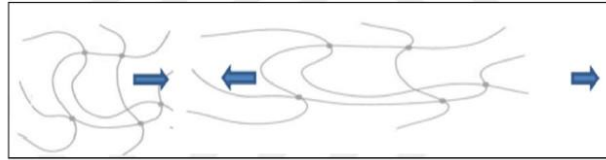
Termoplastikler, molekülleri arasında Van der Waals bağları bulunan ve iç yapılarındaki bağların zayıf olması nedeniyle rijit bir yapısı olmayan polimerlerdir [57]. Isı altında yumuşayan ve şekil değişikliğine uğrayan termoplastikler soğutulduklarında tekrar sertleşen malzemelerdir. Bu şekil değişimi esnasında kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişim görülmez [61]. Şekil değişimi için düşük sıcaklıklar dahi yeterli olduğundan

dolayı ekonomik açıdan avantaja sahiptirler. Bunlara ek olarak uygun çözücüler içinde çözünebilmektedir [62]. Plastikler, akrilikler, naylon polietilen, polistiren, selülozikler ve viniller termoplastikler için örnek gösterilebilir [17]. Şekil 1.6'da termoplastik polimerlerin zincir yapısı verilmiştir [60].



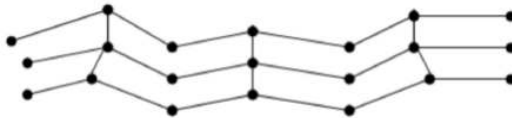
Şekil 1.6. Termoplastiklerin zincir yapısının sembolik gösterimi

Elastomerler, iç yapılarında düşük oranda çapraz bağlar bulunduran ve bundan dolayı çekme kuvveti altında yüksek oranda uzayabilen ve kuvvet kalktığında tekrar eski haline dönebilen elastik malzemelerdir. Elastomerler, eriyebilen ve çözülebilen termoplastik grubu polimerlerdir [54]. Şekil 1.7'de elastomer zincirlerinin çekme kuvveti altındaki etkisi gösterilmiştir [63].



Şekil 1.7. Elastomer zincirlerinin çekme kuvveti altındaki davranışı

Termosetler, temel zincir yapılarında yüksek oranda çapraz bağ içeren ve ısı etkisinde eriyerek sıvı hale geçmesi mümkün olmayan polimerlerdir. Çok yüksek sıcaklıklarda iç yapısındaki bağlar bozularak parçalanmalar meydana gelebilmektedir [58]. Termosetler, ısı işlemi sonucunda tek bir defaya mahsus şekil alabilir ancak ısı ile tekrar şekil alamazlar. Bunlara ek olarak termosetlerin çözünme özelliği yoktur [62]. Epoksi, poliester, poliüretan, polieter ve formaldehitler termoset polimerlerin başlıca örnekleridir. Şekil 1.8'de termoset polimerleri zincir yapısı gösterilmiştir [57].



Şekil 1.8. Termosetlerin zincir yapısının sembolik gösterimi

Termoplastik ve termosetlerin farklı özelliklere sahip olmalarının en önemli sebebi molekül yapılarıdır. Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine paralel uzun ve ipliğimsi yapıdayken, termosetlerin molekülleri dallanarak birbirleri arasında bağ köprüleri oluşturmuştur [60].

1.3.1.2. Polimerlerin Genel Özellikleri

Polimer malzemeler teknolojik ilerlemelerle birlikte önemli özellikler kazanmış ve birçok uygulama alanında sıklıkla tercih edilen ürünler haline gelmiştir. Polimer malzemelerin genel özellikleri şu şekildedir [64, 65]:

- Polimerlerin kimyasal etkilere karşı dayanımları polimerin kimyasal yapısı ve zincir dizilimine göre değişiklik göstermektedir. Genellikle asit ve bazlara karşı dayanımları yüksektir. Ancak organik solventlere karşı dayanıklılıkları zayıftır.
- Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımları düşüktür. Bazı çeşitleri 300-400°C sıcaklığa kadar dayansa da geneli 80°C ve üzeri sıcaklıklarda zarar görmektedir.
- Yapılarındaki kovalent bağ nedeniyle ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür.
- Kayma dirençleri düşük ancak basınç çekme dayanımları yüksektir.
- Genellikle hafif yapıda olup yoğunlukları 0,9 ile 2,5 g/cm³ arasındadır.
- İşlenebilirliğinin yüksek olması nedeniyle kullanımı kolaydır.
- Kolay şekilde renklendirme yapılabilmektedir.

1.3.2. Polimerlerin Betonda Kullanımı

Günümüz inşaat teknolojisinde, yapıların dayanıklı, işlevsel ve ekonomik olması beklenmektedir. Bu doğrultuda beklenen özellikleri karşılayabilmek amacıyla çeşitli malzemeler tercih edilmektedir [63]. Çimento betonu, halihazırda pek çok özelliğinden dolayı inşaat sektöründe kullanım alanı bulan en popüler malzeme konumundadır. Ancak çimento betonu için düşük çekme ve eğilme dayanımı, yüksek gözeneklilik oranı ve kimyasal etkilere karşı zayıflık gibi problemler mevcuttur [66]. Çimento betonunun bu problemlerine karşı bir alternatif oluşturmak amacıyla, pek çok araştırmacı tarafından polimerik malzemelerin betonda kullanımına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımı 1950'li yıllardan günümüze kadar önemli gelişmeler kaydetmiştir. Polimer betonların ilk kullanım alanı gövde malzemeleriyle sınırlı kalmaktadır. Günümüzde ise geleneksel çimento betona göre sahip olduğu; yüksek mekanik dayanım, yüksek kimyasal dayanım, hızlı kurlenme, düşük geçirimsizlik ve hafiflik gibi üstünlükleri nedeniyle çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [67, 68].

Polimerlerin beton içerisinde kullanımı, polimer beton (PC), lateks modifiye beton (LMC) ve polimer emdirilmiş beton (PIC) olmak üzere üç farklı gruba ayrılmaktadır. PC ve LMC betonlarının kullanımına 1950’li yıllarda başlanırken, PIC betonları 1970’lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır [69].

1.3.2.1. Polimer Beton (PC)

Polimer beton (PC); agregalar ile polimer reçinesinin karışımından oluşmaktadır. Polimer bu karışımda agregaları birbirine bağlayıcı görevi görmektedir. Polimer beton üretiminde kütle agregaların arasındaki boşluk miktarının minimum seviyede tutulması dikkat gerektiren bir husustur. Çünkü agregalar arasındaki boşlukları dolduran ve bağlayıcı görevi gören polimer reçinesine duyulan ihtiyaç artacak, dolayısıyla maliyette artacaktır [61]. Polimer beton üretiminde en yaygın kullanılan polimer reçineler; epoksi reçineler, polyester reçineler, vinilester reçineler, fenolik reçineler ve silikon reçinelerdir [70].

1.3.2.2. Lateks Modifiye Beton (LMC)

Polimer Portland çimento betonu olarak da adlandırılan lateks modifiye betonları taze haldeki betonun veya çimento harcının karışımı esnasında lateks veya emülsiyon dağılımı şeklindeki polimer malzemenin karışıma eklenmesi ile üretilmektedir, Lateks modifiye betonlarında çimentonun prizi esnasında polimerin polimerizasyonu da gerçekleşerek istenen süneklik ve geçirimsizlik özelliklerine sahip beton elde edilmektedir [64].

Eski bir betona yapışma kapasitesinin yüksek olması ve su geçirimsizliğinin oldukça düşük olması lateks modifiye betonların en üstün özellikleridir. Bu betonlarda polimer matrisin küçük çatlakları ve kılcal gözenekleri kaplayarak sıvı geçişini engellediği düşünülmektedir. LMC, bu özellikler nedeniyle bozulma meydana gelen zemin, kaldırım ve köprü güvertelerinin onarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır [69].

1.3.2.3. Polimer Emdirilmiş Beton (PIC)

Polimer emdirilmiş beton (PIC); sertleşmiş portland çimento betonu içerisine monomer emdirilerek polimerize edilmesi sonucunda üretilmektedir. Bu tip betonların üretiminde uygun monomerin belirlenmesi ve polimerizasyon işlemi en dikkat gerektiren konulardır. Polimer emdirilmiş beton üretim süreci polimerin beton içerisindeki en küçük kılcal boşluklara kadar ulaşması ve burada polimerize olarak geçirimsiz ve yüksek dayanımlı betonların elde edilmesi şeklindedir [61].

Geleneksel metotlarla hazırlanan beton ve harçların içerisindeki kılcal boşluklar

çoğunlukla çimento hamuruyla doludur. Ancak su/çimento oranı iyi hesaplanmayan ve başlarda kılcal boşluklarında fazlasıyla su bulunduran betonlarda dayanımı arttırmak amacıyla kılcal boşluk miktarını azaltmak gerekmektedir. Bu durumlarda, sistem içerisine sıvı monomer enjekte edilerek monomerin beton içerisindeki boşluklarda polimerleşmesi sağlanırsa betonun çeşitli özelliklerinde pozitif etkiler görülmektedir [61].

1.4. LİTERATÜR ÖZETİ

Rossignolo ve Agnesini (2002), yapmış oldukları çalışmada stiren-bütadien lateks (SBR) ve Brezilya kökenli iki farklı hafif agrega ile üretilen betonların özelliklerini ele almışlardır. Çalışmada çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı, çimento ağırlığının %0, %5, ve %10'u kadar SBR ve iki farklı hafif agregaya ek olarak doğal kuvars kumu kullanılarak beton üretimi gerçekleştirmiş ve deneyler yapmışlardır. Deneyler sonrasında tüm serilerde işlenebilirliğin yüksek olduğunu ve SBR ilavesiyle karışımın su ihtiyacının azaldığını gözlemlemişlerdir. SBR ilavesiyle betonun hava içeriğinin arttığını, dolayısıyla basınç dayanımının düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca SBR ilavesinin betonun çekme ve eğilme dayanımlarını arttırdığını ve su emme oranını azalttığını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda Brezilya kökenli hafif agregalarla SBR modifiye edilerek prefabrik malzemelerin üretilebileceğini belirtmişlerdir [71].

Kılıç vd. (2003), mineral katkı ve bazaltik pomza agregası kullanarak yapısal hafif yüksek dayanımlı beton tasarlamak amacıyla yaptıkları çalışmada, çimentoyla ikameli olarak uçucu kül ve/veya silis dumanının kullanıldığı beton karışımları hazırlamışlardır. Ayrıca karşılaştırma amaçlı normal ağırlıklı beton karışımı da hazırlamış ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapısal hafif betonların hava kurusu birim ağırlıklarının 1800 ile 1850 kg/m³ arasında, 28 günlük basınç dayanımlarının ise 28 ile 38,9 MPa arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Üretilen betonlar içerisinde mineral kullanımının basınç dayanımını arttırdığını ve en yüksek dayanım değerinin çimentoya ikame olarak silis dumanı kullanılan seride olduğunu belirtmişlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda bazaltik pomzanın yapısal hafif yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılabileceğini ifade etmiş, ancak gerek yeterli dayanım gerekse çevresel etkiler nedeniyle mineral kullanımını tavsiye etmişlerdir [72].

Uğur (2003), doğal hafif agrega türlerinden olan ve belli oranda gözeneklilik içeren

volkanik cüruf ile perlitik pomza oluşumlarının hafif beton üretiminde kırmataş agrega olarak kullanımını belli parametrelere göre ele almıştır. Çalışmasında 4-12 mm boyutlarında perlitik pomza, 0-4 mm boyutlarında cüruf, genleşmiş polistren ve çimentoyu belli oranlarda su ile karıştırarak çeşitli hafif betonlar üretmiştir. Hafif betonların düşük birim ağırlıkları ve üstün yalıtım özelliklerine karşın yüksek miktarda çimento gereksinimi dolayısıyla yüksek maliyete sebep olduğunu belirtmiştir. Bunların yanı sıra maliyet hesabı yapılırken malzemenin ekonomikliğinden ziyade hafif beton kullanılan yapının temel tasarım maliyetinin göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamıştır [73].

Uysal vd. (2004), yaptıkları çalışmada pomza agregası oranı, çimento dozajı ve slump (çökme) miktarının betonun yoğunluk ve termal iletkenliğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çimento dozları olarak 200, 250, 300, 350, 400 ve 500 kg/m³ olan, normal agrega yerine hacimce %25, %50, %75 ve %100 pomza agregası içeren ve 3±1, 5±1, 7±1, slump (çökme) değerlerine sahip 20 farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Çalışma sonucunda pomza agregalarının betonun yoğunluğunu ve termal iletkenliğini sırasıyla %40 ve %46'ya kadar azalttığını tespit etmişlerdir. Çimento dozunun artmasıyla betonun yoğunluk ve termal iletkenliğinin arttığını belirlemişlerdir. Slump (çökme) miktarlarının yoğunluk ve termal iletkenlik üzerinde değişken bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir [74].

Şengül ve Doğan (2003), polimer ilaveli betonların mekanik ve durabilite özelliklerini inceledikleri deneysel çalışmalarında; normal dayanıma sahip bir beton ve aynı karışıma çimentonun ağırlığınca %5'i kadar polimer ilave ederek betonlar üretmişlerdir. Bu betonların mekanik, durabilite ve geçirimsizlik özelliklerini tespit edebilmek amacıyla belli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda polimer ilavesinin betonun işlenebilirliğini önemli derecede etkilediğini, öyle ki çökme değerini yaklaşık 4 kat arttırdığını gözlemlemişlerdir. Kullanılan polimerin betonda hava sürükleyici etki yaptığını, dolayısıyla polimer ilavesiyle betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülünde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Polimer ilave edilen betonun normal betona göre donma-çözülme ve ıslanma-kuruma etkisine karşı daha dirençli olduğunu belirlemişlerdir [75].

Rossignolo ve Agnesini (2004), stiren bütadien lateks (SBR) ile modifiye edilmiş hafif betonun durabilite özellikleri üzerine yaptıkları çalışmada ince agrega olarak doğal kum iri agrega olarak Brezilya hafif agregaları kullanmış ve çimentoya kütlece %0, %5, %10 oranlarında SBR ilave ederek hafif beton numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri hafif beton

numunelerinin taze halde işlenebilirlik sertleşmiş halde ise su emme, basınç dayanımı, korozyon direnci ve kimyasal direnç özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, SBR dahil edilen karışımlarda su ihtiyacının azaldığını ve işlenebilirliğin uygun durumda olduğunu gözlemlemişlerdir. Beton numuneleri için 7 günlük basınç dayanımı ve birim ağırlık değerlerinin sırasıyla 39,5-51,9 MPa ile 1460-1605 kg/m³ arasında olduğunu belirlemişlerdir. SBR ile modifiye edilen betonlarda su emiliminin azaldığını; korozyon ve asitli ortamlara karşı direncin ise arttığını tespit etmişlerdir [76].

Türkel ve Kadiroğlu (2007), çalışmalarında Kayseri bölgesine ait pomza agregası kullanarak taşıyıcı hafif beton ve benzer granülometrideki kireçtaşı agregası kullanarak normal beton üretmişlerdir. Ürettikleri betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş halde deneyler gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda üretmiş oldukları taşıyıcı hafif betonların birim hacim ağırlıklarının 1400 ile 1700 kg/m³ olduğunu ve basınç dayanımlarının ACI 213R-87’de belirtilen 17 MPa dayanım sınırını aşarak LC 20/22 ile LC 25/28 dayanım sınıflarını sağladığını tespit etmişlerdir. Hafif agregalı betonların yarma ve eğilme dayanımlarının normal betonlara göre daha düşük olduğunu ve kırılma şekillerinin daha gevrek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca kırılmanın, normal betonlarda agrega ile bağlayıcı matris arasında gerçekleşirken hafif betonlarda agrega ve matriste gerçekleştiğini belirtmişlerdir [11].

Yanık (2007), bazik pomzaların betonda agrega olarak kullanımı üzerine yapmış olduğu çalışmada farklı oranlarda bazik pomza, dere kumu, uçucu kül ve kimyasal katkılar kullanarak beton üretimi gerçekleştirmiştir. Bu betonlar üzerinde özellikle dayanım ve yalıtım özelliklerini belirleyici deneyler yapmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda bazik pomzanın tek başına beton agregası olarak kullanımının mümkün olmadığını ancak dere kumu ile kullanımının mümkün olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ses ve ısı yalıtımı için aynı dayanım sınıfına ait kireçtaşı agregasıyla üretilmiş beton, bazik pomza agregasıyla üretilmiş beton ve asidik pomza agregasıyla üretilmiş betonlar arasında karşılaştırma yapmıştır. Bazik pomza agregasıyla üretilmiş betonların ses ve ısı yalıtım özellikleri bakımından diğer betonlara kıyasla daha üstün olduğunu belirlemiştir [77].

Yaşar ve Erdoğan (2008), yaptıkları çalışmada Nevşehir yöresinden çıkarılan pomza agregalarını kullanarak yapısal hafif beton ve briket karışımları tasarlamışlardır. Pomza agregalarını 6 farklı boyuta ayırmış ve pomza/portland çimentosu oranı 0,5 olacak şekilde beton karışımları hazırlamışlardır. Beton karışımlarından hafif beton numuneleri ve 4 farklı tipte briket üretmişlerdir. Çalışmada, üretilen numunelerin yoğunluk, termal

iletkenlik, basınç ve çekme dayanımları ile elastisite modüllerini deneysel yöntemlerle belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda hafif beton numunelerinde ve briket numunelerinde elde edilen sonuçların tatmin edici seviyede olduğunu ve Nevşehir yöresinden elde edilen, iyi bir ses ve ısı yalıtımı sağlayan, pomza agregalarının hem hafif beton hem de briket üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [78].

Mao ve Ayuta (2008), hafif agrega ve hafif betonların donma-çözülme dirençlerini araştırdıkları çalışmalarında farklı yoğunluklara sahip iki hafif agrega kullanarak iki seri hafif beton üretmişlerdir. Hafif agregaları ve hafif betonları günde 1 çevrim ve günde 6 çevrim olacak şekilde farklı donma hızlarında 300 çevrime kadar donma çözölmeye maruz bırakmışlardır. Her 50 çevrimde bir, agregalar üzerinde; yoğunluk, su emme, kütle kaybı, ezilme mukavemeti ve boşluk yapısı testleri gerçekleştirmişlerdir. Hafif betonlar üzerinde; kütle kaybı, dinamik elastisite modülü ve boy değişim ölçümleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda yüksek yoğunluğa sahip hafif agregaların ve yüksek yoğunluğa sahip hafif agregalarla üretilen hafif betonların hem hızlı donma-çözölme çevrimlerinde hem de yavaş donma çözölme çevrimlerinde daha olumlu sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Donma-çözölme sürecinde donma sürelerinin etkili bir parametre olduğunu ve gözenek hacmi düşük agregaların daha etkili performans sergilediğini belirtmişlerdir [79].

