



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KAPLANMIŞ AGREGALARIN HAFİF BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ**

TURGAY GÖNCÜOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ.DR. MEHMET EMİROĞLU**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KAPLANMIŞ AGREGALARIN HAFİF BETON
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Turgay GÖNCÜOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU
Sakarya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ümit YURT
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 25/01/2022

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.

25 Ocak 2022

Turgay GÖNCÜOĞLU

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü sabır, destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın laboratuvar uygulama aşamasında yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Öğretim Görevlisi Alper Tunga ÖZGÜLER'e şükranlarımı sunarım.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Esra ve oğlum Mehmet Emin GÖNCÜOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

25 Ocak 2022

Turgay GÖNCÜOĞLU

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. BETON	1
1.1.1 Beton Neden Bu Kadar Fazla Kullanılır	1
1.1.2. Betonların Özellikleri	1
1.1.2.1. İşlenebilirlik.....	2
1.1.2.2. Dayanım.....	2
1.1.2.3. Dayanıklılık.....	2
1.1.3. Betonların Avantajları ve Dezavantajları	3
1.1.4 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar	5
1.1.4.1. Hafif Beton.....	5
1.1.4.2. Normal Beton.....	7
1.1.4.3. Ağır Beton.....	7
1.2. ÇİMENTO	8
1.2.1 Süper Sülfatlı Çimentolar (SSÇ)	9
1.2.2. Çok Düşük Isılı Özel Çimentolar (DIÇ)	9
1.2.3. Kalsiyum Alüminat Çimentosu (CAC).....	10
1.2.4. Harç Çimentosu (HÇ).....	11
1.2.5. Borlu Aktif Belit Çimentosu (BAB)	11
1.2.6. Beyaz Portland Çimentosu (BPÇ)	12
1.3. AGREGA	12
1.3.1 Oluşumlarına Göre Agregalar.....	13
1.3.1.1. Doğal Agregalar	13
1.3.1.2. İşlenmiş Doğal Agregalar.....	13
1.3.1.3. Yapay Agregalar.....	14
1.3.2. Ağırlıklarına Göre Agregalar	14
1.3.2.1. Ağır Agregalar.....	14

1.3.2.2. Normal Agregalar.....	14
1.3.2.3. Hafif Agregalar.....	15
1.3.3. Pomza.....	15
1.3.3.1. Pomzanın Oluşumu.....	16
1.3.3.2. Dünya 'da ve Türkiye 'de Pomza Rezervleri	18
1.3.3.3. Pomzanın Kullanım Alanları	21
2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖZETİ.....	23
3. MATERYAL VE METOT	34
3.1. MATERYAL	34
3.1.1. Agregas.....	34
3.1.1.1 Pomza Agregası	34
3.1.2. Akışkanlaştırıcı	36
3.1.3. Çimento.....	36
3.1.4. Su	37
3.1.5. Çimento Kaplı Agregalar	37
3.2. METOT.....	45
3.2.1. Su Emme Deneyi	45
3.2.2. Agregas Darbe Değeri Deneyi (Impact Value)	45
3.2.3. Özgöl Ağırlık Faktörü Deneyi	47
3.2.4. Gevşek Birim Ağırlık Deneyi.....	47
3.2.5. Hafif Beton Karışımları.....	48
3.2.6. Çökme (Slump) Deneyi.....	49
3.2.7. Birim Ağırlık Deneyi	50
3.2.8. Kuru Birim Ağırlık Deneyi	51
3.2.9. Basınç Dayanımı Deneyi.....	52
3.2.10. Yarmada Çekme Dayanımı.....	52
3.2.11. Eğilme Dayanımı.....	54
3.2.12. Elastisite Modülü Tayini ve Poisson Oranı	55
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. SU EMME DENEYİ.....	57
4.2. AGREGA DARBE DEĞERİ DENEYİ (IMPACT VALUE).....	59
4.3. ÖZGÖL AĞIRLIK FAKTÖRÜ DENEYİ.....	60
4.4. GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK DENEYİ	62
4.5. ÇÖKME (SLUMP) DENEYİ.....	63
4.6. BİRİM HACİM AĞIRLIK.....	64

4.7. KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK	65
4.8. BASINÇ DAYANIMI	66
4.9. YARMADA ÇEKME DAYANIMI	67
4.10. EĞİLME DAYANIMI.....	69
4.11. ELASTİSİTE MODÜLÜ TAYİNİ VE POİSSON ORANI.....	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
6. KAYNAKLAR.....	74
7. ÖZGEÇMİŞ.....	82



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Volkanlar ve bağlantılı diğer jeolojik oluşumların genel görünümü	17
Şekil 1.2. Dünya’da pomza üreten başlıca ülkelerin dağılımı	19
Şekil 1.3. Türkiye’deki pomza rezervlerinin dağılımı	20
Şekil 3.1. Kayseri ili maden haritası	35
Şekil 3.2. Kaplama işleminin yapıldığı döner tambur.	38
Şekil 3.3. Kompresör.	38
Şekil 3.4. Fasarit tabancası.	38
Şekil 3.5. a) Agregalar tartılmıştır, b) Çimento tartılmıştır, c) Su tartılmıştır, d) Süper akışkanlaştırıcı tartılmıştır, e) Agregalar döner tambura bırakılmıştır, f) Çimento hamuru hazırlanmıştır, g) Çimento hamuru fasarit tabancasıyla agregalara püskürtülmüştür, h) Kaplanan agregalar kuruması için zemine serilmiştir, ı) Kaplanan agregalar tel sepetlere bırakılarak 28 gün süresince kür havuzuna bırakılmıştır.	40
Şekil 3.6. Pomza agregasının kaplama işlemleri.	41
Şekil 3.7. 4/8 mm ve 8/16 mm Kaplanmamış ve kaplanmış pomza agregaları.	41
Şekil 3.8. a) Kesiti alınan 0.55-KA agregası, b) 0.55-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.55-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları,	42
Şekil 3.9. a) Kesiti alınan 0.50-KA agregası, b) 0.50-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.50-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları,	43
Şekil 3.10. a) 0.35-KA agregasının kaplama kalınlıkları, b) 0.35-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.35-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları,	43
Şekil 3.11. a) 0.25-KA agregasının kaplama kalınlıkları, b) 0.25-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.25-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları,	44
Şekil 3.12. Agregada darbe katsayısı deneyi.	46
Şekil 3.13. Elektrikli portatif betoniyer.	49
Şekil 3.14. Çökme deneyi.	50
Şekil 3.15. Kumpasla ölçümü yapılan beton numunesinin kuru birim hacim ağırlığı. ..	51
Şekil 3.16. Basınç test cihazı.	52
Şekil 3.17. Beton numunelerin yarmada çekme deney cihazı.	53
Şekil 3.18. a) Yarmada çekme deneyi kontrol numunesi görüntüsü, b) Yarmada çekme deneyi 0.55-KA numunesi görüntüsü, c) Yarmada çekme deneyi 0.50-KA numunesi görüntüsü, d) Yarmada çekme deneyi 0.35-KA numunesi görüntüsü, e) Yarmada çekme deneyi 0.25-KA numunesi görüntüsü.	54
Şekil 3.19. Eğilme dayanımı deney cihazı.	55
Şekil 3.20. Elastisite modülü tayini.	56
Şekil 4.1. 4-8 mm kaplanmış agregaların su emme oranlarının grafiği.	58
Şekil 4.2. 8-16 mm kaplanmış agregaların su emme oranlarının grafiği.	58
Şekil 4.3. Agregaların darbe sonucu ufalanma grafiği	60

Şekil 4.4. 4-8 mm agregaların özgül ağırlık faktörü grafiği	61
Şekil 4.5. 8-16 mm agregaların özgül ağırlık faktörü grafiği	61
Şekil 4.6. Gevşek birim ağırlığı hesaplanan numunelerin grafiği	62
Şekil 4.7. Taze beton numunelerin çökme değerleri grafiği	63
Şekil 4.8. Taze beton numunelerin birim ağırlıkları grafiği	64
Şekil 4.9. Beton numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları grafiği	65
Şekil 4.10. Numunelerin Basınç dayanımları grafiği	67
Şekil 4.11. Yarmada çekme dayanımları grafiği	68
Şekil 4.12. Beton numunelerin eğilme dayanımları grafiği	69
Şekil 4.13. Elastisite modülü değerleri grafiği	71



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1. Dünya pomza rezervi	19
Çizelge 1.2. Türkiye’deki pomza rezervleri	20
Çizelge 3.1. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal özellikleri	36
Çizelge 3.2. Sika firmasına ait ViscoCrete Hi-Tech 51 teknik özellikleri.	36
Çizelge 3.3. Seza çimento fabrikasına ait CEM I 42,5 R çimentosu,	37
Çizelge 3.4. 4-8 mm ve 8-16 mm’lik pomza agregalarına kaplama.....	44
Çizelge 3.5. Beton karışım miktarları.	49
Çizelge 3.6. TS EN 206-1’e standardına uygun olan çökme sınıfları ve değerleri [82].	50
Çizelge 4.1. Agregaların su emme oranları	57
Çizelge 4.2. Agregada darbe katsayısı ufalanma yüzdesi	59
Çizelge 4.3. Özgül ağırlık faktörü değerleri	60
Çizelge 4.4. Gevşek birim ağırlık değerleri	62
Çizelge 4.5. Çökme değerleri	63
Çizelge 4.6. Taze beton birim ağırlıkları	64
Çizelge 4.7. Kuru birim ağırlık deney sonuçları.....	65
Çizelge 4.8. Numunelerin Basınç dayanım sonuçları.....	66
Çizelge 4.9. Yarmada çekme deneyi numune sonuçları	68
Çizelge 4.10. Beton numunelerin eğilme dayanımları sonuçları.....	69
Çizelge 4.11. Elastisite modülü değerleri	70
Çizelge 4.12. Poisson oranları	71

KISALTMALAR

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
BAB	Borlu Aktif Belit Çimentosu
BIÇ	Beyaz Portland Çimento
BSI	İngiliz Standartları Enstitüsü
CAC	Kalsiyum Alüminat Çimento
CEM	Portland Çimento
CSH	Kalsiyum-Silikat-Hidrat
DIÇ	Çok Düşük Isılı Özel Çimento
HÇ	Harç Çimentosu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
S/Ç	Su/Çimento
SBR	Stiren-butadien
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SSÇ	Süper Sülfatlı Çimento
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
0.55-KA	%55 S/Ç oranında çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaları
0.50-KA	%50 S/Ç oranında çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaları
0.35-KA	%35 S/Ç oranında çimento hamuru ve %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak kaplanmış pomza agregaları
0.25-KA	%25 S/Ç oranında çimento hamuru ve %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak kaplanmış pomza agregaları

SİMGELER

°C	Santigrat derece
μm	Kütle zayıflatma katsayısı
A	Su dolu cam mezür kap ağırlığı
A ¹	Agrega ve su dolu cam mezür kap ağırlığı
dk	Dakika
g	Gram
kN	Kilo newton
m ¹	Agreganın etüv kurusu kütlesi
m ²	Agreganın doymun kuru yüzey kütlesi
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
Ø	Çap
Pa	Agrega hava kurusu kütlesi
V	Hacim
W _a	Su emme oranı
δ	Özgöl ağırlık
ρ _b	Gevşek yığın yoğunluğu

ÖZET

KAPLANMIŞ AGREGALARIN HAFİF BETON ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Turgay GÖNCÜOĞLU

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Ocak 2022, 82 sayfa

Günümüzde, beton yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olup beton üretiminde toplam hacmin %60-75'ini agregalar oluşturmaktadır. Hafif beton üretebilmenin yollarından biri, beton içerisinde kullanılan agregaların hafif agrega olarak tercih edilmesidir. Bu yolla doğal veya yapay hafif agregaların beton içerisinde tercih edilip düşük yoğunluk ve ısı yalıtımı gibi amaçlarla hafif beton üretimi gerçekleştirilmektedir. Ülkemiz, özellikle pomza kaynakları açısından büyük potansiyele sahip olsa da hafif beton üretimi ve kullanımı açısından günümüzde hala istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Hafif betonların üretiminde kullanılan doğal hafif agregaların en temel özellikleri, iç yapılarının yüksek oranda boşluklu oluşu ve çimento ile yeterli aderansı sağlayabilecek bir yapıda olmalarıdır. Bu çalışmada, Kayseri-Talas yöresine ait pomza, agregası dört farklı su/bağlayıcı oranına sahip çimento hamuru ile kaplanmıştır. Kapanmış agregaların temel fiziksel ve mekanik özellikleri incelenerek taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılmıştır. Kapanmış ve kaplanmamış pomza agregalar kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif betonlara basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü tayini deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre kaplanmış pomza agregalar kullanılarak üretilen taşıyıcı hafif betonların bütün değerlerinde önemli derecede iyileşmeler ve artışların meydana geldiği tespit edilmiştir. Böylece çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaların taşıyıcı hafif beton üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Basınç dayanımı, Çimento, Hafif beton, Pomza.

ABSTRACT

USABILITY OF COATED AGGREGATES IN LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTION

Turgay GONCUOGLU

Düzce University

Institute of Graduate Education, Department of Composite Materials Technology

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet EMIROĞLU

January 2022, 82 pages

Today, concrete is a widely used building material, and aggregates constitute 60-75% of the total volume in concrete production. One of the ways to produce lightweight concrete is to prefer lightweight aggregates in concrete production. In this way, natural or artificial lightweight aggregates are preferred in concretes aiming at low density and thermal insulation. Although our country has great potential, especially regarding pumice resources, the desired level has not been reached today in the production and usage of lightweight concrete. The essential features of natural lightweight aggregates used in the production of lightweight concrete are that their internal structures are highly porous and have a structure that can provide sufficient adherence with cement paste. In this study, the pumice aggregate belonging to the Kayseri-Talas region was coated with cement paste having four different water/binder ratios. The coated aggregates' basic physical and mechanical properties were examined, and they were used to produce structural lightweight concretes. Compressive strength, tensile strength, flexural strength, and modulus of elasticity tests were carried out on lightweight carrier concrete including coated and uncoated pumice aggregates. According to the test results, it was determined that there were significant improvements and increases in all values of the lightweight concrete produced using coated pumice aggregates. Thus, it has been determined that pumice aggregates coated with cement paste can be used in the production of structural lightweight concrete.

Keywords: Compressive strength, Cement, Lightweight concrete, Pumice.

1. GİRİŞ

1.1. BETON

Günümüz koşullarında insanların yaşam alanı olan evler ve binalar, eğitim gördükleri okullar, spor salonları, sanayi tesisleri, karayolları, havaalanları, demir yolları, limanlar, barajlar ve daha birçok sektörde en fazla tercih edilen kompozit malzemelerinden biri betondur. Beton; belirlenen oranlarla agrega, su, çimento ve ihtiyaç halinde katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir.

Dünyada en çok kullanılan ürünlerden bir tanesi olan beton, yapı malzemeleri içerisinde ekonomiklik, dayanıklılık, estetiklik, az enerji tüketimi, kolay şekil verilebilme, her yerde üretilibilme, yıllarca bakım gerektirmeme gibi özelliklerinden dolayı kaliteli yapı üretimi için tercih edilen yapay bir malzemedir. Betondan beklenen özellikler işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır. Bunları sağlayan faktörler, beton karışımına eklenen suyun niteliği, su/çimento oranı, çimentonun kimyasal yapısı ve dozajı, agrega çimento oranı, agreganın niteliği, kimyasal yapıları farklı olan katkı maddeleri, betonun yaşı, betonun hava içeriği, kür sırasındaki dış çevre koşulları, betonun kompozitesi, üretim, numune boyutu ve son olarak tasarım ile teknik elemanların üretimin her kademesini denetlemesi ve kalite kontrolü yapmasıdır [1].

1.1.1 Beton Neden Bu Kadar Fazla Kullanılır

İnsanların barınma, eğitim, sağlık, çalışma ve sosyal aktivite alanlarını inşa edebilmek ve giderek artan dünya nüfusunun bu alandaki ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yapılaşmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Teknolojinin gelişmesi, hayat koşulları nedeniyle betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan faydalanılmayan tek bir gün yoktur. Yapılaşmanın çoğalması nedeniyle her geçen gün betona duyulan gereksinim artış göstermektedir [2].

1.1.2. Betonların Özellikleri

Çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin karışımından oluşan betonun, üç ana özelliğe sahip olması gerekmektedir. 1. İşlenebilir olmalı, 2. Dayanımı yüksek olmalı, 3. Dış etkilere karşı dayanıklı (durabilitesi yüksek) olmalıdır [3]. Betonun hava şartları, kimyasal etkiler, erozyon, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, asitler, kirli sular, sülfat

etkisi, deniz suyu, alkali-silika reaksiyonu gibi etkilere karşı gösterdiği direnç dayanım ve dayanıklılık seviyesini gösterir. Taze betonda taşıma, yerleştirme şekil verdirebilme kolaylığı ve agreganın granülometrik bileşiminin rolü betonun işlenebilirlik özelliği için oldukça önemlidir.

1.1.2.1. İşlenebilirlik

Taze betonda aranılan en önemli nitelik işlenebilme özelliğidir. Taze betonun işlenebilirlik niteliğine sahip olabilmesi için kullanılacağı yere ve amaca göre taşıma, kalıba yerleştirme işleminin kolay olması, çok fazla enerji kullanımına ihtiyaç olmadan sıkıştırılabilmesi, homojen bir dağılıma imkân verecek şekilde yüzeyinin düzeltilebilmesi, döküldüğü yere kolaylıkla yayılabilmesi ve mümkün olduğu kadar az boşluksuz olarak elemanları doldurması gibi özellikleri gösterebilmesi gerekir. İşlenebilirlik özelliğine granülometrik bileşim bakımından etki yapan en önemli faktörlerden biri olan agreganın tane boyutu yapı koşulları ve yapı çeşitleri dikkate alınarak seçilmelidir [4].

1.1.2.2. Dayanım

Birçok yapının inşasında kullanılmakta olan betonun üzerine farklı eksenlerde statik ve dinamik türde kuvvetler gelebilmektedir. Beton üzerinde basınç oluşturan bu kuvvetleri taşıyabilmek için direnç göstermekte bu ise betonda şekil değişikliklerine kırılmalara neden olmaktadır. Betonun maruz kaldığı yükler nedeniyle ortaya çıkan şekil değişiklikleri ve betonun kırılmalar karşısında göstereceği en yüksek seviyedeki direnç beton dayanımı olarak tanımlanır [5]. Beton dayanımında etkili olan faktörleri çimento hamuru dayanımı agrega dayanımı, çimento hamuru ve agrega arasındaki bağ (aderans) şeklinde sıralayabiliriz.

1.1.2.3. Dayanıklılık

Dayanıklılık betonunun zaman içerisinde kimyasal ve fiziksel etkilere karşı özelliklerini kaybetmeden işlevselliğini devam ettirebilme kapasitesidir. Betonun dayanıklılığını etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörleri betonun üretimi sırasında bünyesinde oluşan boşluk ve bu boşluğa bağlı olarak ortaya çıkan beton geçirimliliği, su/çimento oranı, karma suyunun özellikleri, agrega ve çimento nitelikleri, betonda oluşan kırılma, betonun taşınması, dökülmesi, sıkıştırılması sırasındaki uygulamalar, kür şartları, darbe, betonun yaşı, betonda aşınma, erozyon, ve oyulma (kavitasyon) yüksek sıcaklıklar, donma çözülme, buz çözücü tuzlar, sülfat etkisi, tuz kristalizasyonu, aşınma etkisi, magnezyum

iyonlarının etkisi ve karbonik asit etkisi, alkali agrega tepkimeleri, korozyon, karbonatlaşma, şeklinde sıralayabiliriz [6].

1.1.3. Betonların Avantajları ve Dezavantajları

Betonun özellikleri, betonu oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, karışımda kullanılan katkı maddelerine ve karışım miktarlarına bağlı olarak değişmektedir. Beton özelliklerinin değişimine neden olan faktörler beton kullanımının avantajlı ve dezavantajlı olmasında da etkilidir.