Gökçe ve Can (2009), farklı elek açıklıklarında ve su emme oranları oldukça yüksek olan hafif agregaları kullanarak taşıyıcı hafif beton üretimini hedefleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada pomza agregalarının 5 farklı zaman dilimindeki (5 dk., 10 dk., 60 dk., 1 gün ve 1 hafta) su emme miktarlarını belirlemiş ve karışıma eklenecek ilave su miktarını belirledikleri su emmelere göre düzenleyerek 700 doz çimentolu ve 0.41 su/çimento oranlı 5 seri taşıyıcı hafif beton numunesi üretmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde belirli fiziksel ve mekanik testler gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda referans serisi olarak düşünölen 1 günlük su emme miktarının ilave su olarak karışıma eklenmesiyle elde edilen seriye kıyasla 10 dakikalık su emme miktarının ilave su olarak karışıma eklenmesiyle elde edilen serinin basınç dayanımları ve yarmada çekme dayanımlarının %21, beton test çekici değöerlerinin %16 ve ultrases geçiş hızlarının %4 daha fazla, yüzeysel aşınma kaybının ise %3 daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara istinaden, su emme oranı yüksek olan agregalarla hazırlanacak beton karışımlarında ilave su miktarlarının betonun kalıba yerleştirilme sürecinde agreganın emeyeğı suya göre belirlenmesi gerektiğini ifade etmişlerdir [80].

Değirmenci ve Yılmaz (2011), hafif çimento harçlarında ince agregaya alternatif olarak granüle haldeki pomzanın kullanılabilirliğini değerlendirdikleri çalışmada, standart kum ile aynı granülometriye sahip asidik pomza agregaları hazırlamışlardır. Standart kum, granüle pomza ve çimento kullanarak iki çeşit çimento harcı üretmişlerdir. Üretilen harçların su emme, kuru birim ağırlık, basınç ve eğilme dayanımları, donma-çözülme dayanımları, yüksek sıcaklık dayanımları ve sülfat dayanımlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda granüle pomza ile üretilen harçların standart kum ile üretilen harçlara kıyasla basınç ve eğilme dayanımlarının düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak pomza agregası ile üretilen harçların daha hafif olduğunu ve donma-çözülme dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı ve sülfat dayanımı açısından daha etkili performans sergilediğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak granüle pomzanın taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan hafif harç üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [81].

Bideci (2011), çalışmasında Kayseri-Talas bölgesinden çıkarılan pomza agregalarını üç farklı polimer ile kaplamış ve bu agregaları kullanarak 300, 400 ve 500 doz çimentolu hafif beton numuneleri üretmiştir. Üretilen beton numuneleri ve agregalar üzerinde çeşitli deneyler gerçekleştirerek analizler yapmıştır. Çalışma neticesinde Kayseri-Talas bölgesinden elde edilen pomzanın asidik özellikte olduğunu belirlemiş. Agregalara polimer kaplanmasıyla özgül ağırlıklarında bir miktar artış olduğu ancak su emme oranlarında etkili bir düşüş olduğunu saptamıştır. Sonuç olarak agregalara polimer kaplanmasının su geçişini engellediği ve kaplı agregalarla hafif beton üretilme olanağını kanıtlamıştır [17].

Hossain vd. (2011), pomza bazlı ASTM Tip I katkı çimento ve çeşitli agregalar kullanarak hafif volkanik pomza beton geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, betonların fiziksel ve mekanik dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada normal ağırlığa sahip iri çakıl agregası hacmen %0, %50, %75 ve %100 oranlarında iri pomza agregası ile ikame edilerek, ince agrega ise hacmen %0 ve %100 oranlarında ince pomza ile ikame edilerek kullanılmış ve su/çimento oranı sabit 0.45 olan 16 seriye ek olarak su/çimento oranı 0.37 ile 0.64 arasında değişken olan 8 seri beton üretimi daha yapmışlardır. Deneysel veriler sonucunda pomza miktarının artmasıyla birlikte normal betona göre daha hafif, basınç dayanımı ve elastisite modülü daha düşük olan ancak literatürde geçen alt sınırın üzerinde dayanıma sahip taşıyıcı hafif betonlar elde etmişlerdir. Pomza içeriğinin artmasıyla kuruma büzülmelerinin arttığı ancak ara yüzeyde oluşan kaliteli matris agrega bölgesi nedeniyle geçirgenliğin azaldığını tespit

etmişlerdir. Bu çalışmayla birlikte hafif volkanik pomza betonun tatmin edici dayanım özellikleri sayesinde yapısal uygulamalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir [82].

Kaldı (2011), yaptığı çalışmada Kayseri pomzasını iri agrega yerine kullanarak LC20/22, LC25/28, LC30/33 dayanımlarında taşıyıcı hafif betonlar üretmiştir. Bunların yanı sıra C20/25, C25/30 ve C30/37 dayanım sınıflarında normal ağırlıklı betonlar üretmiştir. Üretmiş olduğu taşıyıcı hafif betonlar ve normal ağırlıklı betonlar arasında karşılaştırmalı olacak şekilde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrasonik ses geçirgenliği, sertleşmiş birim ağırlık, beton-donatı aderansı ve elastisite modülü değerlerini belirlemiştir. Daha sonrasında yüksek katlı bir binanın LC25/28 ve C25/30 dayanım sınıfındaki taşıyıcı sistemlerle analizini yapmıştır. Yapmış olduğu çalışmalar sonucunda taşıyıcı hafif betonlar için yoğunluğun artmasıyla basınç dayanımının, eğilme dayanımının, elastisite modülünün ve kopma kuvvetinin arttığını tespit etmiştir. Yapısal taşıyıcı sistemlerin taşıyıcı hafif beton olarak tercih edilmesi durumunda deprem yüklerinin %34 oranında, yapı maliyetinin ise %11,9 oranında azaldığını belirlemiştir [83].

Akkaş (2011), Isparta yöresinden elde edilen normal agregalar ve pomza agregaları ile yapmış olduğu çalışmasında değişken agrega oranlarına ve çimento dozajlarına sahip biri hafif beton, ikisi taşıyıcı hafif beton olmak üzere 3 seri beton üretimi gerçekleştirmiştir. Hafif beton üretiminde sadece pomza agregası kullanırken taşıyıcı hafif betonların üretiminde doğal agrega, pomza agregası ve silis dumanı kullanmıştır. Üretmiş olduğu betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirme yapmıştır. Bunlara ek olarak (15*25*230 cm) boyutlarında betonarme kirişler üreterek yük etkisi altındaki davranışlarını analiz etmiş ve taşıyıcılık özelliklerini ele almıştır. Çalışma sonucunda pomza agregasıyla üretmiş olduğu taşıyıcı betonların taşıyıcılık özelliği açısından standartlara uygun olduğunu ve taşıyıcı elemanlarda kullanılabileceğini belirlemiştir [84].

Bideci (2013), yapmış olduğu çalışmasında pomza agregalarını çimento ve ikameli olarak (%0, %7,5, %12,5, %17,5) kolemanit ile hazırladığı karışım ile kaplamış ve elde ettiği agregalarla beton numuneler üreterek deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda pomza agregalarının kaplanmasıyla agregalarda basınç dayanımının arttığı, su emme miktarının azaldığını ifade etmiştir. Ayrıca agrega kaplama işlemiyle betonda ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, sülfat dayanımı, hızlı klor geçirimsizliği ve basınç altında su işleme özelliklerinin de iyileştiğini belirtmiştir. Genelde, %12,5 oranında kolemanit içeren karışımla kaplanmış agregalarla üretilen betonların, basınç altında su

işleme ile hızlı klor geçirimsizliğinin olumsuz etkilendiğini; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve sülfat dayanımlarının ise olumlu etkilendiğini tespit etmiştir [85].

Esmailzadeh (2013), mineral katkılı hafif betonlara sülfat etkisi konulu çalışmasında agrega olarak pomza, bağlayıcı olarak ise çimento, çimentoya ilave olarak ise %15 ile %30 oranında uçucu kül ve silis dumanı kullanarak hafif beton numuneleri üretmiştir. Üretmiş olduğu numuneleri kütlece %5 ile %10 oranlarında sodyum sülfat çözeltisinde ve standart kür havuzunda beklettikten sonra numunelerin belli zamanlardaki (28, 56 ve 120 günlük) basınç dayanımlarını, birim ağırlıklarını, kılcal yolla su emme oranlarını ve ultrases geçiş hızlarını tespit etmiştir. Çalışma sonucunda standart küre bırakılan betonlar arasındaki en yüksek dayanımı %15 oranında silis dumanı ilave edilen seride, en düşük dayanımı ise %30 uçucu kül ilave edilen seride görmüştür. Sülfat etkisine maruz bırakılan numunelere baktığında, mineral ilave edilen numunelerin başlarda dayanım kazanmaya devam ettiği ancak 56. günden sonra dayanımlarında önemli bir değişiklik olmadığını belirtmiştir. Ayrıca herhangi bir mineral ilave edilmeyen numunelerin sülfat etkisi altında ciddi bir dayanım kaybı yaşadığını ve mineral katkıların bu konuda oldukça önem arz ettiğini ifade etmiştir [86].

Öztürk (2013), polimerle modifiye edilmiş hafif betonların özellikleri konusunda yapmış olduğu çalışmasında pomza agregasıyla birlikte 400 ve 500 kg/m³ dozaj çimento içeren 12 farklı seri beton üretmiştir. Beton üretiminde su/çimento oranını (0.35) sabit tutmuş ve çimentoya %0, %5 ve %10'u oranlarında styrene-butadiene lateks (SBR) ile %0 ve %20 oranlarında uçucu kül ilave etmiştir. Üretilen betonların eğilme, basınç ve aşınma dayanımlarını belirlemiş, su emme ve kılcal su emme oranlarını tespit etmiştir. Çalışma sonucunda, SBR lateks kullanımının betonun eğilme dayanımında belirgin bir etkisinin olmadığını ancak %10 oranında kullanımıyla basınç dayanımının azaldığını belirlemiştir. Ayrıca SBR lateks kullanımının su emme, kılcal su emme ve aşınma dayanımına olumlu etki ettiğini tespit etmiştir [65].

Nguyen vd. (2014), hafif agregalı betonun termal ve mekanik özelliklerini inceledikleri çalışmada, üç farklı bölgeden temin ettikleri genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şeyl ve pomza agregalarından ince ve iri olacak şekilde toplam 7 çeşit agrega ve ince normal ağırlıklı agrega arasından farklı kombinasyonlar kurarak 12 seri hafif beton dökümü gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üretilen hafif agregalı betonların LC20/22 ile LC40/44 arasındaki basınç dayanım sınıflarına ait oldukları ve ısı iletkenliklerinin 0.43 ile 0.73 W/mK arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Hafif betonun yoğunluğunun azalmasıyla

birlikte ısı performansın arttığını ancak mekanik dayanımın azaldığını ve mekanik dayanımdaki azalmaya ince agregalardan çok iri agregaların sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Deneysel veriler analiz edildiğinde, hafif betonun termal ve mekanik özelliklerinin hafif agreganın betonda kapladığı hacim, çıkarıldığı bölge ve kalitesi ile doğrudan bağlantılı olduğunu belirtmişlerdir [87].

Gençel vd. (2015), yapmış oldukları çalışmada pomza ve kırmataş agregaları ile polimer beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri betonların içerisine farklı boyutlarda ve farklı oranlarda çelik lif ilave etmişlerdir. Betonlar üzerinde çeşitli mekanik ve fiziksel deneyler yapmışlardır. Deneysel çalışmalar sonucunda, pomza ile üretilen hafif polimer betonların çimento esaslı hafif betonlara kıyasla daha yüksek dayanım, daha düşük ağırlık ve daha üstün ısı yalıtım özelliklerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çelik lif ilavesiyle birlikte elde edilen betonların hem basınç hem de eğilme dayanımlarında dikkate değer bir artış tespit etmişlerdir [88].

Öz vd. (2016), bazik pomza kullanımının kendiliğinden yerleşen betonların donma-çözülme direncine etkisini araştırdıkları çalışmalarında, bazik pomza agregalarını kırmataş agregaları ile %0, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında değiştirerek beton numuneleri üretmişlerdir. 300 çevrimlik donma-çözülmenin beton numuneleri üzerinde etkisini incelemişlerdir. Her 50 donma-çözülme çevriminden sonra beton numunelerinin ultrases geçiş hızları, kütle kayıpları ve bağıl dinamik elastisite modüllerini hesaplamışlardır. 300 çevrim donma-çözülmenin tamamlanmasıyla birlikte beton numunelerin basınç dayanımlarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda %20'ye kadar bazik pomza kullanımının kendiliğinden yerleşen betonlarda donma-çözülme direncini arttırdığını belirtmişlerdir [89].

Taşdemir vd. (2017), farklı hafif agregalarla üretilen hafif betonların özelliklerini inceledikleri çalışmada, pomza ve genleştirilmiş polistiren kullanılarak hafif beton numuneleri üretmişlerdir. Üretilen numunelerin kuru birim ağırlıkları, termal iletkenlikleri, basınç dayanımları ve elastisite modüllerini deneysel metotlarla belirlemiş, perlitli betonların ve gazbetonların ilgili özelliklerini ise önceki çalışmalardan referans alarak verileri genel bir karşılaştırmayla ele almış ve hafif agregaların hafif betonun özelliklerine etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, hafif agrega kullanımıyla betonun kuru birim ağırlığının ve termal iletkenliğin azaldığını belirlemişlerdir. Özellikle birim ağırlık ile ayrı ayrı olmak üzere termal iletkenlik, basınç dayanımı ve elastisite modülü arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir [90].

Moodi vd. (2018), yaptıkları çalışmada polyester ve epoksi reçineleriyle üretilen polimer betonlar ile SBR ve epoksi lateksleriyle üretilen lateks modifiye betonların farklı yaşlardaki dayanım özelliklerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, polimer betonlar agrega ağırlığının %10 ve %20'si kadar polyester ve %10'u kadar epoksi kullanılarak üretilmiştir. Lateks modifiye betonlar ise çimentoya ağırlıkça %15 ve %25 oranlarında SBR ve %25 oranında epoksi ilave edilmesiyle üretilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda polimer malzeme konusunda uygun tür ve optimum oranların sağlanması durumunda hem polimer betonların hem de lateks modifiye betonların normal betona göre daha yüksek basınç, çekme ve eğilme dayanımına sahip olduğunu, donma-çözülme dirençlerinin daha yüksek olduğunu ve geçirgenliklerinin minimum düzeyde olduğunu belirlemişlerdir [91].

Şanlıtürk (2019), çalışmasında kaplamalı ve kaplamasız genişletilmiş perlit agregalarını rilem kumu ile %0, %20, %40, %60, %80 oranlarında yer değiştirmiş ve su/çimento oranını 0,6 sabit tutarak harçlar üretmiştir. Üretmiş olduğu harç ve numuneler üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Elde ettiği veriler ışığında, genişletilmiş perlit kullanımıyla harç numunelerinin ağırlıklarının azaldığını, fiziksel ve mekanik özelliklerinin de değişime uğradığını tespit etmiştir. Kaplanmış veya kaplanmamış perlit kullanımıyla harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımlarında azalma olduğunu ancak ısı iletim özelliklerinde artış olduğunu belirtmiştir. Ayrıca kaplanmış perlit agregası içeren harçların su emme oranlarının ve ısı iletimlerinin kaplanmamış perlit agregası içeren harçlarınkine göre daha düşük olduğunu belirlemiştir [92].

Çelik (2019), polyester ile kapladığı pomza agregaları ile ürettiği hafif betonların özelliklerini incelediği çalışmasında, polyester kaplı agregalarla üretilen betonların kontrol betonuna kıyasla su emme miktarının azaldığını, yarmada çekme dayanımlarının ve sülfat dayanımlarının arttığını belirtmiştir. Çalışma neticesinde polyester kaplı pomza agregalarıyla taşıyıcı hafif betonların üretilebileceği sonucuna varmıştır [93].

Nayır (2021), pomza ve perlit agregalarıyla birlikte çimentoya ikame olarak uçucu kül ve metakaolin kullanarak taşıyıcı hafif beton numuneleri üretmiştir. Bunlara ilaveten normal ağırlıklı beton numuneleri de üretmiş ve bu beton numunelerini enerji performansları açısından karşılaştırmaya yönelik laboratuvar çalışmaları yapmıştır. Örnek bir daire için normal ağırlıklı beton ve taşıyıcı hafif betonun enerji verimlilikleri ve enerji performanslarını değerlendirmiştir. Elde ettiği veriler doğrultusunda, mineral katkıların taşıyıcı hafif betonun durabilite özelliklerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Taşıyıcı hafif betonların normal ağırlıklı betona göre örnek bir daire için yılda

%23 ile %30 arasında enerji tasarrufu sağladığını tespit etmiştir [27].

Shafiq vd. (2021), hafif betonların mekanik davranışları üzerine yaptıkları çalışmada normal ağırlıklı agrega ve iri agrega olarak pomza taşı kullanarak hafif beton üretmişlerdir. Ürettikleri betonların taze halde çökme sertleşmiş halde ise birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve sülfat dayanımlarını test etmiş ve karşılaştırma usulüyle değerlendirme yapmışlardır. Çalışma sonucunda hafif agrega kullanımıyla çökme değerinin azaldığını belirlemişlerdir. Hafif agregalarla üretilen betonun basınç ve çekme dayanımının normal ağırlıklı betona kıyasla daha düşük olduğu, ayrıca hafif agrega içeren betonun sülfatlar karşı daha düşük direnç gösterdiğini tespit etmişlerdir [94].

Vahabi vd. (2021), kaplanmış agregalarla üretilen hafif betonların mekanik ve mikroyapı özelliklerini inceledikleri çalışmada hafif agregaları, hidroforik polimerler olan polivinil asetat ve stiren bütadien lateks ile tek ve çift kat olacak şekilde kaplamış ve hafif betonlar üretmişlerdir. Taze betonlar için akışkanlık, sertleşmiş betonlar için ise dayanım deneyleri ve mikroyapı analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, polimer kaplama işlemiyle agregalarda su emiliminin %90'a kadar azaldığını tespit etmişlerdir. Kaplanmış hafif agregalarla hazırlanan karışımların akışkanlıklarının kontrol karışımına kıyasla % 10'a kadar arttığını ve polimer katmanlarının artmasıyla akışkanlığın da arttığını gözlemlemişlerdir. Kaplanmış agregalarla üretilen betonların basınç ve çekme dayanımlarında önemli bir artış olduğunu belirlemişlerdir. Mikroyapısal analizleri sonucunda kontrol numunelerinde gözenekli ve zayıf bir geçiş bölgesi bulunurken, kaplanmış agregalı betonlarda üniform ve yoğun bir arayüzey bölgesi bulunduğu belirtilmiştir [95].

Göncüoğlu (2022), dört farklı su/bağlayıcı oranına sahip çimento hamuru ile pomza agregalarına kaplama yapmıştır. Kaplama yapmış olduğu agregaların fiziksel ve mekanik analizlerini gerçekleştirerek taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanmıştır. Üretilen betonların basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modüllerini deneysel olarak belirlemiştir. Elde ettiği veriler doğrultusunda, çimento hamuruyla kaplanan pomza agregaları kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif betonların tüm değerlerinde artış olduğunu tespit etmiş ve çimento hamuruyla kaplanmış pomza agregalarının taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabileceğini belirlemiştir [96].