Betonun avantajları;

- Taze betonun yoğrulabilir özelliğinden dolayı istenilen şekil ve boyutlarda beton blokların rahatlıkla üretilebilmesi,
- Sertleşmiş beton blokların inşaat alanında üretilebildiği gibi fabrikasyon olarak önceden üretimi yapılarak sertleşmiş olarak yapıda rahatlıkla getirilip kullanılabilmesi,
- Beton yerleştirilirken farklı metotlar kullanılabilmesi,
- Sertleşmiş beton basınç dayanımı konusunda yüksek bir yeterliliğe sahip olması,
- Sertleşmiş betonun, kullanım ömrü süresince yapısına zarar verecek ve hizmet edemez duruma getirecek etkilere karşı dayanıklılığın yüksek olması,
- Betonun bakım maliyeti neredeyse yok denecek kadar az olması,
- Beton malzemelerinin çoğu yerde kolaylıkla bulunabilmesi,
- Betonun, yanmaz yapısı nedeniyle bir binayı yangına karşı güvenli hale getirmesi,
- Betonun yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi,
- Betonun ses yalıtımı konusunda avantajlı olması,
- Betonun rüzgâra ve suya karşı mukavemetli olması,
- Betonun, donatı çeliği ile yüksek düzeyde aderansa (bağ) sahip olması,
- Betonun, yapı malzemeleri arasındaki en ekonomik yapı malzemesi olması,
- Betonu istenilen mukavemette üretebilmesi,
- Betonun, mimaride estetik bir görünüme olanak verebilen bir malzeme olması,

Betonun avantajlı olmayan yanları;

- Sertleşmiş betonda çekmeye karşı mukavemeti basınç dayanımına göre çok daha düşüktür.
- Kolay ufalanma özelliğine sahip olan sertleşmiş betonda çatlama riski oluşabileceği için dayanım gücü zayıflayabilir.
- Beton nemlenme, kuruma veya sıcaklık gibi faktörlerden etkilenerek hacminde değişiklikler görülebilir.
- Beton sabit yük niteliği taşıyan yapı malzemelerinin ağırlığına maruz kaldığı için zamanla kalıcı olarak hasar alabilir.
- Tam bir geçirimsizliğe sahip olmayan betonun içerisine girebilecek olan belirli miktarlardaki zararlı madde içeren suların sızması betonun dayanımını düşürebilmektedir.
- Betonun dayanım oranı metaller kadar yüksek olmadığı için sabit yük niteliği taşıyan yapı malzemelerinin ağırlığına maruz kalması durumunda yüksek orandaki ağırlıkları taşıyabilmesi için daha büyük ölçülerde olan beton elemanlarının kullanılması gerekir. Buda maliyetin yükselmesine neden olur [7].

Yüksek sıcaklıklarda betonun davranışı;

Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkilerini sıralarsak ısı geçirgenliği, ısı yayınması, ısıl genleşme, öz ısı, birim ağırlığı ve renk değişimi gibi faktörlerden bahsedebiliriz. Bahsedilen bu fiziksel etkiler betonun mekanik yapısında da değişikliklere sebep olur. Betonun yüksek sıcaklık karşısındaki durabilite seviyesi diğer yapı malzemelerine göre daha yüksektir. Buna rağmen sıcaklık miktarının yükselmesi ve betonun uzun süre bu sıcaklığa maruz kalması betonda aşağıda sıralanan etkilerin görülmesine neden olur [8].

- Yüksek sıcaklık etkisinde olan betonun örtü kalınlığı (pas payı) azalır ve beton içerisindeki çelik donatılarda esneme ve akma meydana gelir.
- Yüksek sıcaklıkla betonun bünyesinde bulunan kalsiyum silikat hidratenin, katı ögeleri arasındaki aderansı sağlayan jel adsorbe suyu ve kılcal boşluklardaki suyun buharlaşıp basıncın artmasına bunun sonucunda betonun çatlamasına ve dağılarak kopmasına sebep olur.

- Çimento hamurunda başlangıçta küçük çatlaklar oluşmuşsa yüksek sıcaklıkla birlikte bu çatlaklar hızla ilerleyip büyür.
- Yüksek sıcaklığa maruz kalan köpük cüruf, pomza ve genleştirilmiş kil gibi hafif agregaların kullanıldığı hafif betonların yangın dirençleri silis esaslı agreganın kullanıldığı hafif betonlara göre daha iyi olduğu için silis esaslı hafif betonlarda parçalanmalar meydana gelir.
- Yüksek sıcaklığın 600°C'ye kadar yükselmesi betonda yeşile yakın bir sarıdan kırmızıya dönen belirgin bir renk değişikliğine sebep olur. Renkteki değişim betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı betonun yapısında ve bileşimindeki ne tür değişiklikler olduğu ve basınç dayanımındaki farklılıkları anlamada önemli bir parametre olarak görülür.

1.1.4 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar

Betonda kullanılan agregaların birim ağırlıklarına göre hafif beton, normal beton ve ağır beton olarak sınıflandırılmaktadır.

1.1.4.1. Hafif Beton

Birim hacim ağırlığı 800-2000 kg/m³ arasında olan betonlara hafif beton denir. Üstün özelliklere sahip hafif beton özellikle ses yalıtımı, ısı yalıtımı ve normale göre birim ağırlık açısından yükselen bir taleple kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Yapı sektöründe hafif betonun üretiminde doğal veya yapay hafif agregalar kullanılarak yapı ağırlığı minimum seviyeye çekilerek depremler karşısında dayanıklı, yüksek mukavemetli taşıyıcı yapı elemanları elde edilebilmektedir. Hafif agregalı betonların cinsine göre yoğunluğunda değişimler meydana gelmekte beton sertleştiğinde hacimsel olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar betonun fiziksel ve mekanik niteliğiyle alakalı olup, bunlar [9];

- Dayanım,
- Elastiklik,
- Yoğunluk,
- Isıl özellikler,
- Su geçirgenlik oranı,
- Yüksek sıcaklık karşısında betonda görülen değişimler,
- Aşınma dayanımı.

Hafif betonun olumlu özellikleri;

- Hafif beton, yapının yükünü azalttığı için düşey yüklerde azalma meydana getirir. Dolayısıyla depremler esnasında yapının uğrayacağı yatay kuvvetler daha düşük oranda olumsuz etki eder.
- Yapının ağırlığının azalması ile imalatteki kesitlerde küçülme meydana geldiği için donatı ve diğer malzemeler daha ekonomik hale gelir.
- Hafif beton depreme karşı dayanıklı olmakla birlikte ses ve ısı izolasyonunu sağlama bakımından iyi bir özelliğe sahiptir.
- İzolasyon için ekstra bir malzeme kullanılmasına gerek olmayacağından maliyetleri düşüktür.
- Yangına ve donma-çözölmeye karşı dayanım oranı yüksektir.
- Hafifliğinden dolayı taşıma, yerleştirme ve uygulama işlemleri kolaydır.
- Ülkemizde bulunan hafif ham maddelerinin kullanılması ile ekonomiye ekstra bir değer katar [10].

Hafif betonun olumsuz özellikleri;

- Hafif betonun boşluklu yapısından dolayı mukavemetleri düşüktür.
- Aşınmaya karşı dayanımı düşüktür.
- Elastisite modülü düşük değerler alabilir.
- Rutubete karşı ekstra önlemler alınması gerekir.
- Sabit yük altında belli bir süreden sonra oluşan deformasyon, büzölme ve su kaybından dolayı meydana gelen çatlakların oluşumu normal betonlara göre daha yüksektir [10].

Hafif betonların normal betona oranla avantajlı yanları;

Kum ve agregaların karışımı ile elde edilen normal betonun kuru hacminin ağırlığı 2200-2400 kg/m³ dolayındadır. Betondan üretilen yapı malzemelerinin ağırlığının çok fazla olması tercih edilmeyen bir durumdur. Beton üretiminde hafif agregaların kullanılması neticesinde birim hacim ağırlıkları azalmaktadır. Betonarme yapıları meydana getiren taşıyıcı olmayan, yarı taşıyıcı ve taşıyıcı, malzemeler kullanılarak öz ağırlıkları azaltılmış, bunun sonucunda hafif agregalı betonların kullanımı giderek yaygınlaşmıştır [11].

Hafif betonların içeriğinde kullanılan agregaların birim ağırlıklarına göre hafif beton, yarı taşıyıcı hafif beton, taşıyıcı hafif beton ve yalıtım özellikli beton olarak dört farklı şekilde sınıflandırılabiliriz.

- Yalıtım betonu; Birim hacim ağırlığı en düşük olan yaklaşık 400-800 kg/m³, mukavemeti 0.7-7 MPa arasında değişen, ısı ve ses yalıtımı sağlayan, taşıyıcı özelliği olmayan panel ve bölme duvarlarda kullanılan betonlardır.
- Yarı taşıyıcı hafif betonlar; Birim hacim ağırlığı 800-1350 kg/m³, mukavemeti 7-17 MPa arasında değişen döşeme elemanları, kapı pencere lentoları gibi donatı içeren betonlardır.
- Taşıyıcı hafif betonlar; Birim hacim ağırlığı 1350-2000 kg/m³, basınç dayanımı ise en az 17 MPa olan yapı bünyesindeki kolon, kiriş, döşeme, panel gibi taşıyıcı sistemlerin imalatında kullanılan betonlardır [12].

1.1.4.2. Normal Beton

Etüv kurusu halindeki birim hacim ağırlığı 2000 kg/m³'ten büyük olup 2600 kg/m³'ü geçmeyen özellikle doğal agregalarla üretilen betonlardır [13]. Bu betonlar özel amaçla ayrıcalık istemeyen türdeki yapılarda kullanılmaktadır. Kullanılan malzemelerin kolaylıkla bulunması, dayanımlarının istenilen seviyelerde olması, rahatlıkla işlenebilmesi ve üretim maliyetlerinin düşük olmasından ötürü diğer yapı malzemelerine göre daha çok tercih edilmektedir [14].

1.1.4.3. Ağır Beton

Etüv kurusu halindeki birim hacim ağırlığı 2600 kg/m³'ten fazla olan betonlardır [13]. Ağır betonlar önceden özel yapıların kayma, göçme ve devrilmelere karşı koyabilmesi için kullanılmıştır. Şimdi ise daha çok nükleer santraller ve askeri mühimmat depolarının inşasında tercih edilmekle birlikte tıp sektöründe var olan bazı radyoaktif ışınların insanlara ve çevreye verdiği zararın engellenmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Ağır betonlarda kullanılan agregaların yoğunlukları oldukça yüksektir [15].