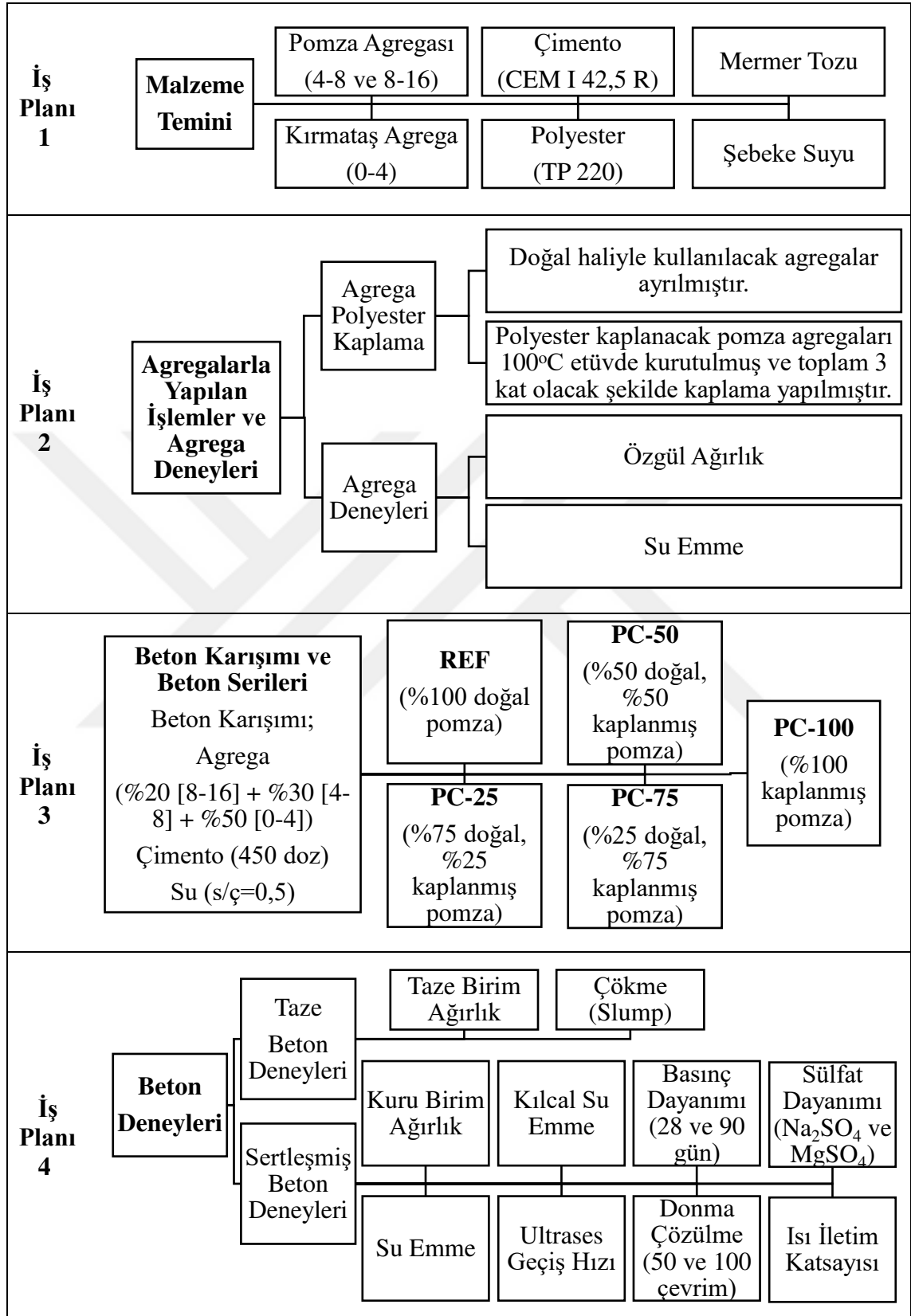
Bu çalışmanın amacı, doğal hafif agregalardan olan pomza agregasının yüksek su emme

özelliğini polyester kaplamayla azaltarak yeni bir hafif agrega üretimi sağlamak ve polyester kaplanmış agregalarla taşıyıcı hafif beton üreterek beton endüstrisine kazanım sağlamaktır. Yapılan çalışmayla pomza ve polyesterin kullanım alanını genişletmek, su emme oranı düşük, durabilitesi yüksek yeni bir taşıyıcı hafif beton üretmek hedeflenmiştir.

Çalışmada, tane boyutu 4 mm ile 16 mm arasında olan pomza agregaları bir polimer çeşidi olan polyester ile kaplanarak polyester kaplı agregalar hazırlanmış ve tane boyutu 4 mm ile 16 mm arasında olan polyester kaplı agregalarla birlikte tane boyutu 0 mm ile 4 mm arasında olan kırmataş agregası kullanılarak 450 doz CEM I 42,5 R çimentolu 5 farklı seri taşıyıcı hafif beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen taze betonların birim hacim ağırlıkları ve çökme miktarları tespit edilmiş, sertleşmiş beton numunelerinin ise kuru birim hacim ağırlık, su emme, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı (28 ve 90 gün), sülfatlara direnç (hızlandırılmış), donma-çözülme direnci (50 ve 100 çevrim) ve ısı iletim katsayıları deneysel metotlarla belirlenmiştir.

2. MATERİYAL VE METOT

Yapılan tez çalışması 4 farklı iş planı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. İş planı 1’de çalışma kapsamında kullanılacak malzemelerin temini yapılmıştır. İş planı 2’de agrega kaplama işlemleri ve agrega deneyleri gerçekleştirilmiştir. İş planı 3’te üretilecek beton serilerine ait karışım oranları belirlenmiş ve beton numuneleri üretilmiştir. İş planı 4’te betonlar üzerinde planlanan deneyler yapılmıştır. Çalışmanın uygulama sürecine ait, deney akış şeması (iş planları) Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney akış şeması (iş planları)

2.1. MATERYAL

2.1.1. Agregalar

Bu araştırmada iri agregalar olarak 4-8 mm ve 8-16 mm elek aralıklarındaki polyester kaplanmış ve kaplanmamış pomza ile ince agregalar olarak 0-4 mm elek aralığındaki doğal kırmataş kum kullanılmıştır.

2.1.1.1. Doğal Kırmataş Kum

Beton karışımlarında 0-4 mm'lik ince agregalar olarak doğal kırmataş kum kullanılmıştır. Doğal kırmataş kumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Doğal kırmataş kumun fiziksel özellikleri

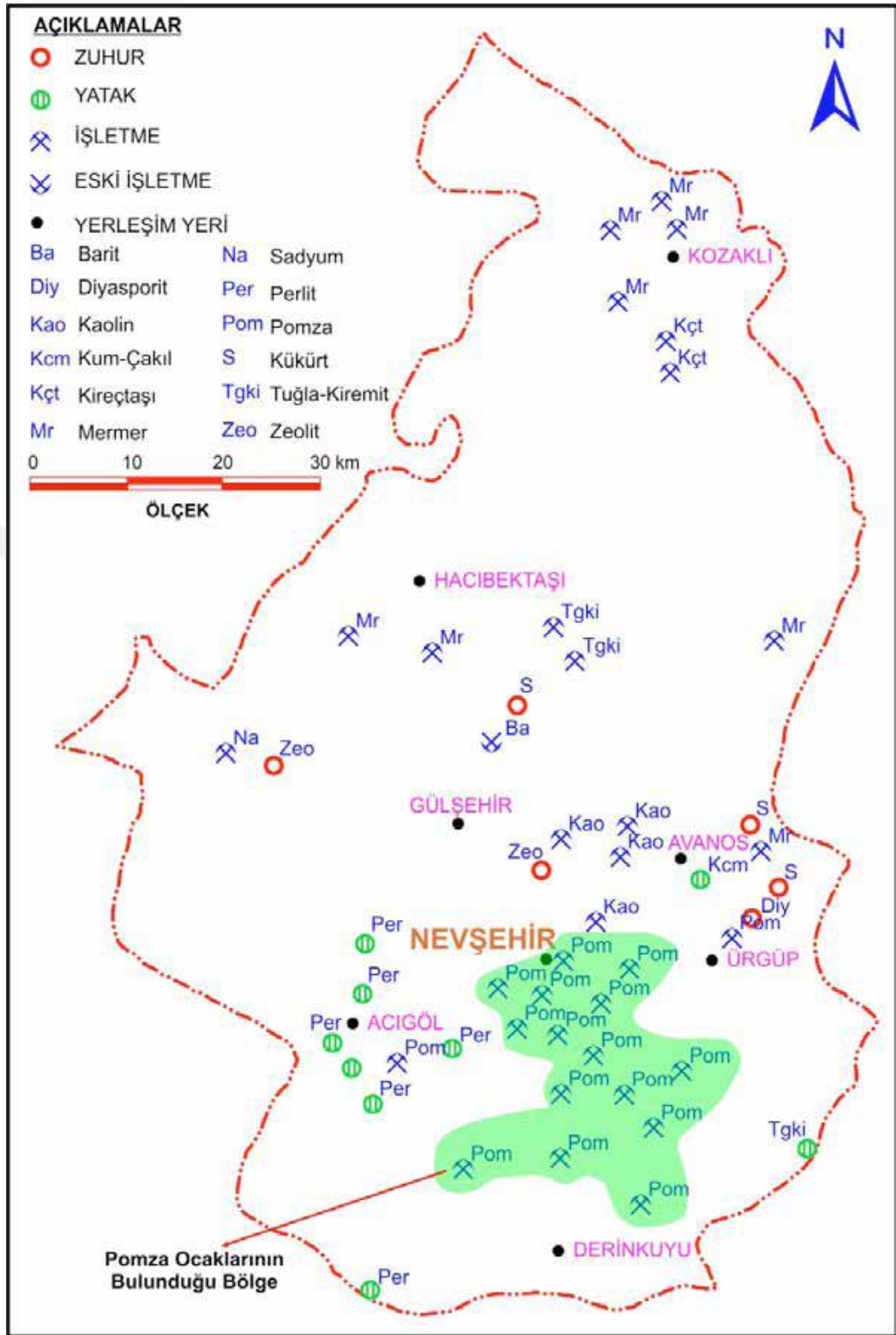
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2,65
Su Emme (%)	1,60

2.1.1.2. Kaplanmamış Pomza Agregaları

Çalışmada, Nevşehir ili Merkez ilçesine bağlı Çardak köyünde bulunan Blok Bims Entegre Tesislerinden temin edilen pomza agregaları kullanılmıştır (Şekil 2.2). Nevşehir iline ait pomza ocaklarının dağılımı ve maden haritası Şekil 2.3'te verilmiştir [14]. MTA tarafından yapılan çalışmalarda, Türkiye'de bulunan pomza sahaları arasında en üstün kalite ve en fazla kullanım alanına sahip pomza sahaları Nevşehir ilinde bulunmaktadır. İlgili çalışmalarda, Çardak köyündeki pomzanın iyi kalitede olduğu ve bölgede 82.612.500 m³ görünür rezerv, 87.592.000 m³ muhtemel rezerv, 68.445.000 m³ mümkün rezerv bulunduğu belirtilmiştir [97].



Şekil 2.2. Polyester kaplanmamış pomza agregaları



Şekil 2.3. Nevşehir ili pomza ocaklarının dağılımı ve maden haritası

Blok Bims Entegre Tesislerinden temin edilen ve 4-8 mm ile 8- 16 mm elek aralıklarında ayrılarak kullanılan pomza agregalarının kimyasal özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir [98].

Çizelge 2.2. Pomza agregalarının kimyasal özellikleri

Bileşenler	Oran (%)
SiO ₂	74,10
Al ₂ O ₃	13,45
Fe ₂ O ₃	1,40
K ₂ O	4,15
Na ₂ O	3,70
CaO	1,15
MgO	0,35
SO ₃	-
Kızdırma Kaybı	1,55

2.1.1.3. Polyester Kaplanmış Pomza Agregaları

Çalışmada, 4-8 mm ile 8-16 mm elek aralıklarında ayrılan pomza agregaları polyester ile kaplanarak kullanılmıştır (Şekil 2.4). Polyester kaplama uygulaması hakkında detaylı bilgi 2.1.6’da verilmiştir.



Şekil 2.4. Polyester kaplanmış pomza agregaları

2.1.2. Çimento

Yapılan çalışmada Çimsa Afyon Çimento Fabrikası’nda TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretimi yapılan CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır [99]. Çimentonun kimyasal içeriği Çizelge 2.3’te, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.4’te verilmiştir [100].

Çizelge 2.3. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal içeriği

Bileşenler	Kimyasal İçerik (%)	TS EN 197-1 Limitleri
CaO	62,0 - 64,0	C+S ≥ %50
SiO ₂	18,5 - 19,5	
Al ₂ O ₃	4,6 - 5,1	-
Fe ₂ O ₃	2,7 - 3,8	-
MgO	1,5 - 2,5	-
SO ₃	2,7 - 3,2	≤ %4
Na ₂ O	0,2- 0,3	-
K ₂ O	0,8 - 1,0	-
Klorür (Cl ⁻)	0,02 - 0,05	≤ %0,1
Çözünmeyen Kalıntı	0,3 - 0,4	≤ %5
Kızdırma Kaybı	2,5 - 4,0	≤ %5

Çizelge 2.4. CEM I 42.5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellikler	Değerler	TS EN 197-1 Limitleri
Özgül Ağırlık	3,13 g/cm ³	
Özgül Yüzey (Blaine)	3600 - 4000 cm ² /g	
Priz Başlangıcı	140 - 180 dakika	Min. 60 dakika
Priz Sonu	210 - 270 dakika	
Hacim Sabitliği (Le Chatelier)	1,0 mm	Maks. 10 mm
0,045 mm Elekte Kalan	%1,2 - 2	
2 Günlük Basınç Dayanımı	29 - 33 MPa	Min. 20 MPa
28 Günlük Basınç Dayanımı	53 - 57 MPa	42,5 - 62,5 MPa

2.1.3. Su

Beton üretiminde ve bakımında kullanılan su, temiz olmalı. Ayrıca içeriğinde kil, silt, asit, klorür, organik maddeler, sülfat yağı ve endüstriyel atıklar gibi taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine olumsuz etki edebilecek maddeler bulunmamalıdır [1]. Araştırmada Düzce şehir içme suyu şebekesinden temin edilen su kullanılmıştır.

2.1.4. Polyester

Agrega kaplama uygulamasında kullanılan polyester, içeriğinde hızlandırıcı bulundurmayan, düşük reaktif özellikte ve düşük viskoziteye sahip, ortoftalik esaslı, doymamış bir polyester reçinedir. Kritik olmayan genel amaçlı uygulamalar için üretilmiş

ve püskürtme uygulamalarına uygundur. Polyesterin teknik özellikleri Çizelge 2.5'te verilmiştir [101].

Çizelge 2.5. Polyesterin teknik özellikleri

Özellikler	Metot	Standart Değer
Yoğunluk	ISO 1675	$1,16 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$
Asit Değeri	ISO 2114	$< 25 \text{ mg KOH/g}$
Vizkozite Brookfield	ISO 2555	350 - 500 cp
Pik Derecesi	ISO 2535	165 – 175 °C
Monomer Oranı	ISO 3251	% 31 - 36
Çekme Dayanımı	ISO 527	68 MPa
Kopmadaki Uzama	ISO 527	% 2,70
Çekme Modülü	ISO 527	2700 MPa
Eğilme Dayanımı	ISO 178	110 MPa
Eğilme Modülü	ISO 178	2800 MPa
Barcol Sertliği	ASTM D2583	40

2.1.5. Mermer Tozu

Mermer işletmelerinde oluşan atık mermer tozu, farklı sanayi alanlarında katkı veya dolgu malzemesi olarak kullanılabilir [17]. Araştırmada, agrega yüzeylerine polyester kaplandıktan sonra agregaların birbirlerine yapışmasını önlemek, agregaların birbirinden ayrılmasını sağlamak ve agrega yüzeylerinde pürüz elde etmek amacıyla piyasadan temin edilen mermer tozu kullanılmıştır.

2.1.6. Polyester Kaplanmış Pomza Agregaları

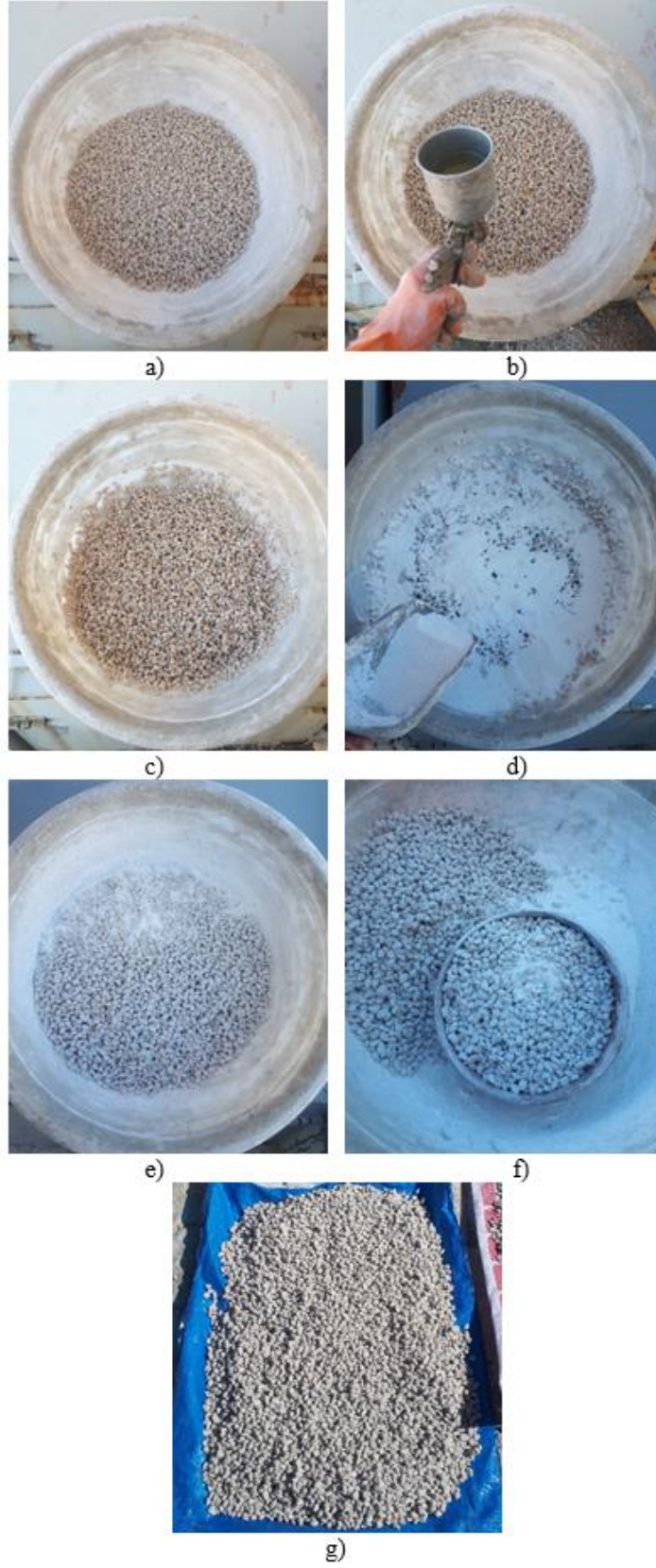
Polyester kaplanarak beton karışımlarında kullanılacak pomza agregaları 4-8 mm ve 8-16 mm tane boyutlarında ayrılmış ve polyester kaplama işlemi için 100 °C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Polyester kaplama işlemi, 6-8 bar hava basıncı oluşturan kompresör ile ağız çapı 0,8-2,8 mm olan üstten hazneli boya tabancası kullanılarak püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kaplama işleminde 40 cm çap ve 25 cm derinliğe sahip plastik kaplar kullanılmıştır. Polyesterin yoğun kıvamından dolayı boya tabancasıyla püskürtmede kolaylık sağlamak amacıyla polyester ağırlıkça %6 oranında selülozik tiner ile inceltilmiştir.

Pomza agregalarının polyester kaplaması 3 kat olacak şekilde aşağıda belirtilen işlem

sırasına göre gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5).

- Kaplama işlemi uygulanacak agregalar 4-8 mm ile 8-16 mm tane boyutlarında ayrılmış ve kurutma amacıyla 100 °C etüvde 24 saat boyunca bekletilmiştir.
- Kaplama sürecinde bir kerede yaklaşık 2,5 kg agrega alınmış ve kaba konulmuştur. (a)
- Boya tabancası kabın yaklaşık 20 cm üzerinden tutulacak şekilde polyester püskürtme işlemi yapılmıştır. (b)
- Agregaya yüzeylerinin polyester ile kaplandığı görüldüğünde kap el ile sarsılarak agregaların karışması sağlanmıştır. Bu işlem, tüm agrega yüzeylerinin kaplanması amacıyla birkaç kez tekrarlanmıştır. (c)
- Tüm agrega yüzeylerinin polyester ile kaplanmasının ardından, agregaların birbirine yapışmasını önlemek ve agrega yüzeylerinde pürüz oluşturmak amacıyla kap içerisine mermer tozu serpilmiştir. (d)
- Mermer tozunun agregalar arasında dağılmasını sağlamak amacıyla kap el ile sarsılmış ve fazla mermer tozu elek yardımıyla elenmiştir. Her bir kaplama işlemi için yaklaşık 750 g mermer tozu kullanılmıştır. (e-f)
- Polyester ile kaplanan ve mermer tozu ile birbirinden ayrılan agregalar, bir yüzeye serilerek kurumaya bırakılmıştır. (g)
- Agregaya yüzeylerine kaplanan polyester tabakalarının kuruma süresi değişiklik göstermiştir. Birinci kat kaplamanın ardından 48 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır.
- İkinci kat kaplama için aynı işlemler tekrarlanmış ve agregalar 72 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır.
- Üçüncü kat kaplama için yine aynı işlemler tekrarlanmış ve agregalar en az 96 saat boyunca kurumaya bırakıldıktan sonra kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Pomza agregalarını polyester kaplama işlemleri (a-g)

2.2. METOT

Bu bölümde, hafif beton karışım hesabı, polyester kaplanmış ve kaplanmamış agregalar deneyleri, taze ve sertleşmiş beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerden bahsedilmiştir.

2.2.1. Hafif Beton Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada; polyester kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları kullanılarak 450 dozlu hafif beton numune serileri hazırlanmıştır. Hafif beton karışım hesapları TS 2511 standardına uygun olarak yapılmıştır [20]. Çalışmada, agreganın toplam hacmindeki 0-4 mm tane boyutlarına sahip kum oranı %50, 4-8 mm tane boyutlarına sahip agregalar oranı %30 ve 8-16 mm tane boyutlarına sahip agregalar oranı %20 olarak belirlenmiştir. Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları birbirleri ile hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirmeli olarak kullanılmıştır. Beton serilerinin isimlendirilmesinde içeriğindeki pomza agregalarının tamamı kaplanmamış olan beton serisi REF olarak isimlendirilmiş, diğer seriler ise içeriğindeki kaplanmış pomza (PC) oranına göre isimlendirilmiştir. Hafif beton serilerine ait karışım oranları Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Hafif beton karışım oranları (kg/m³)

Seri Adı	Agrega (Tane Boyutları)					Çimento	Su
	0-4	4-8		8-16			
		Kaplanmış	Kaplanmamış	Kaplanmış	Kaplanmamış		
REF	834,54	0,00	175,73	0,00	114,63	450	225
PC-25	834,54	63,77	131,79	37,16	85,97	450	225
PC-50	834,54	127,54	87,86	74,32	57,32	450	225
PC-75	834,54	191,31	43,93	111,48	28,66	450	225
PC-100	834,54	255,08	0,00	148,64	0,00	450	225

Beton karışımları için 10 litre hacme sahip yatay eksenli laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Beton karıştırma işlemi; iri ve ince agregalar mikser konularak 1 dakika, çimento eklendikten sonra 1 dakika, karışım suyunun yaklaşık %70'i karışıma ilave edildikten sonra 3 dakika ve kalan su karışıma ilave edildikten sonra 3 dakika olmak üzere toplam 8 dakika karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan mikser

Şekil 2.6’da verilmiştir. Taze beton homojenliğini kaybetmemesi ve segregasyona uğramaması amacıyla dikkatlice, iki aşamalı olarak kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirme işleminde her aşamada ayrı ayrı olmak üzere toplam 40 saniye boyunca vibrasyon makinesinde titreşim uygulanarak sıkışma sağlanmıştır. Numuneler priz alıp sertleşmesi için 20°C sıcaklık ve %70 nem oranına sahip laboratuvar ortamında nemli bez ile üzerleri örtülerek 24 saat bekletilmiştir. Prizini alan numuneler kalıptan çıkarılmış ve sıcaklığı $20\pm 2^\circ\text{C}$ olan kür havuzuna bırakılmıştır.



Şekil 2.6. Beton karıştırma işleminde kullanılan mikser

2.2.2. Agregada Deneyleri

2.2.2.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Agregaların özgül ağırlıkları TS EN 1097-6 standardında belirtilen, agregada tane yoğunluğu ölçme yöntemlerinden piknometre metodu ile belirlenmiştir [102]. İlgili standarda uygun olarak alınan agregada deney numuneleri 24 saat suda bekletilmiş ve piknometre içerisine aktarılmıştır. Piknometre su ile doldurularak içerisinde hava boşluğu kalmaması için hafifçe sallanmıştır. Piknometrenin su ve agregada dolu ağırlığı ile sadece su dolu ağırlığı belirlenmiştir. Ardından agregalar kuru bez üzerine serilerek doymuş yüzeyi kuru hale getirilmiş ve tartılmıştır. Suyu doymuş haldeki agregalar $100\pm 5^\circ\text{C}$ etüvde 24 saat kurutulmuş ve tekrar tartılmıştır. Tüm bu işlemler sonrasında agregaların

etüv kurusu haldeki özgül ağırlıkları Eşitlik 2.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2.1)$$

Burada;

δ : Özgül ağırlık (g/cm³)

M₁: Agreganın doygun yüzeyi kuru ağırlığı (g)

M₂: Piknometrenin su ve agregası dolu ağırlığı (g)

M₃: Piknometrenin sadece su dolu ağırlığı (g)

M₄: Agreganın etüvde kurutulmuş ağırlığı (g)

2.2.2.2. Su Emme Deneyi

Kaplanmış ve kaplanmamış agregaların su emme oranlarının tayini TS EN 1097-6 standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir [102]. Agregalar su emme deneyi için 24 saat süresince bekletilmek üzere suya bırakılmıştır. Sudan çıkarılan agregalar kuru bir beze serilerek yüzeyleri kurulanmış ve doygun yüzeyi kuru haline getirilmiştir. Doygun ve yüzeyi kuru durumdaki agregaların ağırlıkları tartılmış ve 100 ± 5°C sıcaklığındaki etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Kurutulan agregaların ağırlığı tartılmış ve Eşitlik 2.2'ye göre su emme oranları belirlenmiştir.

$$W(\%) = \frac{(M_{dyk} - M_0)}{M_0} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada;

W: Agreganın su emme oranı (%)

M_{dyk}: Agreganın doygun yüzeyi kuru ağırlığı (g)

M₀: Agreganın etüv kurusu ağırlığı (g)

2.2.3. Taze Beton Deneyleri

2.2.3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze betonda işlenebilirliği belirleyebilmek amacıyla TS EN 12350-2 standardına uygun olarak çökme deneyi gerçekleştirilmiştir [103]. Deney, laboratuvar ortamında yüksekliği 300 mm, alt ve üst çapı sırasıyla 100 ve 200 mm olan standart çökme hunisi kullanılarak yapılmıştır. Çökme hunisi temiz bir tablaya konulmuş ve taze beton üç eşit tabaka halinde

25'er kez şişlenerek huni içerisine doldurulmuştur. Tamamen betonla doldurulan huninin üst kısmı mala ile düzlenmiş ve huni sarsıntı oluşturmada yavaş bir şekilde kaldırılarak betonun kendi ağırlığıyla çökmesi sağlanmıştır. Huni yayılan betonun yanına konulmuş ve huni ile yayılan beton arasındaki mesafe ölçülerek çökme miktarları belirlenmiştir. Deneyin gerçekleştirilmesine ait görsel Şekil 2.7'de ve TS EN 206+A2'ye göre çökme sınıfları Çizelge 2.7'de verilmiştir [21].



Şekil 2.7. Çökme deneyinin gerçekleştirilmesi

Çizelge 2.7. Taze betonun çökme sınıfları

Çökme Sınıfları	Çökme Aralıkları (mm)
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5	≥ 220

2.2.3.2. Birim Ağırlık Deneyi

Taze betonda birim ağırlık deneyi TS EN 12350-6 standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir [104]. Taze beton hacmi ve kütlesi bilinen kalıplara her tabakada 25 kez şişleme yapılacak şekilde üç tabakada yerleştirilmiştir. Kalıplar boşluk kalmaması ve sıkışmanın tam olarak sağlanması için 10 kez hafifçe tokmaklanmıştır. Kalıpların üzeri düzlenmiş ve etrafında beton kalmaması için temizlenmiştir. Beton dolu

kalıplar tartılmış ve Eşitlik 2.3'e göre taze betonun birim ağırlığı hesaplanmıştır.

$$D = \frac{m_1 - m_0}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.3)$$

Burada;

D: Taze betonun birim ağırlığı (kg/m³)

m₀: Boş kalıbın kütlesi (kg)

m₁: Beton dolu kalıbın kütlesi (kg)

V: Kalıbın hacmi (m³)

2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık

Betonda kuru birim ağırlık deneyi 100x100x100 mm boyutlarında küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-7 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [105]. Her beton serisi için üç adet olmak üzere toplam 15 beton numunesi üretilmiş ve 24 saat su küründe bekletilmiştir. Su küründen çıkarılan numuneler 105±5 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat boyunca bekletilerek kurutulmuştur (Şekil 2.8). Etüv kurusu haline gelen numuneler hassas terazide tartılmış ve kumpas ile boyutları belirlenmiştir (Şekil 2.9). Boyutları ve ağırlıkları belirlenen numunelerin kuru birim ağırlıkları Eşitlik 2.4'e göre hesaplanmıştır.

$$S_k = \frac{W}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.4)$$

Burada;

S_k: Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı (kg/m³)

W: Sertleşmiş beton numunesinin etüv kurusu ağırlığı (kg)

V: Sertleşmiş beton numunesinin hacmi (m³)



Şekil 2.8. Beton numunelerinin etüvde kurutulması



Şekil 2.9. Beton numunelerinin tartılması ve boyutlarının ölçülmesi

2.2.4.2. Su Emme

Sertleşmiş betonun su emme oranı TS EN 12390-7 standardı gereğince belirlenmiştir [105]. Beton numuneler 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde 24 saat kurutulmuş ve kurutulan numunelerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat boyunca suda bekletilmiş ve doymun hale ulaşması sağlanmıştır. Suyu doymun durumdaki numunelerin yüzeyleri bezle kurulanmış ve doymun kuru yüzeye sahip numunelerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Betonun su emme oranı Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W (\%) = \frac{W_{dyk} - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2.5)$$

Burada;

W: Beton numunesinin ağırlıkça su emme oranı (%)

W_{dyk} : Beton numunesinin doymun yüzeyi kuru ağırlığı (g)

W_0 : Beton numunesinin etüv kurusu ağırlığı (g)

2.2.4.3. Basınç Dayanımı

Beton numunelerinin basınç dayanımları TS EN 12390-3 standardına uygun olarak tespit edilmiştir [106]. Beton serileri için 15 tanesi 28 gün, 15 tanesi 90 gün boyunca suda kürlenecek şekilde toplam 30 tane 100x100x100 mm boyutlarında küp numune üretilmiştir. Basınç dayanımı deneyi 2000 KN yük kapasitesine sahip, yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli hidrolik pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.10). Beton numunelerinin 28 ve 90 günlük basınç mukavemetleri Eşitlik 2.8'e göre hesaplanmıştır. Basınç dayanımı deneyinde kullanılan numune örnekleri Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

$$F_c = F/A_c \text{ (MPa)} \quad (2.8)$$

Burada;

F_c : Basınç Dayanımı (MPa)

F: Maksimum kırılma yükü (N)

A_c : Numunenin kesit alanı (mm²)



Şekil 2.10. Basınç dayanımı deneyi



Şekil 2.11. Basınç dayanımı deneyinde kullanılan numune örnekleri

2.2.4.4. Kılcal Su Emme

Betonda kılcallık suyun yüzey gerilmeleri sayesinde küçük boşluklardan ilerlemesiyle oluşmaktadır. Beton içerisindeki kılcal boşlukların çapı ne kadar küçük olursa suyun ilerleme miktarı o kadar fazla olmaktadır. Suyun kılcal boşluklarda ilerlemesiyle beton içerisine yabancı iyon ve moleküllerin girmesi mümkündür [107].

Kılcal su emme deneyi ASTM C1585 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [108]. Deneyde, her seri için 100x100x100 mm boyutlarına sahip 3 tane küp numune kullanılmıştır. Numuneler 28 günlük su kürüne maruz bırakıldıktan sonra 105±5 °C sıcaklıktaki etüve bırakılmış ve 24 saat boyunca bekletilerek kurumaları sağlanmıştır. Etüv kurusu haline gelen numunelerin yan yüzeylerine su geçişini önlemek amacıyla tabandan itibaren yaklaşık 20 mm yüksekliğe kadar yat verniği sürülmüştür. Numuneler kuru ağırlıklarını belirlemek amacıyla tartılmış ve yat verniği ile kaplanmayan yüzeyleri alta gelecek şekilde, içerisinde ızgara ve 10 mm yüksekliğinde su bulunan kaba yerleştirilmiştir. Numuneler 1, 2, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 ve 120 dakikalık süreler boyunca kılcal yolla emdikleri su miktarının belirlemesi amacıyla yüksek hassasiyetli terazi ile tartılmıştır. Planlanan süreler sonunda, kılcal yolla emilen su miktarlarının belirlenmesinin ardından Eşitlik 2.6 kullanılarak kılcallık katsayıları hesaplanmıştır. Şekil 2.12’de kılcal su emme deneyinin gerçekleştirilmesine ait görsel verilmiştir.

$$Q/A = k \times \sqrt{t} \quad (2.6)$$

Burada;

Q: Numunenin kılcal yolla emdiği su miktarı (cm³)

A: Suyun temas ettiği yüzey alanı (cm²)

t: Numunenin suda bekletildiği süre (sn)

k: Kılcal su emme katsayısı (cm/s^{1/2})



Şekil 2.12. Kılcal su emme deneyinin gerçekleştirilmesi

2.2.4.5. Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hızı ölçümleri ASTM C 597 standardı dikkate alınarak 28 günlük 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir [109].

Ultrases geçiş hızı deneyi, bir ortam boyunca sıkıştırma dalgalarının darbe hızlarının ortamın elastik özellikleri ve yoğunluğuna bağlı olması temeline dayanmaktadır. Ultrases geçiş hızı deneyinde, ölçüm cihazının dönüştürücü uçları betona boşluksuz şekilde temas ettirilmelidir. Cihazın verici dönüştürücü ucundan betona bir dalga iletilir ve L mesafe uzaklıktaki alıcı dönüştürücü uçtan alınır. Cihaz, sıkıştırma dalgasının beton içerisindeki hareketi için geçen süreyi Dt olarak kaydeder ve ultrases geçiş hızı Eşitlik 2.7'ye göre hesaplanmaktadır [110]. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızı ölçümleri Şekil 2.13'de gösterilmiştir.

$$V = L/\Delta t \text{ (km/sn)} \quad (2.7)$$

Burada;

V: Ultrases geçiş hızı (km/sn)

L: Geçiş mesafesi (mm)

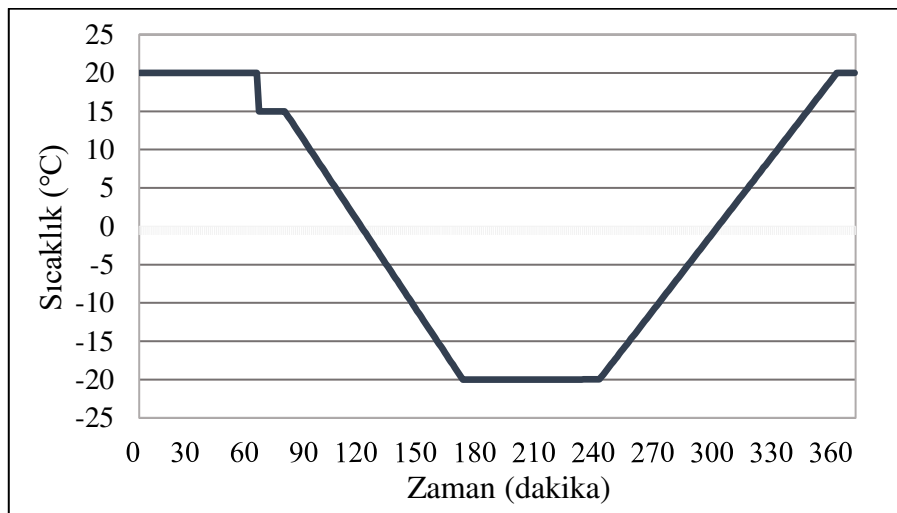
Δt : Geçiş süresi (μs)



Şekil 2.13. Ultrases geçiş hızı ölçümleri

2.2.4.6. Donma Çözülme Direnci

Donma çözülme deneyinde 100x100x100 mm boyutlarında 30 adet küp numune kullanılmıştır. Beton numuneleri 28 gün su küründe bekletildikten sonra 50 ve 100 çevrim donma çözülme döngüsü uygulanmak üzere donma çözülme cihazına konulmuştur. Çevrimler için, donma çözülme cihazı $+20^{\circ}C$ ile $-20^{\circ}C$ arasında 6 saatlik sürede bir döngüyü tamamlayacak şekilde ayarlanmıştır. Donma çözülme çevriminin bir döngüsü için sıcaklık zaman grafiği Şekil 2.14'te verilmiştir. Donma çözülme çevrimleri tamamlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.14. Donma çözülme çevrimi sıcaklık/zaman grafiği (1 çevrim)

2.2.4.7. Sülfat Direnci

Deneyisel çalışmada 28 günlük 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numunelerden 30 adet kullanılmıştır. Su kürünü tamamlayan numuneler $100\pm5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Numuneler, hacimde kütlece %25 oranlarında Na_2SO_4 ve MgSO_4 kullanılarak ılık suyla hazırlanan çözeltilerin içine bırakılmış ve 24 saat boyunca bekletilmiştir (Şekil 2.15). Numuneler 24 saat sonra çözeltilerden çıkartılmış, su ile yıkanmış ve kurumaları için 24 saat etüve bırakılmıştır. Etüvde kurutulan numunelerin ağırlıkları belirlenerek kaydedilmiştir. Bu işlemler bir çevrim kabul edilecek şekilde toplam 10’ar çevrim boyunca Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Çevrimlerin tamamlanması sonucunda numunelerin ağırlık kayıpları belirlenmiştir.