1.2. ÇİMENTO

Su ile reaksiyonu sonucunda katılaşılarak çevresindeki maddeleri birbirine bağlayan ve suda çözünmeyen hidrolik bağlayıcıdır. Su ile karıştırıldığında plastik hamur kıvamına geldikten belli bir süre sonra havada veya su içerisinde katılaşıp. Gerçekleşen bu olaya priz denilmektedir [16]. Normal koşullarda katılaşma durumu on dakika içerisinde başlar. Bu olaya yalancı priz denir. Daha sonraki saatlerde sertleşme ve mukavemeti artmakta on saatlik süreç içerisinde katılaşma meydana gelmektedir. Alüminyum (Al), Kalsiyum (Ca), Silisyum (Si) ve Demiroksitler (Fe_2O_3) bulunan hammaddelerin, teknolojik tekniklerle sinterleşme seviyesine kadar pişirilmesi neticesinde meydana gelen yarı mamul klinker bir veya daha çok katkı maddesinin öğütülmesi ile elde edilmektedir. %76-78 oranında $CaCO_3$ ve kilden oluşan bir karışım 1400 -1500 °C'lik döner fırınlarda klinker pişirilerek, çimentonun hammaddesi olan kalker taşı, çimentonun %65 oranında ihtiva eden CaO, kil ve Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , meydana gelir. 1000 °C'ye kadar kireçtaşı CO_2 'i salıverir geriye ise CaO yani kireç kalır. Oluşan bu kireç hammaddeleri, diğer karışımlarla reaksiyona girerek kalsiyumsilikat ve kalsiyumalüminat ihtiva eder. Bu sırada oluşan maddenin rengi sararak bağlayıcı özellik kazanmaktadır. Kireç diğer maddelerle birleştirilmesi esnasında içerisinde Fe_2O_3 miktarı ne kadar artırılırsa etkileşim seviyesi artar. Hammaddeye demir cevheri eklenebilir ve pişirme sıcaklığı 1500 °C'den fazla olmaz. Sıcaklık 1200 °C'nin üzerine çıkarsa renkte grileşme oluşur. 1350 °C'de sinterleşme meydana gelerek yüzeyinde erimeler oluşur. Bu şekilde oluşan madde de topaklaşma meydana gelerek sertleşme gerçekleşir. 1400 -1500 °C'de güçlenen ve meydana gelen malzemeye kalsiyum alüminoforitlerle takviye sonucunda klinkerler oluşur. Klinker, 1400-1500 °C arasındaki sıcaklıkta kil ve öğütülmüş kalker karışımının pişirilmesi sonucu oluşan topaklanmış bir üründür. Klinker içerisine % 4-5 oranında kalsiyum sülfat (alçı taşı) ilave edilip öğütülmesi sonucunda çimento meydana getirilir [17].

Türkiye'de üretilen çimentolar TS EN 197-1 standardına göre 27 çeşit çimento, 7 çeşit sülfat etkisine dayanımlı çimento ve 3 çeşit düşük erken dayanımlı yüksek fırın cürufllu çimento ve 2 çeşit sülfat etkisine karşı dayanıklı düşük erken dayanımlı yüksek fırın cürufllu çimento tiplerini kapsamaktadır. TS EN 197-1 standardına uymayan çimentolar [18];

- 1- Süper sülfatlı çimento (TS EN 15743)
- 2- Çok düşük ısılı özel çimentolar (TS EN 14216)

- 3- Kalsiyum alüminat çimentosu (TS EN 14647)
- 4- Harç çimentosu (TS EN 413-1)
- 5- Borlu aktif belit çimentosu (TS EN 13353)
- 6- Beyaz portland çimentosu (TS 21)

1.2.1 Süper Sülfatlı Çimentolar (SSÇ)

Süper sülfatlı çimentolar (SSÇ) birim hacim ağırlığına %65 oranında öğütülmüş yüksek fırın cürufu, alçı (CASO_4) ve portland çimentosu ve belli bir ölçüdeki portland çimento klinkerinin karıştırılması sonucu elde edilen çimentodur. Bu çimentoların bileşiminin ve kürlenme koşulları sağlandıktan sonra en iyi sonuca ulaşmak için 2, 7, 28, 60 ve 90 günlük basınç dayanımlarına bakılır. 28 günlük basınç dayanımı neticesinde SSÇ 32.5 sınıfına sahip tek tip çimentodur. Sodyum sülfat ve kalsiyum sülfat yüzünden sertleşmiş süper sülfat çimentolu betonlarda meydana gelebilecek yıpranmalar ve genleşmelere karşı oldukça dayanıklıdır. Bu tip çimentolar, yüksek fırın çimentolarına göre düşük hidrasyon ısısına ve çok yüksek sülfat dayanımına sahiptir. Süper sülfat çimentosu kullanılarak üretilen betonlarda su / çimento oranı %5'ten az olmamalı ve çimento inceliği ise $4000 - 5000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ civarında olmalıdır. Süper sülfatlı çimento kullanılarak elde edilen betonun su ile yeterince reaktif olması sonucunda kısa priz süresi ile hızlı kalıp çıkarma işlemi gerçekleşir. Deniz yapıları, sülfatlı ortamlara maruz temeller, kanalizasyonlar gibi yerlerde kullanılacak betonlar ile kütle betonlarında kullanılmaktadır [19].

1.2.2. Çok Düşük Isılı Özel Çimentolar (DİÇ)

Çok Düşük Isılı Özel Çimentolar bileşiminde yüksek oranda tetrakalsiyum alümino – ferrit (C_4AF), dikalsiyum silikat (C_2S), düşük oranda trikalsiyum silikat (C_3S) ve trikalsiyum alüminat (C_3A) bulunan daha az ısı açığa çıkaran ve priz ve sertleşme süresi normal portland çimentolara göre daha yavaş olan çimento çeşididir. Çimentonun hidrasyon ısısının yüksek olması büyük hacimli kütle betonlarında çatlaklara neden olduğu için çimentonun hidrasyon ısısının düşük olması gereklidir. Çok düşük ısıli çimentoların başlangıç mukavemetleri düşük olmasına rağmen son mukavemeti diğer portland çimentolarla eşittir [20]. Hidrasyon ısısının çok düşük olduğu çimentolarda bileşenlerin inceliği ve reaktivitesi nedeniyle hidrasyon işlemi daha yavaştır. Hidrasyon reaksiyonlarının olduğu esnada meydana gelen ısı yayılımının çok yavaş

olmasıyla sıcaklıkta büyük artışlar oluşmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı barajlarda kullanılması uygundur [16].

1.2.3. Kalsiyum Alüminat Çimentosu (CAC)

Kalsiyum Alüminat Çimentosu ısıya dayanıklılık, aşınma ve asitlere karşı direnç, erken dayanım alma gibi kimyasal ve fiziksel özellikler açısından portland çimentolarına göre daha üstün özelliklere sahiptir. Kalsiyum alüminat çimentosu kullanılarak elde edilen tamir betonları pratik, hızlı, güçlü ve uzun ömürlü niteliktedir [21].

Kalsiyum alüminatlı çimentolar, boksit ile kireç taşının, döner fırınlarda (1450 °C) eriyinceye kadar pişirilmesi sonucunda elde edilir. Bu çimentoların içeriğinde alümin miktarı %30'dan fazla ise bileşenlerinde (CA) ve (C₂S) vardır. Bu çimentolar asit karakterli özelliğe sahip olmakla birlikte 1 günlük mekanik dayanımı, portland çimentoların 8 aylık dayanımına denktir. Kalsiyum alüminatlı çimentolar priz alması ve sertleşmesi esnasında önemli ölçüde ısı açığa çıkarırlar. Bu tip çimentolarla imal edilen betonlarda Ca(OH)₂ meydana gelmez. Kimyasal faktörlere ve yoğun ısıya karşı dayanım gücü yüksektir. [22]. Ayrıca su sızıntılarına ve soğuk havalara karşı dayanıklı olduğu için soğuk havalarda beton dökümüne uygun olmakla beraber kütle betonlar için pek uygun değildir. Kürleme sırasında aşırı ısı açığa çıkarsa alüminli çimentolar bağlayıcılık özelliklerini kaybeder. Kalsiyum alüminatlı çimentolar, portland çimentolar ile karıştırılarak baraj ve tünellerde oluşan su sızıntılarına karşı önlem almak için kullanılır. Bu tip çimentolarda alümina muhtevası %40'tır. Kalsiyum alüminatlı çimentolar diğer çimentolarla kıyaslandığında hızlı ve iyi mukavemet almasının dışında, kimyasal aşınmalara, korozyona, yüksek ısıya ve diğer bozulmalara karşı direnç gösterir. Donma noktası diğer çimentolarla aynı olmasına karşın çok iyi dayanım göstermektedir. Biyolojik etmenlere ve asitlere karşı dirençli olma özelliğinden dolayı inşaat alanında kullanılan seramik yapıştırıcılar, hızlı bakım harçlarının üretiminde ve su sızdırmazlık materyallerinde, ateşe dayanıklı malzeme üretimi olan refrakter endüstrisinde, fırın, şömine ve dökümhanelerde kullanılmaktadır [23]. Kalsiyum alüminat içeren çimento betonlarının kullanım alanlarındaki faydaları aşağıda belirtilmiştir.

- Soğuk havalardaki mukavemeti
- Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılık
- Asitler ve alkaliler karşısındaki mukavemeti
- Deniz, saf su ve sülfatlara karşı dayanım

- Hızlı sertleşme

Kalsiyum alüminatlı çimento betonları kürlenme işlemleri için ıslak çuval, su spreyi, sis veya kür membranı kullanılarak en az 24 saat uygulama yapılmalıdır. Bu tip betonlarda iyi sonuçlar alınabilmesi için su/çimento oranının 0.40'ın altında olması gerekir. Uygulamada betonun iyi yerleşebilmesi için vibrasyon işlemi yapılmalıdır. Portland çimentolu betonlara göre çok daha hızlı ısı açığa çıkarırlar. 24 saat süresince çok iyi derecede dayanım kazanarak sertleşme işlemi gerçekleşmektedir [24].

1.2.4. Harç Çimentosu (HÇ)

İçerisinde en az %40 oranında portland çimento klinkeri ve %60 oranında uçucu külün puzolan olarak çimentoda kullanılması sonucu meydana gelen çimentodur. Bu tip çimentolar 28 günlük basınç dayanımına göre sıva harcı olarak imal edilen tek tip bir üründür [17].

1.2.5. Borlu Aktif Belit Çimentosu (BAB)

Dünyada yaygın kullanım alanına sahip olan elementlerin başında bor elementi yer almaktadır. Bor elementinden çimento ve beton üretiminde de faydalanılmaktadır. Bor mineral türleri arasında sayabileceğimiz pandemit, borasit, kolemanit, tinkal, kernit, szaybelit, hidroborasit ve üleksit gibi mineraller ticari açıdan önemlidir. Kolemanit minerali çimento üretiminde kullanıldığında klinker pişirme sıcaklığını düşürmekle birlikte atmosfere salınan karbondioksit miktarını da %25-30 oranında düşürmektedir Bor atıkları çimentonun yapısını olumsuz olarak etkileyebilecek zararlı herhangi bir içeriğe sahip değildir. Dolayısıyla bor atıklarının çimento üretiminde kullanılması büyük faydalar sağlamıştır. Bor atıklarının çimento üretiminde kullanılması atıklar stoklanırken ortaya çıkan maliyet sorununu azaltır ve aynı zamanda çevreyi atıkların oluşturduğu kirlilikten de belli oranda koruma avantajı sağlar. Bununla birlikte bor atıklarının kullanımıyla üretilen yeni ürünler ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır [25].

Bor mineralleri içeren klinker ve kireçtaşı kullanılarak elde edilen borlu aktif belit çimentosu, portland çimentosuna göre su ve gaz iletkenliği, dayanım ve hidrasyon ısı gibi etkenler açısından daha iyi özellikler göstermektedir. Bununla birlikte borlu aktif belit çimentosu hidrolik bir bağlayıcı ve ince öğütülmüş inorganik malzemedir [26]. Çimento hidrasyonun sağlaması için klinkerin ince öğütülmüş bir yapıda olması gerekir. İnce öğütülmüş inorganik malzeme olan borlu aktif belit çimentosu, su ile

kimyasal bir reaksiyona girdiğinde hidratasyon meydana gelmiş ve bunun sonucunda da çimento da katılaşma (priz alma) ve sertleşme meydana gelmiştir. Bu durum borlu aktif belit çimentosunun dayanım özelliğinin yüksek olduğunu göstermiştir [27].

1.2.6. Beyaz Portland Çimentosu (BPÇ)

Bu çimentonun hammaddesinde beyaz kil (kaolen), kalker, mermer tozu ve az miktarda demir oksit (Fe_2O_3) (%0,3'den az) ve mangan bulunmaktadır. Kireçtaşı ve kilin karıştırılması sonucu ortaya çıkan alçının beyaz klinker ile öğütülmesi neticesinde meydana gelir. Hafif yeşil-beyaz renkte olan beyaz portland çimentosu beyaz renk istenen yerlerde estetik amaçlarla kullanılmaktadır. İki çeşit beyaz portland çimentosu vardır. Bunlardan biri BPÇ 70 diğeri ise BPÇ 85'dir. 28 günlük basınç dayanımları gözönünde bulundurulduğunda ise beyaz portland çimentosu BPÇ 32,5 ve BPÇ 42,5 olmak üzere iki çeşittir. Beyaz portland çimentosunun imalatında kullanılan ham maddeler üretim yöntemleri portland çimentosundan farklıdır. Bundan dolayı üretim maliyetleri normal portland çimentoların 3 katı kadardır [28].

1.3. AGREGA

Beton üretiminde kullanılan kumlara, çakıl taşlarına ve kırmataş gibi taneli malzemelere agrega denilmektedir. İmal edilen betonların hacim olarak yaklaşık %75'lik kısmı agregalardan meydana gelmekte ve beton üretiminde önemli bir rol oynamaktadır [29]. Agregataneleri, çimento hamurunda zamanla meydana gelebilecek büzülme, genleşme gibi nedenlerden dolayı oluşacak çatlakları azaltır. Sert ve dayanıklı bir yapıda oldukları için betonun dayanımını artırır ve çevresel faktörlere karşı etkin rol oynar. Agreganın nitelikleri, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlediği gibi basınç dayanımı ve aşınma dayanıklılığı konularında da fikir sahibi olmamız açısından etkilidir. Beton karışım hesaplarında kullanılacak agregaların tane büyüklüğü, tane dağılımı, özgül ağırlık, su emme oranı ve birim ağırlıklarının bilinmesi gerekmektedir. Agregaların tane dağılımı taze betonun işlenebilme özelliğini doğrudan etkiler. Agregalar kullanılacağı yerin koşullarına göre belirlenmeli temiz, yüksek mukavemetli ve kimyasal faktörlere karşı dayanıklı olmalıdır. Ayrıca boşluklu yapıya sahip ve tabaka halinde olan kayalardan elde edilen agregalar, betonun dayanımını azaltarak taze betonun işlenebilme özelliğine olumsuz yönde etkiler. Çimento harcı ile agregalar arasındaki bağlantı fiziksel ve mekanik özellikler taşımakta ve bu bağlantıya aderans denilmektedir. Basınç

dayanımını düşürdüğü ve çimento harcı ile agregalar arasındaki aderans oluşumunu engellediği için kil, şilt ve organik maddelerin, agrega yüzeyinde bulunmamasına dikkat edilmelidir.

1.3.1 Oluşumlarına Göre Agregalar

Agregalar elde edilme ve üretilme koşullarına göre yapay agregalar, işlenmiş agregalar ve doğal agregalar olmak üzere üç farklı grupta sınıflandırılmaktadır [4].

1.3.1.1. Doğal Agregalar

Doğal agregalar taş ocaklarından, nehirlerden, teraslardan, denizlerden, göllerden, ovalardan ve çöllerden elde edilen kırılmış ya da kırılmamış bir işlem uygulanmamış mineral kökenli kaynaklardan oluşur [30]. Ocak ve dere malzemesi olan balast, çakıl ve kumlar 63 mm ile 2µm ve altında değişen boyutlara sahiptirler. Balastlar 63 mm ile 31.5 mm, çakıllar 31.5 mm' den başlayarak 4 mm arasında değişen boyutlara sahip agrega taneleridir. Kum ise 4 mm'den küçük taneciklere sahip parçacıklardır. Boyutları 63 µm ile 2 µm arasında yer alan malzemeye silt, 2 µm'den küçük olan tanecikler ise kil adı verilir [31],[32]. Rüzgâr, sıcaklık farkları, su, don olayı, buzul hareketleri gibi fiziksel etkenlerin ve birçok kimyasal sürecin etkisinde kalan kayaçlar aşınıp bozularak çakıl, kum, kil ve silt gibi agregalara dönüşmektedir. Çakıllar dere yataklarında, akarsu boylarında, deniz ve göl kıyılarında, kil ve siltler ise nehir kumlarında bulunmaktadır. Dere yataklarında bulunan çakıllar akıntının itiş gücüyle çakılları döndürerek sürüklemesinden ve aşındırmasından dolayı yassı, yayvan bir şekil alır. Çakılların bu şekli almasından dolayı aderans düşüklüğüne neden olur. Beton yapımına uygun olmayan betonun yerleşmesi ve dayanımını olumsuz etkileyen agregalar deniz kumu, çöl ve ova kumlarıdır. Deniz kumu tuz içermesinden dolayı betonarme içerisindeki çelik donatıyı korozyona uğratmasının yanında nemlenmeye sebebiyet verdiğinden çiçeklenme sorunlarına yol açar. İnce yapılı kumlar olan çöl ve ova kumları beton yapımında tercih edilmezler [33].

1.3.1.2. İşlenmiş Doğal Agregalar

Kırmataş agregaları elde edebilmek için kırma ve elenme işlemleri yapılır. Kırma işlemi agregaların betonarme yapılarda şekil, boyut ve dağılım açısından uygun hale getirmek için yapılan bir işlemdir. İşlenmiş agregalar patlatma işlemi yapılarak parçalanıp daha sonrada konkasörler aracılığı ile kırılır. Kırılmış agregalar daha uygun boyutlara

getirilebilmek için eleklerden geçirilir. Yapılan bu işlemler sonucunda elde edilen agregalar ile çimento harcı arasındaki aderans oranı artmaktadır [34].

1.3.1.3. Yapay Agregalar

Malzemelerin fiziksel ve kimyasal değişimleri sonucu meydana gelen yapay agregalar, sentetik ve suni agregalar olarak nitelendirilmektedirler. Yapay agregalar bir endüstri tesisinde yan madde veya atık madde olarak ortaya çıkan malzemelerin bir ısıtma işlemine tabi tutulması neticesinde meydana gelen malzeme çeşididir. Yapay agregalara uçucu kül, enerji santrali atıkları, yüksek fırın cürufu, granit tozu, demir cevheri cürufu, aşırı yanmış tuğla kütükleri gibi çeşitli ürünlerden elde edilir [35].

Hafif beton üretiminde de kullanılan yapay agregalar ticari piyasada üretilip pazarlaması da yapılmaktadır. Bu şekilde üretilen agregalar diğer yapay agregalara oranla daha yeni malzemelerdir.

1.3.2. Ağırlıklarına Göre Agregalar

Birim hacim ağırlığı 3000 kg/m^3 'den fazla olan agregalara ağır agregalar, $2000 - 3000 \text{ kg/m}^3$ arasında olanlara normal agregalar ve 2000 kg/m^3 'den az olanlara ise hafif agregalar denilmektedir.

1.3.2.1. Ağır Agregalar

Ağır agregalar yüksek yoğunluğa sahip ve birim hacim ağırlığı 3000 kg/m^3 'den büyük agregalar ağır olarak kabul edilir. Ağır agregalar sentetik ve doğal olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılır. Ağır agregaların su emme oranları azdır. Ağır agregalar, nükleer tesisler, bomba sığınakları, açık deniz yapıları ve radyo aktif ışınlarla karşı korunmak için özel amaçla tasarlanan yapılarda kullanılmaktadırlar [36].