Şekil 2.15. Beton numunelerinin sülfat çözeltilerinde bekletilmesi

2.2.4.8. Isı İletim Katsayısı

Isı İletkenlik deneyi ASTM C 518 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [111]. Deneyisel çalışmada 30x30x3 cm boyutlarında plak numuneler üretilmiş ve LINSEIS HFM300 marka ısı iletim test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.16 ve Şekil 2.17). Çalışmada kullanılan cihazın sıcak plakası 30°C , soğuk plakası 10°C olarak ayarlanmış ve plakalar arasına boşluksuz şekilde yerleştirilen beton numuneleri üzerinden ısı akışı olması sağlanmıştır. Tüm beton serileri 60 dakikalık sabit süreler boyunca deneye tabii tutulmuştur. Numunelerin ısı iletim katsayıları, ısı akışı ile numune yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre Eşitlik 2.9’a göre hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{Q}{A} \times \frac{\Delta x}{\Delta T} \text{ (W/mK)} \quad (2.9)$$

Burada;

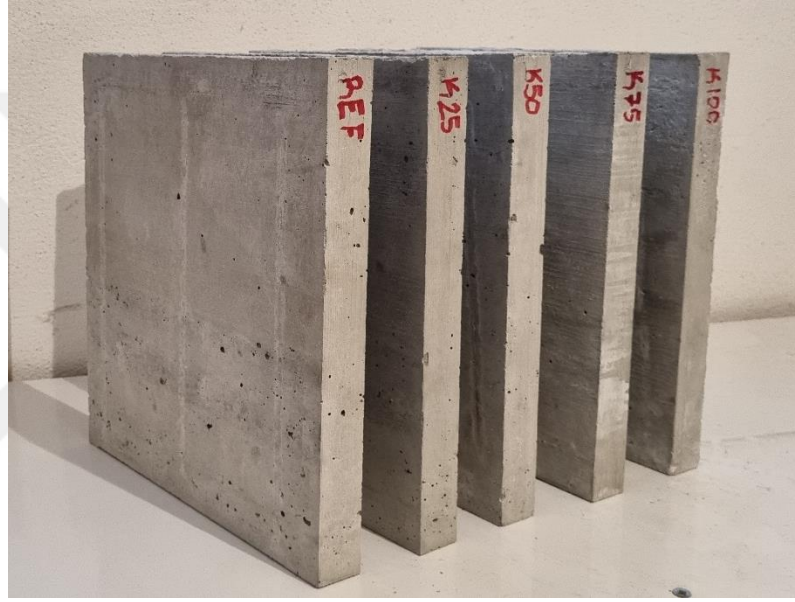
λ : Isı iletim katsayısı (W/mK)

Q: Isı akışı (W/m²)

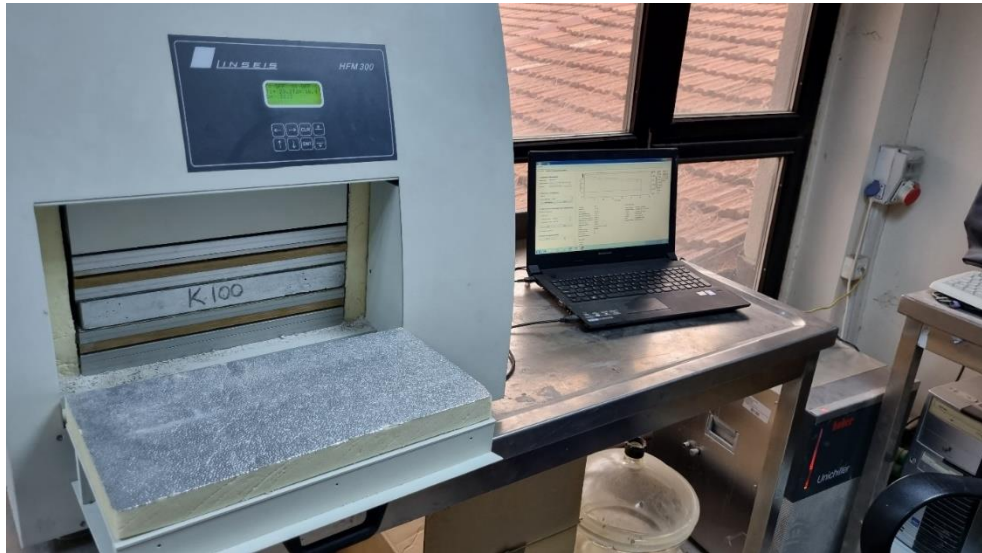
A: Isı transfer alanı (m²)

Δx : Numune kalınlığı (m)

Δt : Sıcaklık farkı (K)



Şekil 2.16. Isı iletim katsayısı ölçümleri için üretilen numuneler



Şekil 2.17. Isı iletkenlik deneyi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI

3.1.1. Özgöl Ağırlık Deneyi

Suyun agregâ ile hacimce yer değıştirmesi temeline dayanarak belirlenen agregâ özgül ağırlıkları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregâ özgül ağırlıkları (g/cm³)

Tane Boyutları (mm)	Özgöl Ağırlıklar (g/cm ³)	
	Polyester Kaplanmamış	Polyester Kaplanmış
0-4 (kum)	2,65	-
4-8 (pomza)	0,93	1,35
8-16 (pomza)	0,91	1,18

Agregaların özgül ağırlık deneyleri sonucunda, 4-8 mm ve 8-16 mm tane boyutlarındaki kaplanmamış pomza agregalarının özgül ağırlıklarının sırasıyla 0,93 g/cm³ ve 0,91 g/cm³ olduğu belirlenmiştir. Polyester kaplanmış pomza agregalarının özgül ağırlıkları ise 4-8 mm tane boyutlarında 1,35 g/cm³, 8-16 mm tane boyutlarında 1,18 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde agregalara polyester kaplama işlemiyle birlikte agregâ özgül ağırlıklarında artış olduğu gözlenmiştir. Agregâ özgül ağırlıklarının 0,91-1,35 g/cm³ aralığında olduğu ve 2,1 g/cm³’ün altında kalarak literatürle uyum sağladığı belirlenmiştir [85].

3.1.2. Su Emme Deneyi

Agregaların etüv kurusu durumundaki ağırlıklarına oranla hesaplanan su emme yüzdeleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Agrega su emme oranları (%)

Tane Boyutları (mm)	Su Emme Oranları (%)	
	Polyester Kaplanmamış	Polyester Kaplanmış
0-4 (kum)	1,6	-
4-8 (pomza)	29,3	4,4
8-16 (pomza)	32,1	4,8

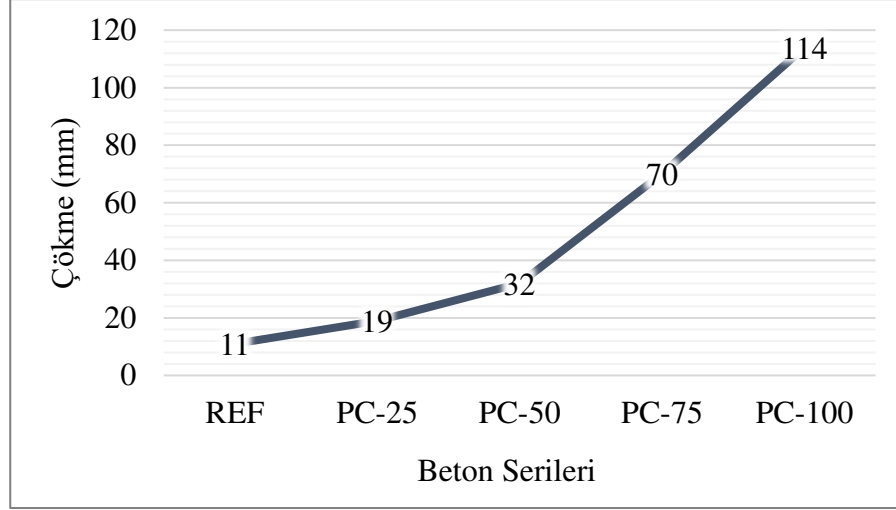
Gündüz (2005), Nevşehir pomzasının su emme değerlerinin %22 ile %40 arasında değiştiğini ve agrega tane boyutunun artmasıyla su emme oranının da arttığını belirtmiştir [39]. Ayrıca, Akın vd. (2022), Nevşehir bölgesindeki ignimbiritlerin ağırlıkça yaklaşık %19-34 oranlarında su emme özelliğine sahip olduğunu ve pomza ile ignimbiritlerin fiziksel özellikleri arasında doğrudan bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir [112].

Agregaların su emme oranları incelendiğinde, 4-8 mm tane boyutlarındaki kaplanmamış pomza agregalarının %29,3 su emme oranına sahipken aynı tane boyutlarındaki polyester kaplanmış pomza agregalarının %4,4 su emme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. 8-16 mm tane boyutlarındaki pomza agregalarında ise kaplanmamış agregaların su emme oranı %32,1 polyester kaplanmış agregaların su emme oranı %4,8 olarak belirlenmiştir. Polyester kaplama işlemiyle agregaların su emme oranlarında azalma olduğu gözlenmiştir. Agregalara polyester kaplama uygulamasıyla hem 4-8 mm hem de 8-16 mm tane boyutlarındaki pomza agregalarının su emme oranlarında yaklaşık %85 oranında azalma olmuştur. Kaplanmamış agregaların su emme oranlarının literatürle benzer olduğu görülmüştür [39, 112].

3.2. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

3.2.1. Slump (Çökme) Deneyi

Taze betonun işlenebilirliğini belirlemek amacıyla çökme hunisi metoduyla gerçekleştirilen slump (çökme) deneyi sonuçları Şekil 3.1’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. Beton numunelerinin çökme (slump) değerleri (mm)

Çalışmada sabit çökme değerlerine göre beton karışımları hazırlanmamış olup, elde edilen veriler incelendiğinde taze betonların çökme değerlerinin 11 mm ile 114 mm arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük çökme değeri REF kodlu, polyester kaplanmış pomza içermeyen, beton serisinde 11 mm olarak ölçülmüştür. Beton karışımları içerisindeki polyester kaplanmış agrega oranının artmasıyla işlenebilirliğin arttığı gözlenmiştir. Söz konusu artış, kaplanmamış pomza agregalarının su emme oranlarının yüksek olması ve polyester kaplanmış pomza agregalarının su emme oranlarının düşük olması ile açıklanmıştır. Nitekim, beton karışımları hazırlanırken pomza agregalarına ön su emdirme işlemi uygulanmayıp tüm serilerde aynı su/çimento oranının kullanılmış olmasının da çökme değerlerinin değişkenliğinde etkili olduğu ifade edilmiştir.

3.2.2. Birim Ağırlık Deneyi

Çalışmada hazırlanan beton serilerinin taze birim ağırlıkları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Taze betonların birim ağırlık değerleri (kg/m³)

Beton Serileri	Taze Birim Ağırlıklar (kg/m ³)	Oransal Değişim (%)
REF	1765,8	0
PC-25	1828,8	3,6
PC-50	1847,4	4,6
PC-75	1870,7	5,9
PC-100	1907,7	8,0

Üretilen taze beton numunelerinin birim ağırlıklarının $1765,8 \text{ kg/m}^3$ ile $1907,7 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu tespit edilmiştir. En düşük birim ağırlık değeri, içerisindeki pomza agregalarının tamamı kaplanmamış agrega olan REF serisi beton numunelerinde $1765,8 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Beton serilerinde, karışım içerisinde kullanılan kaplanmış pomza agregası oranı arttıkça betonun taze birim ağırlık değerinin de arttığı gözlenmiştir. Beton karışımındaki kaplanmış pomza agregası oranına bağlı olarak PC-25, PC-50, PC-75 ve PC-100 serisi taze beton numunelerinin birim ağırlıklarında REF serisine oranla %3,6 ile %8 arasında artış görülmüştür. Bu durum, agrega kaplama işlemiyle birlikte pomza agregalarının ağırlık kazanmasıyla ilişkilendirilmiştir.

3.3. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

3.3.1. Kuru Birim Ağırlık

Üretilen beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları (kg/m^3)

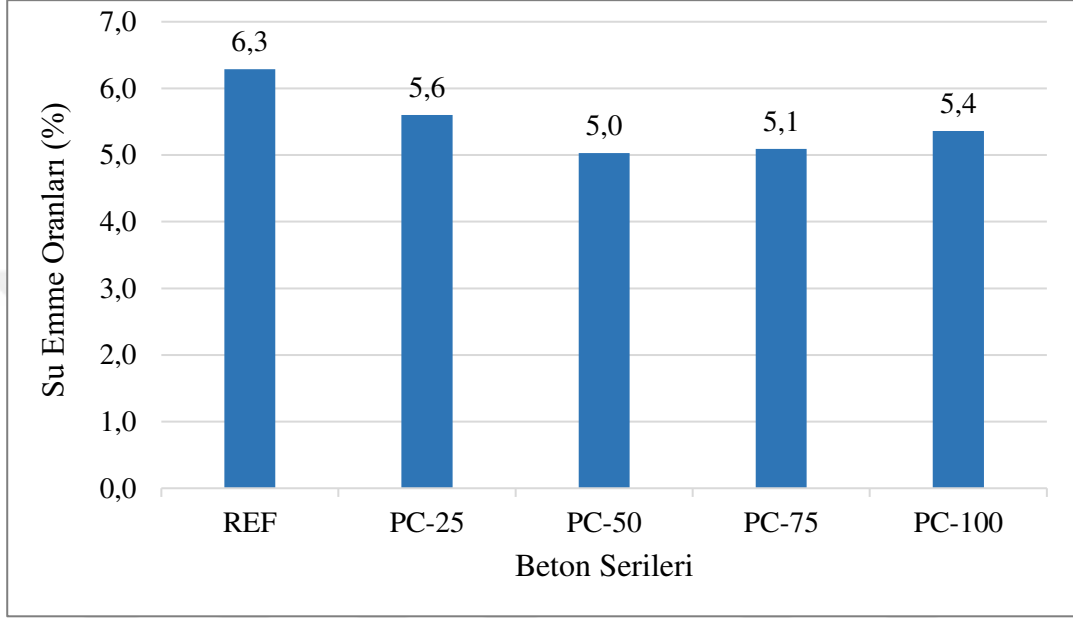
Beton Serileri	Kuru Birim Ağırlık (kg/m^3)	Oransal Değişim (%)
REF	1712,0	0
PC-25	1753,2	2,4
PC-50	1775,3	3,7
PC-75	1790,2	4,6
PC-100	1825,5	6,6

Beton numunelerinin kuru birim ağırlık verileri incelendiğinde, en yüksek birim ağırlığın $1825,5 \text{ kg/m}^3$ olarak PC-100 serisi numunelerinde olduğu görülmektedir. Beton serilerinde, kuru birim ağırlık değerlerinin beton içerisindeki kaplanmış pomza agregası oranıyla doğrudan ilişkili olduğu ve kaplanmış pomza oranının artmasıyla beton birim ağırlığının da arttığı belirlenmiştir. Kuru birim ağırlıklarda, REF serisi numunelerine kıyasla PC-25 serisinde %2,4 oranında, PC-50 serisinde %3,7 oranında, PC-75 serisinde %4,6 oranında ve PC-100 serisinde %6,6 oranında artış gözlenmiştir. Bu durumun polyester kaplanmış agregaların kaplanmamış agregalara oranla daha ağır olması nedeniyle açıklanacağı düşünülmüştür. Tüm serilere bakıldığında, üretilen hafif

betonların birim ağırlıklarının 1712 kg/m^3 ile $1825,5 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu ve literatür ile uyum içinde olduğu ifade edilmiştir.

3.3.2. Su Emme

Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen su emme deneyinin sonuçları Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Beton numunelerinin su emme oranları (%)

Beton serilerinin su emme oranlarına bakıldığında, su emme oranlarının %5,0 ile %6,3 arasında olduğu, en yüksek su emme oranının %6,3 ile REF kodlu beton serisinde, en düşük su emme oranının ise %5,0 ile PC-50 kodlu beton serisinde olduğu görülmektedir. İçerisinde polyester kaplanmış pomza agregası bulunan tüm beton serilerinde su emme oranının polyester kaplanmış pomza içermeyen kontrol serisine göre azaldığı görülmüştür. Özellikle PC-50 serisi betonların su emme oranlarının REF serisi betonlara göre %20 azaldığı tespit edilmiştir.

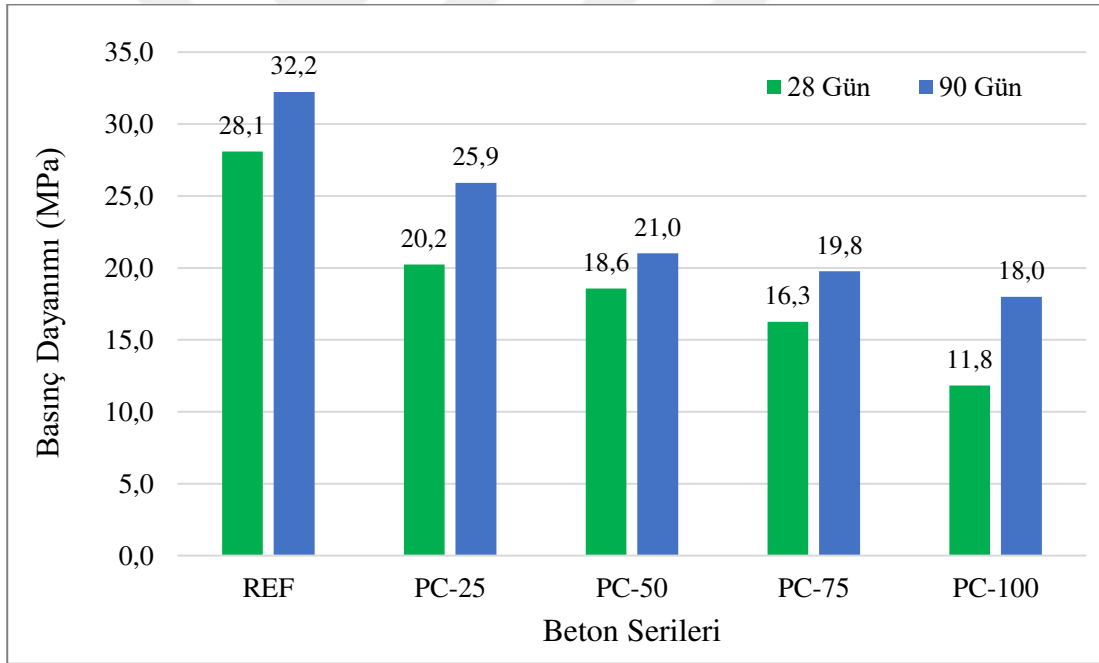
Su emme ve porozite hafif betonların durabilite özellikleri açısından önemli etkenlerdir. Hafif betonların su emme oranının genel olarak %6 ile %12 arasında değerler aldığı görülmektedir [113, 114]. Neville (1995) ve Aitcin (1998), durabilitesi yüksek hafif betonlarda en yüksek su emme oranının %10 ile sınırlandığını belirtmişlerdir [19, 24]. Çelik (2019), kaplanmış pomza ve kaplanmamış pomza ile farklı çimento dozajlarında dökmüş olduğu hafif beton numunelerinin su emme oranlarının %6,6 ile %9,2 aralığında olduğunu ifade etmiştir [93].