1.3.2.2. Normal Agregalar

Üretildikleri kaynağa göre normal agregalar doğal ve yapay olmak üzere sınıflandırılmaktadır. İmalatta en fazla kullanılan agregalar doğal olanlardır. Kum, çakıl ve kırma taş doğal agregalar arasında yer almaktadır. Kum ve çakıllar, deniz ve nehir kaynaklı alüvyonlardan veya buzulların oluşturduğu ocaklardan, kırma taş ise, taş ocaklarından sağlanan kayaçların, kırıcılar vasıtasıyla kırılması sonucunda elde edilir. Sanayi alanlarının belli bir bölümünde yan ürün olarak üretilen ve yüksek fırın cürufuna benzeyen yapay normal agregalar yoğun ve sert yapılı malzemelerdir [37].

1.3.2.3. Hafif Agregalar

Hafif agrega, partikül yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ü aşmayan doğal ve yapay olarak üretilen tanecikli malzemelerdir. Pomza, sünger taşı (bims) tuf, diatomit, puzolan, doğal hafif agregalara; yüksek fırın cürufu, kuvars, uçucu kül, kil, vermikülit, perlit, arduaz, şist, iyi sinterleşmiş kömür cürufu ise yapay hafif agregalara örnek olarak verilebilir. Doğal hafif agregalar volkanik kayaçların kendiliğinden doğal olarak genişmesi sonucu elde edilirken yapay hafif agregalar ise gaz veya köpük oluşturma yoluyla gözenekleştirilme, yüksek sıcaklık işlemine tabi tutulma, bazı hallerde sinterleştirme, ve kırma sonucu elde edilir.

1.3.3. Pomza

Pomza, volkanik hareketlilik sonucunda meydana gelen boşluklu, süngerimsi, fiziksel ve kimyasal etmenlere karşı dayanımlı, birim hacim ağırlığı 1 g/cm^3 'ten küçük gözenekli yapıya sahip bir kayaçtır [38]. Milattan önce 1. yy.'da pomzanın en eski kullanımına rastlanıldığı, sudan hafif olmasından dolayı yüzen bir yapıya sahip ve su emmediğinden hijyenik özellikte olduğundan bahsedilmiştir. Eski Romalılar döneminde tapınaklar ve termal banyolarda kullanılmış ve günümüze kadar bu eserler ulaşmıştır. Pomza yapı sektöründe 1851 yılından sonra Kaliforniya'da kullanıma başlanmış ve kullanım alanları hızla artmıştır. Son yıllarda pomza kullanımında ciddi manada bir artışın olduğu gözlenmiştir [39].

Pomza 1963 yılına kadar A.B.D.'de yaygın olarak kullanılmaya başlanmış, birçok eyalette işletmeler kurulmuştur. 1983 yılında aşındırıcı olarak kullanılmak üzere San Fransisco yakınlarında bulunan Mecret gölünde 70 bin ton kadar pomza üretimi yapılmıştır. Los Angeles su kemerinin yapımında pomza, çimento ile karıştırılarak kullanılmıştır. Ayrıca hafif yalıtımlı beton agregası olarak kullanılmış, kullanım miktarı oranı giderek artmıştır. Puzolanik özelliğinden dolayı portland çimentolarla karıştırılarak su kanallarında, barajlarda ve baraj gövdelerinde kullanılmıştır. A.B.D'de pomza yaygın olarak kullanılmasına rağmen diğer ülkelerin önüne geçememiştir. Almanya, hafif yapı elemanlarını II. Dünya harbinden önce üretmek önemli ölçüde dış ticarete söz sahibi olmuştur. Almanya'da 1980 öncesine kadar çok fazla pomza üretimi varken son yıllarda üretimde düşüşler meydana gelmiştir. İnşaat sektörü ve diğer sektörlerde pomza kullanımına ihtiyaç duyulduğu için bu ihtiyacı karşılamak üzere ithalat yapılmaya başlanmıştır [40].

Pomza, mohs sertlik skalasında 5-6'dır. Kimyasal özellikleri açısından, %60-75 SiO₂ , %13-17 Al₂O₃ , %1-3 Fe₂O₃ , %1-2 CaO, %7-8 Na₂O - K₂O ve az miktarda TiO₂ ve SO₃'den oluşmaktadır. İçeriğindeki SiO₂ oranının yüksek olmasından dolayı kayacın aşınmasına neden olmaktadır. Kimyasal yapısı nedeniyle çelik donatıyı aşındırarak donatı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Yapısındaki Al₂O₃ bileşimi ile pomzanın yüksek sıcaklığa dayanımını arttırmaktadır. Tekstil sektöründe kullanılan pomzanın Na₂O ve K₂O minerallerini içeren kimyasal yapıya sahip olması gerekmektedir.

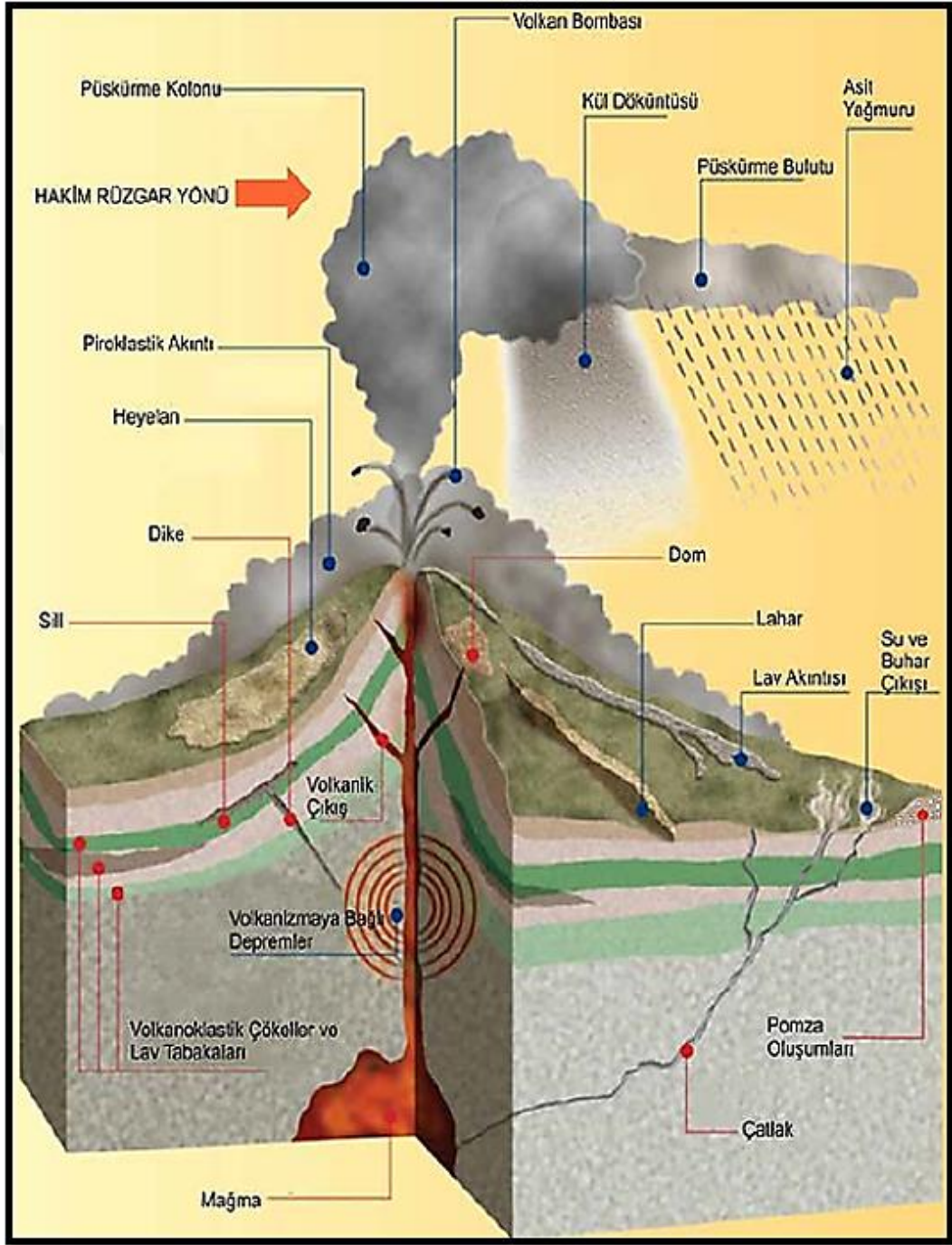
Asidik ve bazik pomzalar volkanik hareketlilikler sonucu meydana gelmektedir. İnşaat sektöründe daha çok kullanılan asidik pomzalarda silis oranı yüksektir. Demir, alüminyum, magnezyum ve kalsiyum gibi elementlerin yüksek oranda içeren bazik pomzalar bu özelliğinden ötürü endüstriyel sektörlerde daha çok tercih edilmektedir. Bazik pomzanın kullanıldığı endüstriyel alanlar olarak gübre sanayi ve toprak ıslahında kullanılmak üzere tarım alanlarını örnek verebiliriz. Kirli beyaz ve griye dönük renkte olan asidik pomza, yeryüzünde en fazla bulunan pomza türüdür. Bundan dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Bazik pomza kahverengiye ve siyaha dönük koyu renklerde olabilmektedir. Özgül ağırlıkları 1-2 gr/cm³'tür [41].

1.3.3.1. Pomzanın Oluşumu

Volkanik hareketlilikler sonucunda yeraltında ve yer kabuğunda oluşan metalik ve metalik olmayan her dönemde insanlar tarafından kullanılan ekonomik değere sahip birçok maden vardır. Magmanın yerkabuğunun üst kısmına doğru hareketi sonucu kabuk içerisinde ve yüzeyde gerçekleştirmiş olduğu hareketlilik neticesinde soğuması ve sertleşmesiyle, volkanik madenler oluşmuştur. Ekonomik değeri olan volkanik özellikteki madenlerin başlıcaları perlit, ignimbrit, obsidyen ve pomza'dır [42].

Asidik magma ile bazik magma karşılaştırıldığında asidik magmanın bazik magmaya göre daha yoğun miktarda silis içerdiği ve akma dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bazik magmanın akıcı bir halde olduğu durumlarda asidik magma sert ve dayanıklı bir haldedir. Bundan dolayı volkanik hareketliliklerin sonlandığı vakitlerde magma akışı da sonlanarak asidik kayalar meydana gelir. Basınç miktarının çoğalmasıyla asidik malzemeler ve magmadaki erimiş gazlar püskürerek dışarı çıkmaya başlar. Önce uçucu malzemeler daha sonra ise geride kalmış olan eriyik parçalar, havayla temas ettiğinde hızla soğuyarak katılaşır. Bu şekilde pomza meydana gelir ve volkanik

hareketler sonrasında volkan krateri belli bir süreden sonra krater gölü haline gelebilmektedir (Şekil 1.1.) [43].