3.3.3. Basınç Dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen hafif betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.5'te ve grafiksel gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Beton numunelerinin basınç dayanımları (MPa)

Beton Serileri	Basınç Dayanımları (MPa)	
	28 Gün	90 Gün
REF	28,1	32,2
PC-25	20,2	25,9
PC-50	18,6	21,0
PC-75	16,3	19,8
PC-100	11,8	18,0



Şekil 3.3. Beton numunelerinin basınç dayanımları (MPa)

Beton serilerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değerinin REF serisi numunelerinden (28,1 MPa), en düşük değerin PC-100 serisi numunelerinden (11,8 MPa) elde edilmiştir. Beton içerisindeki kaplanmış pomza agregası oranına bağlı olarak basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. REF kodlu kontrol serisine kıyasla PC-25, PC-50, PC-75 ve PC-100 serisi numunelerinin basınç dayanımlarında sırasıyla %28, %34, %43 ve %58 oranında azalma tespit edilmiştir. Beton

karışımı içerisindeki polyester kaplanmış pomza agregası oranının artmasıyla beton basınç dayanımlarında meydana gelen azalmanın nedeni olarak; tüm beton serilerinde aynı su/çimento oranının kullanılması, polyester kaplanmış pomza agregalarının su emme oranlarının kaplanmamış agregalara göre daha düşük olması ve kaplanmamış agregaların karışım suyunun bir kısmını emerek su/bağlayıcı oranını dolaylı yoldan değiştirmesi olarak düşünülmüştür.

Numunelerin 90 günlük basınç dayanımları arasında en yüksek sonuç 32,2 MPa ile REF serisi numunelerinde, en düşük sonuç 18 MPa ile PC-100 serisi numunelerinde belirlenmiştir. REF serisinin basınç dayanımı değerine göre PC-25 serisinde %20, PC-50 serisinde %35, PC-75 serisinde %39 ve PC-100 serisinde %44 oranında azalma görülmüştür.

28 günlük ve 90 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, beton serilerine ait tüm numunelerde 90 gün sonrası basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir. PC-100 serisi numunelerinin 90 günlük basınç dayanımları 28 günlük basınç dayanımlarına kıyasla %52 oranında artarak en yüksek artış oranını teşkil etmiştir. Söz konusu artış oranını sırasıyla %28 ile PC-25 serisi, %22 ile PC-75 serisi, %15 ile REF serisi ve %13 ile PC-50 serisi takip etmiştir.

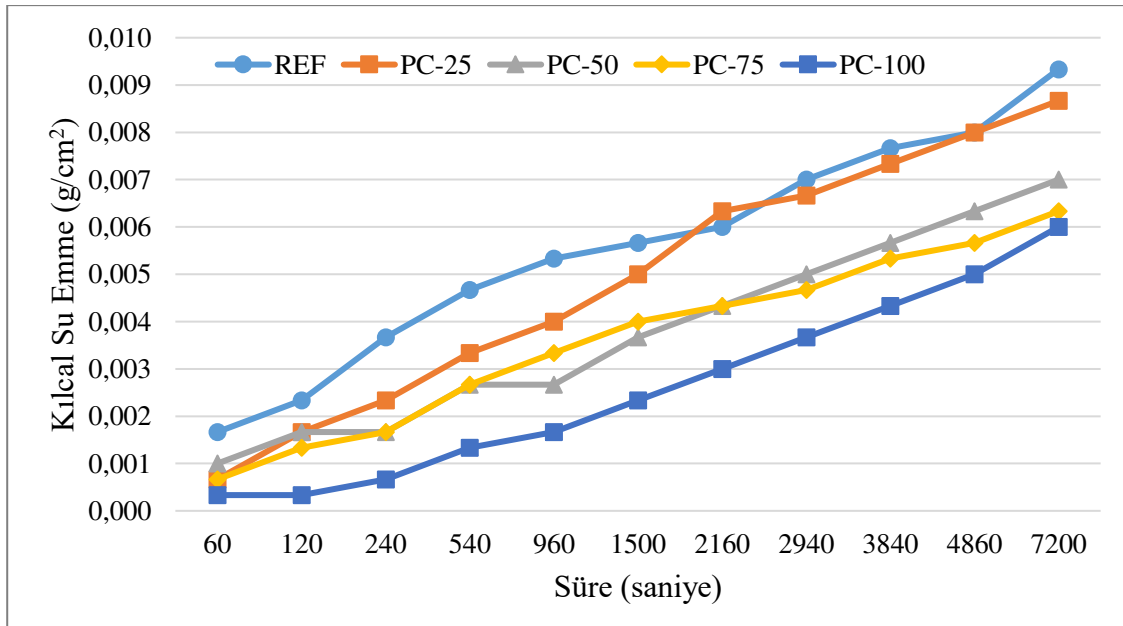
TS EN 206+A2 standardına göre hafif betonların basınç dayanımları 28 günlük küp numuneler için 9-88 MPa ve 28 günlük silindir numunelerde 8-80 MPa aralığında değer alabilmektedir [21]. Deneysel veriler incelendiğinde, 28 günlük beton numuneleri için basınç dayanımı değerlerinin 28,1 MPa ile 11,8 MPa arasında olduğu görülmektedir. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, üretilen beton serilerinin standarda uygun olduğu ve basınç dayanımı sınıflarının REF serisinde LC 25/28, PC-25 ve PC-50 serilerinde LC 16/18, PC-75 serisinde LC 12/13 ve PC-100 serisinde LC 8/9 olduğu tespit edilmiştir. Beton serileri arasından REF, PC-25 ve PC-50 serisi numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının literatürde 17 MPa olarak belirtilen taşıyıcı hafif beton olma koşulunu sağladığı, PC-75 ve PC-100 serisi numunelerinin 28 günlük basınç dayanımlarının ise bu koşulu sağlamadığı belirlenmiştir [22]. Ancak beton numunelerinin 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, tüm beton serilerinin 17 MPa'nın üzerinde basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

3.3.4. Kılcal Su Emme

Beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen kılcal su emme deneyi sonuçlarına ilişkin kılcallık katsayıları Çizelge 3.6’da ve kılcal su emme grafikleri Şekil 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.6. Numunelerin kılcal su emme katsayıları

Süre (sn)	Kılcallık Katsayıları (k: (10 ⁻⁴) cm/sn ^{1/2})				
	Beton Serileri				
	REF	PC-25	PC-50	PC-75	PC-100
60	2,15	0,86	1,29	0,86	0,43
120	2,13	1,52	1,52	1,22	0,30
240	2,37	1,51	1,08	1,08	0,43
540	2,01	1,43	1,15	1,15	0,57
960	1,72	1,29	0,86	1,08	0,54
1500	1,46	1,29	0,95	1,03	0,60
2160	1,29	1,36	0,93	0,93	0,65
2940	1,29	1,23	0,92	0,86	0,68
3840	1,24	1,18	0,91	0,86	0,70
4860	1,15	1,15	0,91	0,81	0,72
7200	1,10	1,02	0,82	0,75	0,71



Şekil 3.4. Numunelerin kılcal su emme grafikleri

Kılcal su emilimi, beton harcında bulunan kılcal gözenekler ile doğrudan ilişkilidir. Hafif agregâ ile üretilen betonlarda, agregâ ve matris arayüzünde elastik uyumluluk ve yüksek mekanik bağ oluşumu sayesinde normal ağırlıklı agregâ kullanılan betonlara kıyasla kılcal su emilimi daha düşük çıkmaktadır [115, 116]. Geçten ve Gül (2013), normal agregâ ve hafif agregâ ile ürettikleri 28 günlük beton numunelerinin kılcal geçirimsizlik katsayılarını sırasıyla $2,18 \times 10^{-4}$ ve $1,30 \times 10^{-4}$ cm²/dak olarak bulmuşlardır [117].

Elde edilen veriler incelendiğinde, beton numunelerinin kılcal su emme katsayılarının $1,10 \times 10^{-4}$ cm/sn^{1/2} ile $0,71 \times 10^{-4}$ cm/sn^{1/2} arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek kılcal su emme katsayısı REF serisi numunelerde elde edilmiştir. Numunelerin kılcal su emme katsayılarının REF serisine kıyasla PC-25 serisinde %7, PC-50 serisinde %25, PC-75 serisinde %32 ve PC-100 serisinde %36 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 3.4'e bakıldığında numunelerin kılcal yolla emdikleri su miktarının zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir.

3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı

Beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı ölçümleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 3.7'de ve ultrases geçiş hızı – basınç dayanımı ilişkisi Şekil 3.5'te verilmiştir.

Beton numunesi içerisinde ne kadar az boşluk olursa, ultrases dalgası beton içerisinde o kadar hızlı ilerler, böylelikle ultrases geçiş hızı da o kadar yüksek olur [118].

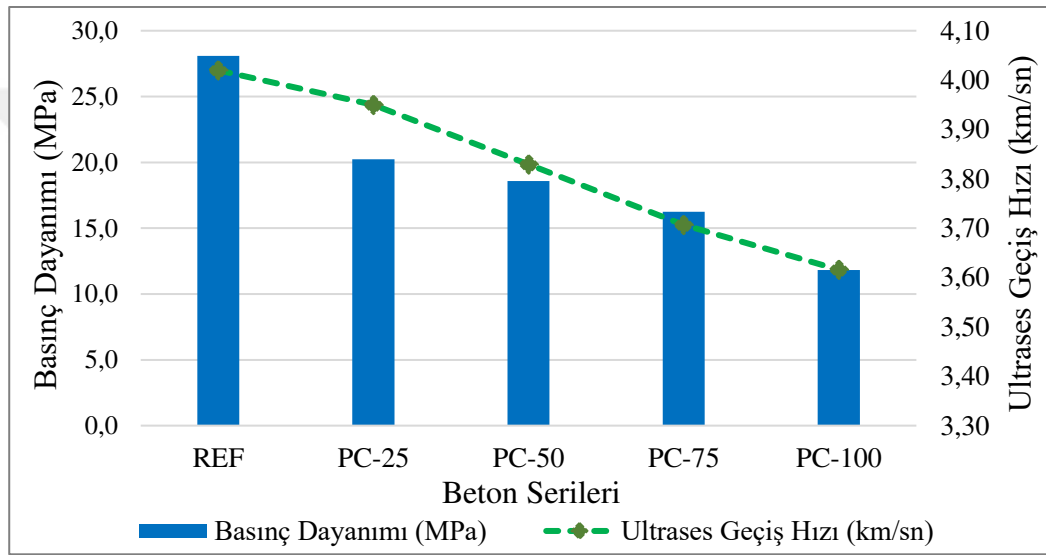
Çizelge 3.7. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızları (km/sn)

Beton Serileri	Ultrases Geçiş Hızları (km/sn)	Oransal Değişim (%)
REF	4,02	0
PC-25	3,95	-1,3
PC-50	3,83	-4,7
PC-75	3,71	-7,8
PC-100	3,62	-10,0

Ultrases geçiş hızı ölçümlerinden elde edilen veriler incelendiğinde, beton serilerinin ultrases geçiş hızlarının 3,62 km/sn ile 4,02 km/sn arasında olduğu görülmektedir. En

yüksek ultrases geçiş hızının kaplanmamış pomza agregaları ile üretilen REF serisi numunelerinde olduğu ve kaplanmış pomza agregalarının kullanıldığı serilerde, karışımındaki kaplanmış pomza oranının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızlarının azaldığı belirlenmiştir. REF kodlu kontrol serisine kıyasla PC-25, PC-50, PC-75 ve PC-100 serisi numunelerinin ultrases geçiş hızlarında sırasıyla %2, %5, %8 ve %10 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Literatüre bakıldığında, betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerin ultrases geçiş hızını da etkilediği ve basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı özelliklerinin birbiriyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir [119, 120].



Şekil 3.5. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 3.5 incelendiğinde beton numunelerinin basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları arasında literatürle benzer bir ilişki olduğu görülmektedir. Basınç dayanımının en yüksek olduğu REF serisi numunelerinde ultrases geçiş hızı ölçümlerinden de en yüksek sonuçlar alınmıştır. Tüm beton serileri ele alındığında, basınç dayanımlarında olduğu gibi beton içerisindeki polyester kaplanmış pomza agregası oranının artmasıyla ultrases geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir.

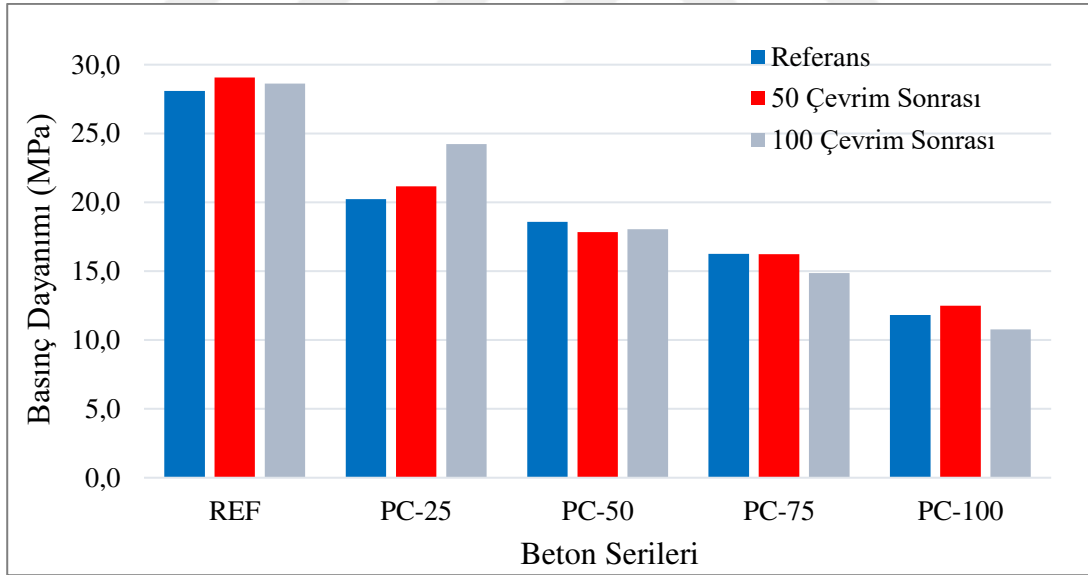
3.3.6. Donma Çözülme Dayanımı

Donma çözülme döngüleri gibi olumsuz çevre koşullarının, betonun durabilite özelliklerini olumsuz etkilediği ve betonda bozulmalara yol açarak, beton performansını düşürdüğü bilinmektedir [121–123]. Çalışma kapsamında üretilen beton numunelerinin donma çözülme etkisine karşı dayanımlarını belirlemek amacıyla 50 ve 100 çevrim olmak

üzere iki farklı donma çözülme döngüsüne maruz bırakılan beton numunelerinin basınç dayanımlarına bakılmıştır. Deneyde kullanılan beton numunelerinde herhangi bir kopma veya kütle kaybı görülmemiştir. Numunelerin 50 ve 100 çevrim donma çözülme döngüsü sonrası basınç dayanımı değerleri Çizelge 3.8’de ve grafiksel gösterimi Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Numunelerin donma çözülme sonrası basınç dayanımları (MPa)

Beton Serileri	Referans	50 Çevrim Sonrası		100 Çevrim Sonrası	
	Basınç Dayanımı (Mpa)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Oransal Değişim (%)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Oransal Değişim (%)
REF	28,1	29,1	3,6	28,6	1,8
PC-25	20,2	21,2	5,0	24,2	19,8
PC-50	18,6	17,9	-3,8	18,1	-2,7
PC-75	16,3	16,2	-0,6	14,9	-8,6
PC-100	11,8	12,5	5,9	10,8	-8,5



Şekil 3.6. Numunelerin donma çözülme sonrası basınç dayanımları (MPa)

Numunelerin 50 çevrimlik donma çözülme döngüsü sonrası, en yüksek basınç dayanımının REF (29,1 MPa) serisi numunelerinde, en düşük basınç dayanımının PC-100 (12,5 MPa) serisi numunelerinde olduğu görülmüştür. Bazı numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarına kıyasla 50 çevrim sonrası basınç dayanımlarında artış, bazı numunelerin basınç dayanımlarında azalış olduğu belirlenmiştir. 50 çevrim sonrası basınç

dayanımları REF numunelerinde %3,4 oranında artmış, PC-25 numunelerinde %4,6 artmış, PC-50 numunelerinde %3,9 oranında azalmış, PC-75 numunelerinde değişmemiş ve PC-100 numunelerinde %5,8 artmıştır.

Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ve 100 çevrim donma çözülme sonrası basınç dayanımları kıyaslandığında, REF serisi numunelerinde %1,9 artış, PC-25 serisi numunelerinde %19,7 artış, PC-50 serisi numunelerinde %2,8 azalış, PC-75 serisi numunelerinde %8,6 azalış ve PC-100 serisi numunelerinde %8,9 azalış tespit edilmiştir. 100 çevrimlik donma çözülme döngüleri esas alındığında, polyester kaplanmış agrega içeren beton serileri arasında PC-25 serisi hariç tüm serilerin basınç dayanımlarında azalma görülmüştür.

Araştırmacılar, beton içerisinde belli oranlarda hafif agrega kullanımıyla, betonun donma çözülme dayanımının arttırılabileceğini ifade etmişlerdir. Buna ek olarak, donma çözülme döngüsü sonrası basınç dayanımlarında meydana gelen artışın, donma olayı esnasında fazla suyun hafif agregalardaki gözeneklere kaçmasına bağlanabileceğini belirtmişlerdir [124, 125].