Şekil 1. 1. Volkanlar ve bağlantılı diğer jeolojik oluşumların genel görünümü [43].

Pomzanın meydana gelmesine etki eden faktörler;

- Püskürme zamanı,
- Ara süreler,

- Magma ısısı,
- Magmadaki eriyik haldeki gaz oranı,
- Püskürmüş olan malzemenin soğuma süresidir.

Pomza yataklarının oluşumu pomza tanelerinin hava sirkülasyonu yoluyla volkan bacalarının yakınından volkan bacalarının uzağına doğru hareket etmesi ve bu hareket sürecinde eski formunu koruyarak depolanmasıyla gerçekleşir. Pomza yatakları belli bir süreden sonra akarsular aracılığıyla yer değiştirerek havzalarda birikmeye başlar. Havzalarda depolanan pomza yataklarında %1-3 oranında andezit, traki-andezit, bazalt, obsidiyen gibi volkanik kayaç taneleri bulunur.

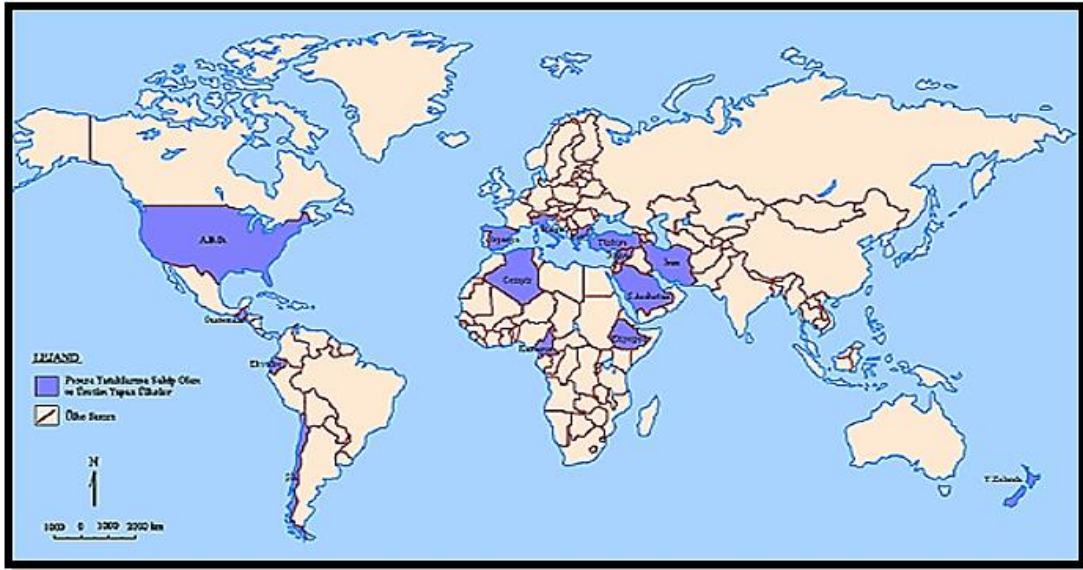
Pomza taşınma sistemi 3 farklı şekilde gerçekleşir;

- Düşme yoluyla birikme,
- Fırlatma yoluyla birikme,
- Akma yoluyla birikme.

Düşme yoluyla birikmede pomza tabaka kalınlıkları santimetre ile ifade edilecek kadar ince bir oluşum göstermektedir. Fırlatma yoluyla birikme şeklinde meydana gelen pomza parçalarının bir kısmı düzgün bir kısmı iç içe geçmiş bir formda ve bir kısmı da parçalanmış ve sıkışmış bir şekilde görülmektedir. Akma yoluyla birikme şeklinde meydana gelen pomza oluşumları ise, genel olarak içi boşluklu bir yapıdadır [43].

1.3.3.2. Dünya'da ve Türkiye'de Pomza Rezervleri

Volkanik hareketlilikler sonucu oluşan pomza yatakları Dünya genelinde 18 milyar ton civarında rezerve sahip olduğu düşünülmektedir. Türkiye, ABD ve İtalya pomza imalatında öncelikli ülkeler arasında yer almakta iken Yunanistan, İran, Şili ve Suriye takip etmektedir (Şekil 1.2.) [42].



Şekil 1. 2. Dünya’da pomza üreten başlıca ülkelerin dağılımı [42].

Alp orojenik kuşağı üzerinde bulunan Türkiye, volkanik hareketliliklerin geniş alana yayılması nedeniyle oldukça fazla pomza yataklarına sahiptir. Türkiye’deki pomza rezervleri yaklaşık 2.8 milyar ton civarındadır. (Çizelge 1.1.) Türkiye’deki pomza rezervleri Dünya’daki rezervlerin yaklaşık %15.8’ine denk gelmektedir [42]. Pomza üretiminin en yoğun olduğu ülkeler Türkiye ve İtalya’dır. Dünyadaki pomza üretiminde İtalya 2000-2007 yılları arasında, Türkiye ise 2008- 2011 yılları arasında ilk sırada yer almıştır [43].

Çizelge 1. 1. Dünya pomza rezervi [42].

Ülke	Rezerv (Milyon Ton)	Oran
A.B.D.	11.500	63.9
Türkiye	2.836	15.8
İtalya	2.000	11.1
Yunanistan	500	2.8
Okyanusya	500	2.8
Şili	60	0.3
Diğerleri	600	3.3
Toplam	17.996	100

Ülkemiz, pomza rezervleri açısından oldukça zengin potansiyele sahiptir. Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri pomza rezervleri açısından önemli kaynaklara sahiptir. Aynı

zamanda Ege ve Akdeniz bölgelerinde de pomza rezervleri görülmekte ve üretim gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.3.) [42].



Şekil 1. 3. Türkiye’deki pomza rezervlerinin dağılımı [42].

Doğu Anadolu bölgesi pomza kaynaklarının en fazla bulunduğu bölgedir (%55.7). Doğu Anadolu bölgesinden sonra pomza kaynaklarının en fazla bulunduğu ikinci bölge İç Anadolu bölgesidir (%44.3). Pomza rezervlerinin illere göre dağılımı incelendiğinde Bitlis (%44.8), Kayseri (%24.3), Nevşehir (%18.4) ve Van (%6.5) illerinin en yüksek oranlara sahip olduğu görülmüştür. Ağrı, Iğdır, Isparta, Kars ve Ankara illeri de pomza yataklarının bulunduğu diğer illerdir (Çizelge 1.2.) [42].

Çizelge 1. 2. Türkiye’deki pomza rezervleri [42].

Yeri	Rezerv Miktarı	Yeri	Rezerv Miktarı
Nevşehir-Avanos	404.412.834	Van-Molla kasım	5.950.000
Derinkuyu	48.660.500	Ağrı-Patnos	27.812.000
Kayseri-Gömeç	13.250.000	Ağrı-Doğubayazıt	26.875.000
Kayseri-Develi	58.500.000	Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250
Kayseri-Talas	241.000.000	Kars-Digor	11.718.750
Kayseri-Talas	284.000.000	Kars-Sarıkamış	1.875.000
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	Ankara-Güdül-	8.070.000
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	Isparta-Gölcük	30.983.250

1.3.3.3. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza, Dünya’da ve ülkemizde en fazla inşaat, tekstil, kimya, tarım ve endüstriyel sektörlerde mamul ve yarı mamul ürün olarak kullanılmaktadır [44].

İnşaat sektöründe pomza kullanımı;

Pomza inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilen ve hafif yapı elemanı olarak kabul edilen hafif tuğlalar, bloklar, asmolonlar, panellerin yüksek ısı ve ses izolasyonunu sağlaması, zemin mekaniği açısından temele iletilen yükleri azaltması, düşük birim hacim ağırlığından dolayı harç ve inşaat demirinden tasarruf sağlaması, , kolay sıva tutması, yangına karşı normal betona oranla dayanıklılık açısından daha emniyetli olması, betonun deprem yüklerine karşı daha elastik bir davranış göstermesi açısından birçok faydası vardır. Pomza ile üretilen betonlar ve yapı malzemeleri donmaya karşı dayanıklıdır.

Tekstil sektöründe pomza kullanımı;

Ülkemizde pomza, tekstil sektöründe kot kumaşlarının renginin açılması için kot taşılama uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Pomzanın kimyasal ve fiziksel özelliklerini tekstil sektöründe kullanılan özelliğe sahip olması gerekmektedir. Kumaşın özelliğini bozmayacak düzeyde demiroksit, sodyumoksit ve potasyumoksit olmalıdır. Pomza orta sertlikte, kuru, çok gözenekli, yuvarlatılmış, rengi beyaz, yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük, su emme miktarı istenilen düzeyde olmalı ve kırılıp ezilmemelidir. Kot kumaşlarını çizmemesi açısından içerisinde pomzadan sert mineraller bulunmamalıdır.

Tarım sektöründe pomza kullanımı;

Pomza, toprağa karıştırıldığında toprağın hava ve su geçirgenliğini düzenleyerek sızma ve buharlaşmaya engel olur. Pomza içeren toprakta, faydalı su kapasitesi iyi düzeyde olduğu için bitkilerin büyümesini olumlu yönde etkilemekle beraber bitkilerin veriminde önemli ölçüde artış sağlamaktadır. Toprağa eklenen pomza sulu tarım yapılan alanlarda az sulama yapılarak bitkilerin yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Pomza inorganik bir mineral olduğundan toprağın bünyesinde tarım için zararlı olan yabancı ot tohumunun oluşumuna ve bitkilerin hastalanmasına engel olmaktadır.

Kimya sektöründe pomza kullanımı;

Tarım ilaçlarında, gübre sanayiinde gübrenin topaklaşmasını önlemede, deterjan endüstrisinde diş macunlarında, diş parlatma tozunda, ses izole edici duvar boyasında pomza kullanılmaktadır.