3.3.7. Sülfat Direnci

Çalışmada, üretilen hafif beton numunelerinin sülfatlara karşı direncini belirlemek amacıyla $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 olmak üzere iki farklı sülfat içeriğine sahip çözelti hazırlanmıştır. Sülfat çözeltilerinde bekletilen numunelerde parçalanma ve ayrışma görülmüştür. Numunelerin kıyaslanabilmesi amacıyla kütle kayıpları belirlenmiştir. $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle kayıpları Çizelge 3.9’da verilmiştir. Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle kayıpları Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numunelerin kütle kayıpları (%)

Beton Serileri	Kütle Kayıpları (%)				
	2. çevrim	4. çevrim	6. çevrim	8. çevrim	10. çevrim
REF	0,8	1,5	1,9	2,1	2,2
PC-25	0,8	1,5	1,9	2,2	2,4
PC-50	0,8	1,5	1,8	2,1	2,2
PC-75	0,7	1,4	1,7	2,0	2,2
PC-100	0,7	1,3	1,5	1,8	1,9

Çizelge 3.10. Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin kütle kayıpları (%)

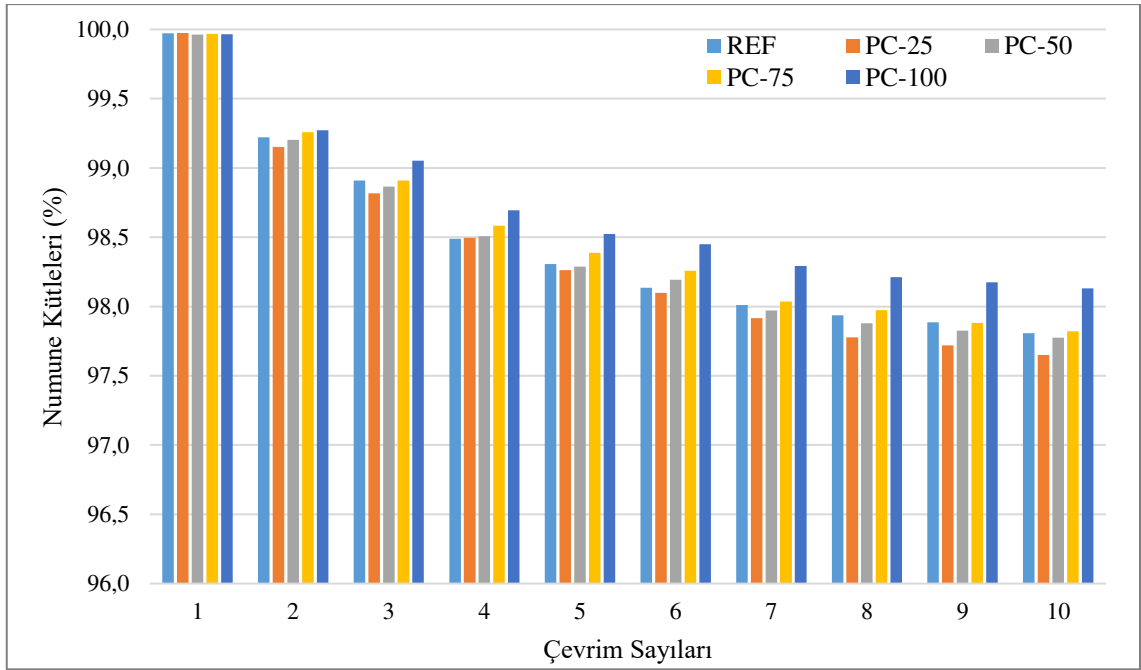
Beton Serileri	Kütle Kayıpları (%)				
	2. çevrim	4. çevrim	6. çevrim	8. çevrim	10. çevrim
REF	1,3	9,3	42,2	54,5	85,5
PC-25	0,3	4,5	28,2	39,7	52,3
PC-50	0,4	3,5	27,7	39,1	48,4
PC-75	0,4	1,2	29,9	50,6	61,6
PC-100	0,2	1,1	23,4	47,3	65,6

Mehta ve Monteiro (2014), betonda çimento matrisi üzerindeki sülfat atağı sebebiyle, C-S-H jelinin parçalandığını ve bu durumun betona olumsuz etki oluşturduğunu belirtmişlerdir [69]. Literatürde, pomza agregası ile üretilen betonlarda çimento matrisinin daha yoğun olması, beton içerisine sülfat girişini engelleyerek betonun sülfat direncini arttığı ifade edilmiştir [123, 126].

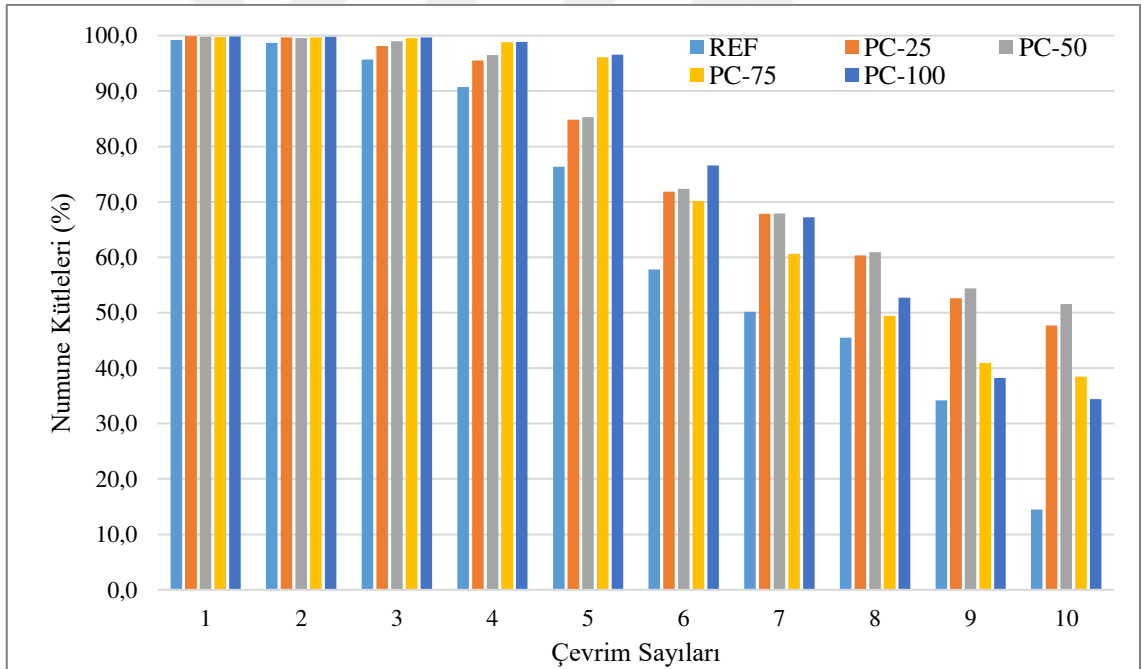
MgSO₄ çözeltisi içinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle kayıplarına bakıldığında, tüm numuneler arasında en yüksek kütle kaybının %2,4 ile PC-25 serisi numunelerinde ve en düşük kütle kaybının %1,9 ile PC-100 serisi numunelerinde olduğu görülmüştür.

Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin kütle kayıpları incelendiğinde, en yüksek kütle kaybının %85,5 ile REF serisinde, en düşük kütle kaybının %48,4 ile PC-50 serisinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer numunelerde ise PC-25 serisinde %52,3 oranında, PC-75 serisinde %61,6 oranında ve PC-100 serisinde %65,6 oranında kütle kaybı olduğu belirlenmiştir. Polyester kaplanmış agrega içeren tüm beton numunelerinde REF kodlu kontrol numunelerine kıyasla daha az kütle kaybı olduğu görülmüştür.

MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri Şekil 3.7’de, Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri Şekil 3.8’de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri grafiği



Şekil 3.8. Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzdelik kütle değişimleri grafiği

Sülfat çözeltilerinin beton numunelerine olan etkileri kıyaslandığında Na_2SO_4 çözeltisinin $MgSO_4$ çözeltisine göre çok daha olumsuz etkiye sahip olduğu ve numunelerde ciddi parçalanmalara neden olduğu gözlenmiştir.

3.3.8. Isı İletim Katsayısı

Beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilen ısı iletim katsayılarına ait ölçüm verileri Çizelge 3.11’de ve numunelerin ısı iletim katsayısı – kuru birim ağırlık ilişkisi Şekil 3.9’da verilmiştir.

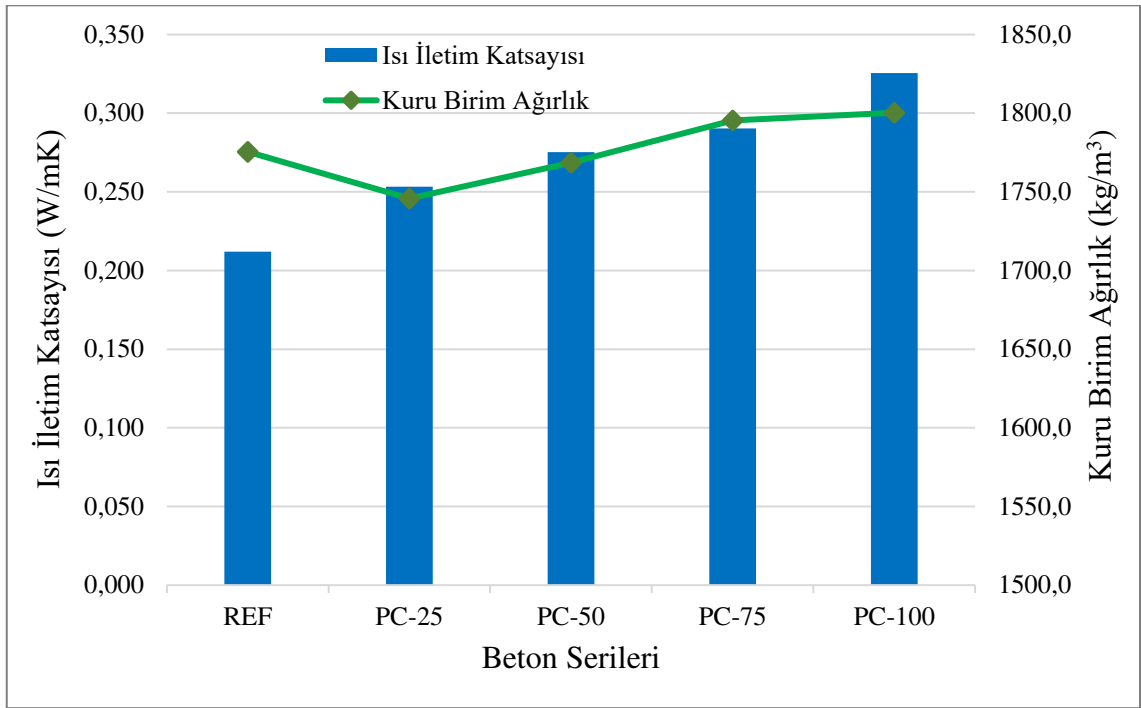
Çizelge 3.11. Beton numunelerinin ısı iletim katsayıları (W/mK)

Beton Serileri	λ (W/mK)	Oransal Değişim (%)
REF	0,275	0
PC-25	0,246	-10,8
PC-50	0,268	-2,5
PC-75	0,295	7,2
PC-100	0,300	9,0

Numunelerin ısı iletim katsayılarına ait ölçüm verileri incelendiğinde ısı iletim katsayılarının 0,246 W/mK ile 0,300 W/mK arasında olduğu görülmektedir. En düşük ısı iletim katsayısının 0,246 W/mK ile PC-25 serisinde, en yüksek ısı iletim katsayısının ise 0,300 W/mK ile PC-100 serisinde olduğu belirlenmiştir. Numunelerin ısı iletim katsayıları REF serisine göre, PC-25 ve PC-50 serilerinde sırasıyla %10,8 ve %2,5 oranlarında azalırken, PC-75 ve PC-100 serilerinde sırasıyla %7,2 ve %9 oranlarında artmıştır. Polyester kaplanmış pomza agregası içeren beton numuneleri kendi aralarında kıyaslandığında, polyester kaplanmış pomza oranının artmasıyla ısı iletim katsayılarında artış görülmüştür.

Agregaların ısı iletkenlikleri içerisindeki boşluk oranına ve minerolojik yapılarına bağlıdır. Holm ve Bremner (2000), çalışmalarında birim ağırlıkları ortalama 2400 kg/m³ olan normal ağırlıklı betonlarda ısı iletkenlik katsayılarının 1,4 W/mK ile 2,9 W/mK aralığındayken, birim ağırlıkları ortalama 1850 kg/m³ olan taşıyıcı hafif betonlarda ısı iletkenlik katsayılarının 0,58 W/mK ile 0,86 W/mK aralığında olduğunu belirtmişlerdir [127]. Benzer bir çalışmada, birim ağırlıkları 1440 kg/m³ ile 1890 kg/m³ arasında değişen hafif betonların ısı iletkenlik katsayıları 0,70 W/mK ile 1,36 W/mK aralığındayken normal ağırlıklı betonlarda ısı iletim katsayılarının daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada, kullanılan agrega özelliklerine bağlı olarak normal ağırlıklı betona kıyasla taşıyıcı hafif betonlarda ısı iletkenlik katsayılarının %40 ile %53

oranlarında daha düşük olduğu belirtilmiştir [128].



Şekil 3.9. Numunelerin ısı iletim katsayısı - kuru birim ağırlık ilişkisi

Beton numunelerinin ısı iletim katsayıları ve kuru birim ağırlıkları arasında genel anlamda benzer bir ilişki görülmüştür. REF serisi hariç tutulduğunda, numunelerin kuru birim ağırlıkları arttıkça ısı iletim katsayıları da artmıştır. Bu durumun polyester kaplanmış pomza agregalarında özgül ağırlığın artmasıyla ilişkili olduğu düşünülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada, 450 dozlu kaplanmamış ve polyester kaplanmış pomza agregaları ile üretilen hafif betonlar üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Agrega deney sonuçları;

- Kaplanmamış ve polyester kaplanmış pomza agregalarının özgül ağırlıklarının 0,91-1,35 g/cm³ arasında olduğu belirlenmiştir. Agregaların polyester kaplama işlemi sonrasında özgül ağırlıklarında artış olduğu ancak bu artışa rağmen literatürdeki hafif agreganın olma koşulunun (2,1 g/cm³) sağlandığı tespit edilmiştir.
- Kaplanmamış pomza agregalarının su emme değerleri 4-8 tane boyutunda %29,3 ve 8-16 tane boyutunda %32,1 olarak bulunmuştur. Polyester kaplama işlemi sonrasında agregaların su emme değerlerinde yaklaşık %85'lik bir azalma görülmüştür. Kaplanmış agregalar için su emme değerleri 4-8 tane boyutunda %4,4 ve 8-16 tane boyutunda %4,8 olarak belirlenmiştir.

Taze Beton Deneyleri;

- Çalışmada, tüm beton serilerinde aynı su/bağlayıcı oranı kullanılmış ve pomza agregalarına ön su emdirme işlemi uygulanmamıştır. Bu durumda göz önünde bulundurularak, beton numunelerinin çökme değerlerinin sabit olmadığı ve 11-114 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Üretilen taze betonların 1765-1907 kg/m³ arasında birim ağırlığa sahip oldukları tespit edilmiştir. Beton karışımları içerisinde polyester kaplanmış pomza agregası kullanımıyla birim ağırlıkların %3-8 aralığında arttığı görülmüştür.

Sertleşmiş Beton Deneyleri;

- Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları ile üretilen betonların kuru birim ağırlıklarının 1712-1826 kg/m³ aralığında olduğu ve literatürde belirtilen 2000 kg/m³'lük üst sınırı aşmadığı belirlenmiştir.
- Beton numunelerinin su emme değerleri %5-6 aralığında değişken olduğu tespit edilmiştir. En yüksek su emme değerinin polyester kaplanmış pomza agregası

içermeyen beton numunelerinde olduğu ve kaplanmış agrega kullanımının su emme değerini azalttığı belirlenmiştir.

- Basınç dayanımlarında en yüksek sonuç kaplanmış agrega içermeyen REF numunelerinde elde edilmiş ve kaplanmış agrega kullanımıyla beton basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Bu durumu, agregaların su emme değerlerine bağlı olarak karışımdaki su/bağlayıcı oranını dolaylı olarak değiştirmesi şeklinde düşünülmüştür. TS EN 206+A2 standardına göre beton numunelerinin basınç dayanım sınıfları, REF serisinde LC 25/28, PC-25 ve PC-50 serilerinde LC 16/18, PC-75 serisinde LC 12/13 ve PC-100 serisinde LC 8/9 olarak tespit edilmiştir.
- Üretilen betonların kılcal su emme katsayıları $0,71 \times 10^{-4}$ - $1,10 \times 10^{-4}$ arasında bulunmuştur. En yüksek kılcal su emme katsayısı REF serisi beton numunelerinde görülmüş ve beton serilerindeki polyester kaplanmış pomza agregası oranı arttıkça kılcal su emme katsayıları azalmıştır.
- Çalışmada, beton numunelerinin ultrases geçiş hızları 3,62-4,02 km/sn olarak ölçülmüştür. Polyester kaplanmış pomza kullanımıyla basınç dayanımlarında olduğu gibi ultrases geçiş hızlarında da azalma gözlenmiştir.
- Donma çözülme sonrası yapılan basınç dayanımı verilerine göre, 50 çevrim sonrası numunelerin dayanım değerlerinde en fazla %5'lik değişim görülmüştür. 100 çevrim sonrası en üstün performansı PC-25 serisi numuneleri sergilemiştir.
- Sülfat çözeltisinde bekletilen beton numunelerinde, çatlaklarla başlayıp kopma ve dökülme şeklinde ilerleyen bozulmalar görülmüştür. Sülfat etkisine karşı en zayıf performansı %85'e varan kütle kaybıyla REF serisi numuneleri sergilemiştir. En düşük kütle kaybı PC-50 serisi numunelerde görülmüştür.
- Beton numunelerinin ısı iletim katsayılarının 0,246-0,300 W/mK arasında olduğu tespit edilmiştir. REF serisi hariç beton numunelerinin birim ağırlık ve ısı iletim katsayıları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. En düşük ısı iletim katsayısı değerinin PC-25 serisi numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen deneysel çalışmaya ek olarak, pomza agregalarına ön su emdirme işlemi uygulanarak beton üretilebileceği, üretilen betonların yüksek sıcaklık ve yangın performanslarının araştırılabileceği ve donma çözülme çevrim sayılarının arttırılarak incelenebileceği önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] T. Y. Erdoğan, *Beton*, c. 7. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 2007.
- [2] H. Özkul, M. A. Taşdemir, M. Tokyay, ve M. Uyan, *Her Yönüyle Beton*. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği, 2004.
- [3] M. Salman, “Bitlis Yöresi Pomza Taşı ile Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonlarda Beton-Donatı Bağ Dayanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, 2019.
- [4] S. Yazıcıoğlu ve N. Bozkurt, “Pomza ve Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, sy 4, ss. 675-680, 2006.
- [5] M. Hüsem, “Doğu Karadeniz Bölgesi Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
- [6] B. Postacıoğlu, *Bağlayıcı Maddeler, Agregalar ve Beton*. Teknik Kitaplar Yayınevi, 1987.
- [7] H. Konuk, N. Özyurt, C. Taşdemir, Z. Yüceer, ve R. Sönmez, “Hafif Betonların Taşıyıcılık Özellikleri”, *1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi*, İstanbul, 2002.
- [8] A. Durmuş, M. Arslaner, M. Hüsem, ve H. Kolaylı, “Karadeniz Bölgesi Hafif Agregalı Yataklarının Belirlenmesi ve Bunların Yekpare ve Prefabrike Beton Yapılarda Kullanılabilirlik ve Yararlarının Araştırılması. Araştırma Projesi Raporu”, Trabzon, 1996.
- [9] A. Short ve W. Kinniburgh, *Lightweight Concrete*, 3. bs. Great Yarmouth: Printed in Great Britain by Gallord (printers) Ltd., 1978.
- [10] S. Urhan, “Hafif ve Çok Hafif Betonların Karakteristik Özellikleri ve Teknik Kapasiteleri”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, c. 369, ss. 34-40, 1993.
- [11] S. Türkel ve B. Kadiroğlu, “Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, sy 3, ss. 353-359, 2007.
- [12] C. Taşdemir, “Agrega Tür ve Boyutunun Beton Performansına Etkisi”, *THBB Hazır Beton*, İstanbul, Mart 2001.
- [13] M. Davraz, “Pomzanın Endüstriyel Kullanım Alanları”, Doktora Tezi, Süleyman

Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2001.

- [14] İ. Dinçer, A. Orhan, ve S. Çoban, “Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu”, Nevşehir, 2015.
- [15] A. N. Kaplan, “Agrega ve Reçine Tipinin Polimer Betonun Performansı Üzerine Etkileri”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2021.
- [16] İ. Tiryaki, “Çimentolu ve Polyester Reçineli Kompozit Betonların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay, 2022.
- [17] A. Bideci, “Polimer Kaplı Pomza Agregalarla Elde Edilen Betonların Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2011.
- [18] B. Baradan, H. Yazıcı, ve S. Aydın, *Beton*, c. 2. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012.
- [19] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, c. 4. London: Longman, 1995.
- [20] TS 2511, “Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları”, Ankara, 2017.
- [21] TS EN 206+A2, “Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, Ankara, 2021.
- [22] ACI 213R-87, “Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete”, 1999.
- [23] İ. Ulusu, “Ham Perlit Agregası Kullanılarak Yüksek Dayanımlı Hafif Beton Üretilebilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2007.
- [24] P. C. Aitcin, *High Performance Concrete*. CRC Press, 1998.
- [25] S. Chandra ve L. Berntsson, *Lightweight Aggregate Concrete*. Norwich, New York: Noyes Publications, 2003.
- [26] K. M. Anwar Hossain, “Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete”, *Cement and Concrete Research*, c. 34, sy 2, ss. 283-291, 2004.
- [27] S. Nayır, “Pomza ve Perlit Agregası İçeren Mineral Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonların Enerji Performansı Açısından Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2021.
- [28] J. Newman ve P. Owens, *Properties of Lightweight Concrete*, 2. bs. 2003.
- [29] M. A. Taşdemir, “Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1982.

- [30] T. Dikici, “Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.
- [31] M. Akça, “Pomza Agregalı Hafif Betonların Isı İletkenlik Parametrelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2017.
- [32] M. Bakırhan, “Pomza ve Perlit Kullanılarak Üretilen Kompozit Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis, 2019.
- [33] TS EN 13055, “Hafif Agregalar”, Ankara, 2016.
- [34] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, c. 6. Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2021.
- [35] T. Uygunoğlu, “Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008.
- [36] M. Davraz ve L. Gündüz, “Isparta Yöresi Pomza Taşının Hafif Yapı Elemanı Olarak Değerlendirilmesi Üzerine Bir Analiz”, *1. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Isparta, ss. 61-70, 1997.
- [37] L. Gündüz, N. Şapcı, ve M. Davraz, “Pomza Madenciliği, Endüstrisi ve Türkiye Açısından Önemi (Gelişen Yeni Bir Sektör)”, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı*, İzmir, Türkiye, ss. 397-407, 2005.
- [38] L. Gündüz, A. Sarıışık, B. Tozaçan, M. Davraz, İ. Uğur, ve O. Çankıran, *Pomza Teknolojisi (Pomza Karakterizasyonu)*, c. 1. Isparta, 1998.
- [39] L. Gündüz, “İnşaat Sektöründe Bimsblok”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları*, Isparta, 2005.
- [40] H. Ceylan, “Farklı Pomza Agregaları Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Karakteristiği”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2005.
- [41] Y. Kızıldaş, “Yapı Malzemesi Olarak Nevşehir Yöresi Bimslerinin Mimaride Hafif Duvar Elemanı Üretiminde Kullanılması ve Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 2021.
- [42] E. Başpınar ve L. Gündüz, “İnşaat Endüstrisinde Kullanılan Pomza Agregalarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri”, *4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, 2006.
- [43] N. Elmastaş, “Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza Sünger Taşı”, *Journal of International Social Research*, c. 5, sy 23, 2012.
- [44] Ş. G. Özkan ve G. Tuncer, “Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış”, *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, ss. 200-207, 2001.

- [45] P. Kocaman, “Bims Agregaların ve Bimsbeton Ürünlerin Mimarlık ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [46] L. Gündüz ve İ. Yılmaz, “Orta Anadolu Pomza Oluşumlarının Endüstriyel Olarak Kullanılabilirlik Ölçütleri”, 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, ss. 214-215, 2001.
- [47] N. Şapcı, L. Gündüz, ve M. Ulusoy, “Karaman ve Civarı Pomza Oluşumlarının Hafif Beton Sektöründe Agregası Olarak Yeri ve Önemi”, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, ss. 138-148, 2004.
- [48] G. Eroğlu ve M. Şahiner, “Dünyada ve Türkiye’de Pomza”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Daire Başkanlığı.*, Ankara, 2020.
- [49] L. Gündüz, A. Rota, ve A. Hüseyin, “Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi”, 4. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, ss. 175-188, 2001.
- [50] Soylu Group, “Ponzanın Kullanım Alanları”. <http://www.soylu.com.tr/tr/kullanim-alanlari> (erişim 27 Mayıs 2023).
- [51] U.S. Geological Survey, “Mineral Commodity Summaries 2023”, Reston, Virginia, 2023.
- [52] MTA, “Perlit-Pomza Yatakları Haritası”. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/perlit_pomza.jpg (erişim 27 Mayıs 2023).
- [53] H. Ö. Savran, “Elastomer Teknolojisi-I”, *Kauçuk Derneği Yayınları*, İstanbul, ss. 93-99, 2001.
- [54] M. Saçak, *Polimer Kimyasına Giriş*. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, 1998.
- [55] E. Pişkin, *Polimer Teknolojisine Giriş*. İnkılap Kitabevi, 1987.
- [56] E. Ateş, “Epoksi Polimer Betonun Makine Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1994.
- [57] M. Akın, “Polimer Betonların Özelliklerinde Atık Lastik Kullanımının Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2017.
- [58] G. Akovalı, *Polimer Ders Notları*. Ankara: ODTÜ Yayınları, 1993.
- [59] S. Akkurt, *Plastik Malzeme Bilgisi*. Birsan Yayınevi, 1991.
- [60] H. A. Bulut, “Elektronik Plastik Atık İçeren Polimer Betonların Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Erzurum, 2016.

- [61] Ç. Özden, “Polimer Betonların Donma-Çözülme Etkisine Dayanıklılığı”, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2010.
- [62] S. Akkurt, *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*. Birsan Yayınevi, 2007.
- [63] F. Gökbaşı, “Çelik Lifli Polimer Betonların Mekanik Davranışı Üzerine Geri Dönüştürülmüş Araç Lastiği Parçacıkları ve Liflerinin Birleşik Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2021.
- [64] A. Pişkin, “Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.
- [65] M. Öztürk, “Polimerlerle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013.
- [66] V. Toufigh, M. Hosseinali, ve S. M. Shirkhorshidi, “Experimental Study and Constitutive Modeling of Polymer Concrete’s Behavior in Compression”, *Construction and Building Materials*, c. 112, ss. 183-190, 2016.
- [67] R. Bedi, R. Chandra, ve S. Singh, “Reviewing Some Properties of Polymer Concrete”, *Indian Concrete Journal*, c. 88, sy 8, ss. 47-68, 2014.
- [68] H. A. Bulut ve R. Şahin, “A Study on Mechanical Properties of Polymer Concrete Containing Electronic Plastic Waste”, *Composite Structures*, c. 178, ss. 50-62, 2017.
- [69] P. K. Mehta ve P. J. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [70] O. Soykan, C. Öcal, C. Özel, A. Eren, ve O. Çelik, “Deprem Sonrası Betonarme Elemanların Polimer Beton İle Onarım Ve Güçlendirilmesi”, *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, Burdur, ss. 227-232, 2015.
- [71] J. A. Rossignolo ve M. V. C. Agnesini, “Mechanical Properties of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete”, *Cement and Concrete Research*, c. 32, sy 3, ss. 329-334, 2002.
- [72] A. Kılıç, C. D. Atiş, E. Yaşar, ve F. Özcan, “High-Strength Lightweight Concrete Made With Scoria Aggregate Containing Mineral Admixtures”, *Cement and Concrete Research*, c. 33, sy 10, ss. 1595-1599, 2003.
- [73] İ. Uğur, “Kırmataş Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir Analiz”, *III Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, ss. 67-74, 2003.

- [74] H. Uysal, R. Demirboğa, R. Şahin, ve R. Gül, “The Effects of Different Cement Dosages, Slumps, and Pumice Aggregate Ratios on The Thermal Conductivity and Density of Concrete”, *Cement and Concrete Research*, c. 34, sy 5, ss. 845-848, 2004.
- [75] Ö. Şengül ve Ü. A. Doğan, “Polimer Katkılı Betonların Mekanik ve Durabilite Özellikleri”, 2003.
- [76] J. A. Rossignolo ve M. V. C. Agnesini, “Durability of Polymer-Modified Lightweight Aggregate Concrete”, *Cement and Concrete Composites*, c. 26, sy 4, ss. 375-380, 2004.
- [77] S. Yanık, “Bazaltik Pomzaların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.
- [78] E. Yaşar ve Y. Erdoğan, “Strength and Thermal Conductivity in Lightweight Building Materials”, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, c. 67, sy 4, ss. 513-519, 2008.
- [79] J. Mao ve K. Ayuta, “Freeze–Thaw Resistance of Lightweight Concrete and Aggregate at Different Freezing Rates”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, c. 20, sy 1, ss. 78-84, 2008.
- [80] H. S. Gökçe ve Ö. Can, “Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi”, *Politeknik Dergisi*, c. 12, sy 4, ss. 293-298, 2009.
- [81] N. Değirmenci ve A. Yılmaz, “Use of Pumice Fine Aggregate as an Alternative to Standard Sand in Production of Lightweight Cement Mortar”, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, c. 18, ss. 61-68, 2011.
- [82] K. M. A. Hossain, S. Ahmed, ve M. Lachemi, “Lightweight Concrete Incorporating Pumice Based Blended Cement and Aggregate: Mechanical and Durability Characteristics”, *Construction and Building Materials*, c. 25, sy 3, ss. 1186-1195, 2011.
- [83] C. Kaldı, “Taşıyıcı Hafif Beton Tasarımı ve Çok Katlı Binalarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011.
- [84] A. Akkaş, “Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Taşıyıcılık Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
- [85] Ö. Ş. Bideci, “Bor Kaplı Hafif Agregalı Betonların Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2013.
- [86] A. Esmailzadeh, “Mineral Katkılı Hafif Betonlarda Sülfat Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2013.

- [87] L. H. Nguyen, A.-L. Beaucour, S. Ortola, ve A. Noumowé, “Influence of The Volume Fraction and The Nature of Fine Lightweight Aggregates on The Thermal and Mechanical Properties of Structural Concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 51, ss. 121-132, 2014.
- [88] O. Gençel, T. Uygunoğlu, F. Köksal, ve M. Y. Durgun, “Hafif Agregalı Polimer Betonların Özellikleri”, *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Bartın, ss. 42-50, 2015.
- [89] H. Ö. Öz, H. E. Yücel, ve M. Güneş, “Freeze-Thaw Resistance of Self Compacting Concrete Incorporating Basic Pumice”, *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, c. 1, ss. 285-291, 2016.
- [90] C. Tasdemir, O. Sengul, ve M. A. Tasdemir, “A Comparative Study on The Thermal Conductivities and Mechanical Properties of Lightweight Concretes”, *Energy and Buildings*, c. 151, ss. 469-475, 2017.
- [91] F. Moodi, A. Kashi, A. A. Ramezaniapour, ve M. Pourebrahimi, “Investigation on Mechanical and Durability Properties of Polymer and Latex-Modified Concretes”, *Construction and Building Materials*, c. 191, ss. 145-154, 2018.
- [92] F. Şanlıtürk, “Kaplama ve Kaplamasız Perlit Agregasıyla Üretilen Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2019.
- [93] İ. Çelik, “Polyester Kaplı Pomza Agregalarla Elde Edilen Hafif Betonların Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 2019.
- [94] M. Shafiq vd., “Evaluation of Mechanical Properties of Lightweight Concrete with Pumice Aggregate”, *Advances in Science and Technology Research Journal*, c. 15, sy 2, ss. 30-38, 2021.
- [95] M. Y. Vahabi, B. Tahmouresi, H. Mosavi, ve S. Fakhretaha Aval, “Effect of Pre-Coating Lightweight Aggregates on The Self-Compacting Concrete”, *Structural Concrete*, c. 23, sy 4, ss. 2120-2131, 2022.
- [96] T. Göncüoğlu, “Kaplanmış Agregaların Hafif Beton Üretiminde Kullanılabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce, 2022.
- [97] MTA, “Nevşehir İli Maden ve Enerji Kaynakları”, 2010. Erişim: 28 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Nevsehir_Madenler.pdf
- [98] BlokBims, “Pomza Analiz Raporu”, Nevşehir, Türkiye, 2017.
- [99] TS EN 197-1, “Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Ankara, 2012.

- [100] Çimsa Çimento Fabrikası, “Çimento Teknik Veri Sayfası”, Afyon, 2021. Erişim: 28 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://cimsa.com.tr/wp-content/uploads/2022/03/AFYON-CEM-I-425-R-TDS-TR-22.03.22.pdf>
- [101] Turkuaz Polyester, “Ürün Teknik Sertifikası (TP220)”. Erişim: 28 Mayıs 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.turkuazpolyester.com.tr/tr/1238/TP220/>
- [102] TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini”, Ankara, 2022.
- [103] TS EN 12350-2, “Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi”, Ankara, 2019.
- [104] TS EN 12350-6, “Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Birim Hacim Kütlesi”, Ankara, 2019.
- [105] TS EN 12390-7, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Kütlesinin Tayini”, Ankara, 2019.
- [106] TS EN 12390-3, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayin”, Ankara, 2019.
- [107] İ. Ustabas ve Ş. Erdoğan, “Betonda Deniz Kumu Kullanımı ve Kılcallık Etkisiyle Klorür Taşınması”, *THBB Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, ss. 99-108, 2011.
- [108] ASTM C1585-20, “Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes”, 2020.
- [109] ASTM C597, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, 2002.
- [110] T. R. Naik, V. M. Malhotra, ve J. S. Popovics, “The Ultrasonic Pulse Velocity Method”, *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*, c. 8, sy 19, ss. 8-1, 2003.
- [111] ASTM C518-21, “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of The Heat Flow Meter Apparatus”, 2021.
- [112] M. Akın vd., “İgnimbiritlerde Pomza Şekli ile Fiziksel-Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi”, *Geosound*, c. 55, sy 1, ss. 80-104, 2022.
- [113] D. Bajare, J. Kazjonovs, ve A. Korjakins, “Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste”, *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, c. 4, sy 5, 2013.
- [114] M. R. Ali, M. Maslehuddin, M. Shameem, ve M. S. Barry, “Thermal-Resistant Lightweight Concrete With Polyethylene Beads As Coarse Aggregates”, *Construction and Building Materials*, c. 164, ss. 739-749, 2018.
- [115] J. Alexandre Bogas, M. G. Gomes, ve S. Real, “Capillary Absorption of Structural Lightweight Aggregate Concrete”, *Materials and Structures*, c. 48, sy 9, ss. 2869-

2883, 2015.

- [116] İ. B. Topçu ve T. Uygunoğlu, “Effect of Aggregate Type on Properties of Hardened Self-Consolidating Lightweight Concrete (SCLC)”, *Construction and Building Materials*, c. 24, sy 7, ss. 1286-1295, 2010.
- [117] O. Geçten ve R. Gül, “Pomza ve Normal Agregalı Betonların Kılcal Geçirimliği ve Basınç Dayanımları Üzerine Kürün Etkileri”, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, c. 16, sy 2, ss. 29-36, 2013.
- [118] B. Demirel ve S. Yazıcıoğlu, “Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 11, sy 1, ss. 103-109, 2009.
- [119] M. Kurt, M. S. Gül, R. Gül, A. C. Aydın, ve T. Kotan, “The Effect of Pumice Powder on The Self-Compactability of Pumice Aggregate Lightweight Concrete”, *Construction and Building Materials*, c. 103, ss. 36-46, 2016.
- [120] H. Tanyidizi ve A. Coskun, “Determination of The Principal Parameter of Ultrasonic Pulse Velocity and Compressive Strength of Lightweight Concrete by Using Variance Method”, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, c. 44, sy 9, ss. 639-646, 2008.
- [121] W. Sun, Y. M. Zhang, H. D. Yan, ve R. Mu, “Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete Under The Action of Load and Freeze-Thaw Cycles”, *Cement and Concrete Research*, c. 29, sy 9, ss. 1519-1523, 1999.
- [122] S. Rustamov, S. Woo Kim, M. Kwon, ve J. Kim, “Mechanical Behavior of Fiber-Reinforced Lightweight Concrete Subjected to Repeated Freezing and Thawing”, *Construction and Building Materials*, c. 273, s. 121710, 2021.
- [123] M. Tanyıldızı ve İ. Gökalp, “Utilization of Pumice As Aggregate in The Concrete: A State of Art”, *Construction and Building Materials*, c. 377, s. 131102, 2023.
- [124] R. Polat, R. Demirboğa, M. B. Karakoç, ve İ. Türkmen, “The Influence of Lightweight Aggregate on The Physico-Mechanical Properties of Concrete Exposed to Freeze-Thaw Cycles”, *Cold Regions Science and Technology*, c. 60, sy 1, ss. 51-56, 2010.
- [125] N. Kabay, A. Kızılkanaat, ve M. Tüfekçi, “Effect of Prewetted Pumice Aggregate Addition on Concrete Properties Under Different Curing Conditions”, *Periodica Polytechnica-Civil Engineering*, c. 60, sy 1, ss. 89-95, 2016.
- [126] A. M. Rashad, “A Short Manual on Natural Pumice As A Lightweight Aggregate”, *Journal of Building Engineering*, c. 25, s. 100802, 2019.
- [127] T. Holm ve T. Bremner, “State-of-the-Art Report on High-Strength, High-Durability Structural Low-Density Concrete for Applications in Severe Marine Environments”, 2000.

- [128] S. Real, J. A. Bogas, M. da G. Gomes, ve B. Ferrer, “Thermal Conductivity of Structural Lightweight Aggregate Concrete”, *Magazine of Concrete Research*, c. 68, sy 15, ss. 798-808, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Metin TUNCER

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	2021
Lise		Açık Öğretim Lisesi	2016

YAYINLAR

M. Tuncer, Ü. Yurt ve M. Emiroğlu, “Investigation of Engineering Properties of Geopolymer Mortars Produced Using Metakaolin and YFC” 4th International Engineering Research Symposium, ss. 132, Düzce, Türkiye, 2022

A. Bideci, M. Tuncer, E. Akalın ve S. Koç, “Polimer Betonlarda Atık Lastik Granüllerinin Kullanımı”, Çukurova 8th International Scientific Researches Conferences, ss. 1218-1228, Adana, Türkiye, 2022.

C. Demirdağ, A. Bideci ve M. Tuncer, “Effect of Coconut Fiber in Polymer Concrete”, 8th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, ss. 885-895, Mardin, Türkiye, 2022

M. Tuncer, B. Çomak ve A. Bideci, “Freeze Thaw Effect On Polyester Coated Pumice Aggregate Lightweight Concretes”, 8th Selcuk International Conference on Applied Sciences, ss. 52-63, Konya, Türkiye, 2023