Sanayi sektörlerinde pomza kullanımı;

Pomza endüstriyel sektörlerde aşındırıcı, temizleme malzemesi, katkı malzemesi ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pomzanın aşındırıcı olarak kullanıldığı alanları plastik sanayi, metal, kuyumculuk ve cam sanayi olarak sıralayabiliriz. Çip ve elektronik devre üretiminde ise hassas temizleme maddesi olarak kullanılmaktadır. Buzlanmayı ve yol yüzeylerindeki kusmayı engelleme, tavan kaplama ürünlerinin üretimi, ise pomzanın diğer kullanım alanları arasındadır [45].



2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖZETİ

Bir grup bilim adamının yaptıkları çalışmada Kanada hafif agregası kullanarak yüksek mukavemetli hafif beton elde etmek için 7 seride 25 farklı karışım hazırlamışlardır. Çimento, çimento+silis dumanı, çimento+uçucu kül karışımları 300-635 kg/m³ oranında bağlayıcı, hava sürükleyici ve akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bağlayıcı miktarının 638 kg/m³ alındığı, 365 günlük basınç dayanımının 66.5 MPa, 28 günlük yarma-gerilme mukavemetinin ise 3.5 MPa olduğunu, ayrıca yapılan donma-çözülme testleri ile yüksek derecede iyi sonuçlar aldıklarını belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise, yoğunluğu 2000 kg/m³ oranında yüksek mukavemetli hafif betonların imalatı için süper akışkanlaştırıcı kullanılmasının mecburi olduğunu ifade etmişlerdir [46].

Yapılan çalışmada agrega hacim uyumunun normal ve hafif agregalı betonlarda sınırlı sürede esnek ve esnek olmayan fiziksel davranışına karşı etkisini, araştırmıştır. Bu çalışmada en büyük agrega ebatı, granülometri ve su/çimento oranını sabitleyerek imalatı yapılan betonlarda agrega hacim konsantrasyonunun değiştiğini gözlemlemiştir. Sertleşmiş betonların iki fazlı kompozit malzeme modeli ile elastisite modüllerini bularak, elde edilen sonuçların deneysel değerlerle benzerlik gösterdiğini tespit etmiştir. Agregada uyumundaki yükselişin kırmataşlı normal ve pomza agregalardan oluşan hafif betonlarda, sürekli olmayan sınırdaki poisson seviyesini azalttığı, çakıllı normal betonlarda ise bu miktarın minimum seviyeden geçtikten sonra artış olduğunu tespit etmiştir [47].

Bir grup bilim adamı polimer kullanılarak tasarlanmış hafif betonların mekanik nitelikleri hakkında çalışma yapmışlardır. Brezilya'da bulunan iki çeşit hafif agregaya stiren-butadien (SBR) polimerleri ekleyerek betonlar elde etmişlerdir. Bu betonlara çeşitli deneyler uygulamışlardır. Basınç dayanımı 7 günlük 39.7 MPa ile 51.9 MPa, kuru hacim ağırlığını 1460-1605 kg/m³ arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Strien-butadien polimerlerinin su/çimento oranını ve su emme miktarını azalttığını, eğilme dayanımını ve yarmada çekme dayanımı artırdığını görmüşlerdir. Brezilya hafif agregalarına stiren-butadien eklenerek ince prefabrik kompozit malzeme üretebileceklerini belirlemişlerdir [48].

Bir araştırmacı çimento ve kolemanitin farklı oranlarda (%0, %7.5, %12.5, %17.5) eklenmesiyle oluşturulan karışımın pomza'ya kaplanarak elde edilen agregalarla hazırlanan betonlar üzerinde bir takım deneysel çalışmalar yapmıştır. Agregalar ve

betonlar üzerinde yapılan çeşitli deneylerin neticesinde; kaplama işlemi yapılan pomza agregaların su emme miktarının %50 azaldığını ve bu agregalarla üretilen betonlarda basınç dayanımının arttığı, basınç altında su işleme derinliği, hızlı klor geçirimliliği, sülfat dayanımı, ultrases geçiş hızı gibi faktörlerin olumlu yönde etkilendiğini tespit etmiştir. Kolemanitli çimentolarla %12.5 oranında kaplanan agregalar kullanılarak üretilen betonların hızlı klorür ve basınçlı su geçirimliliğinin azaldığını tespit etmiştir. Yapılan diğer deneylerde ise sülfat dayanımını yarmada çekme ve basınç dayanımının arttığını belirlemiştir. Kolemanitli çimentolar kullanılarak kaplanan hafif pomza agregaları ile üretilen betonların inşaatlarda taşıyıcı hafif beton olarak kullanılabileceğini belirlemiştir [49].

Yapılan çalışmada %0, %20, %40, %60, %80 oranlarında rılem kumu ile kaplamalı ve kaplamasız genleştirilmiş perlit sırasıyla ile yer değiştirerek harç üretimlerini gerçekleştirmiştir. Ürettiği harç numunelerinde su/çimento oranı 0.6 olarak belirlemiştir. Kaplama yapılmış ve kaplama yapılmamış genleştirilmiş perlit agregalı harç numunelerinde; çeşitli deneysel çalışmalar yapmıştır. Genleştirilmiş perlit miktarının artırılması sonucu harç numune ağırlıklarının azaldığı, ancak bunun yanında mekanik ve fiziksel özelliklerinin de değiştiğini tespit etmiştir. Genleştirilmiş perlit miktarının artırılması ile ısı iletkenlik değeri düşmüş böylece iyi ısı yalıtım niteliğine sahip harç serileri elde etmiştir. Genleştirilmiş perlitin polimer kaplanması sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğunu görmüştür. [50].

Bir grup bilim adamı uçucu kül ile pomza ihtiva eden çimento esaslı harçların mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık ve mekanik etkisi üzerine araştırma yapmışlardır. Çeşitli oranlarda uçucu kül ihtiva eden dört farklı harç karışımı, 3 saat boyunca 300 °C, 600 °C ve 900 °C'lik yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmışlar. Test sonuçları, %60 uçucu kül içeren pomza harcının özellikle 900 °C'de en iyi performansı gösterdiğini tespit etmişlerdir. Karışım, havada soğutulduğunda tüm test sıcaklıklarında basınç dayanımında herhangi bir kayıp yaşanmadığını, suda soğutulan numuneler, hava ile soğutulan numunelere göre daha fazla dayanım kaybı yaşadığını görmüşlerdir. Yapılan çalışmada uçucu kül, çimento esaslı harç ve geliştirilmiş pomzanın, yüksek sıcaklık tehlikelerini önleyebileceği konusunda bir sonuca varmışlardır. Bir grup bilim adamının yaptıkları çalışmada pomza ve silis dumanı kullanılarak elde ettikleri taşıyıcı hafif betonda, kür şartlarının ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırılmışlardır. Çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı ve 16 mm'lik pomza taşı

kullanmışlardır. Basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği deneylerinde kullanılmak üzere 150×150×150 mm ebatlarındaki küp numuneleri hazırlayarak, 3, 7, 14 ve 28 gün süresince 20±2 °C sıcaklıkta torba kürü, su kürü ve hava küründe bırakılan numunelerin basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği değerlerini incelemişlerdir. Yapılan deney sonucunda suda kür edilen numunelerdeki basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği değerlerinin, en yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [51].

Yapılan çalışmada Kayseri yöresine ait pomza agregası kullanarak taşıyıcı hafif beton üretmişlerdir. Hafif beton karışımında CEM I 42.5 R çimentosu, katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanmışlardır. Üretilen hafif betonlarda taze halde iken birim hacim ağırlık, hava içeriği ve çökme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sertleşmiş hafif betonlarda ise eğilme, yarmada çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapmışlardır. Pomza agregası kullanarak 17.2 MPa'ın üzerinde dayanıma sahip taşıyıcı hafif betonlar üretmişlerdir. İmal edilen taşıyıcı hafif betonların, TS EN 206-1 standardı dikkate alındığında LC 20/22 ve LC 25/28 dayanım sınıflarında olduğunu belirlemişlerdir [52].

Yapılan çalışmada polimerle tasarlanmış hafif betonun, çeşitli mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için araştırma yapmıştır. Çalışmada, su/çimento oranı 0.35 alarak, 400 kg/m³ ve 500 kg/m³ iki farklı dozajda pomza agregası ve üretimlerinin bir kısmında uçucu kül kullanarak toplam 12 farklı üretim gerçekleştirmiştir. Her bir grupta çimentonun içerisine styrene-butadiene lateks %0, %5 ve %10'u oranında kullanmıştır. İmal edilen beton numunelerin basınç ve eğilme dayanımları, su emme, kılcallık yoluyla su emme oranı ve aşınma dayanımı belirlemiştir. Yapılan çalışma neticesinde styrene –butadien latex kullanılan hafif betonların, basınç ve eğilme dayanımlarında önemli bir değişimin olmadığını, aşınma direnci, kılcallık ve su emme özelliklerinde ise styrene –butadien lateks kullanımından etkilendiğini tespit etmiştir [53].

Bir grup bilim adamı liflerin yüksek dayanımlı hafif betonda işlenebilirliği, mekanik ve büzülme özelliklerine katkısını araştırmışlardır. Sonuç olarak hafif beton karışımına lif eklenmesinin karıştırma sırasında agregaların çökmesini ve çökme değerini azalttığını ve karışımın homojenliğini iyileştirdiğini görmüşlerdir. Tek tip liflerle karşılaştırıldığında, lifler hafif betonun mekanik özelliklerini ve kırılgenliğini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve büzülmeyi engellediğini tespit etmişlerdir [54].

Bir araştırmacı birçok alanda kullanılan polimerlerin pomza agregasının kaplanması ile elde edilen kaplanmış agregalar üzerinde zgl ağırlık, granülometri, gevşek birim ağırlık deneyleri yapmıştır. Kaplanmış pomza agregalar ile üretilen hafif beton numuneleri üzerinde birim ağırlık, çökme, kuru birim ağırlık, basınç, yarmada çekme dayanımı, donma dayanımı, su emme, snme ve rötre deneyleri gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak polimer kaplı pomza agregalarla üretilen hafif betonların, kaplanmayan pomzalarla üretilen hafif betonlara göre su emme oranlarının azaldığını tespit etmiştir [55].

Bir grup bilim adamının yaptıkları çalışmada yüksek mukavemetli hafif betonun elik lif takviye edilerek basınç ve eğılme dayanımlarına ait mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. elik liflerle ikame edilen yüksek dayanımlı hafif betonlarda eğılme dayanımında belirgin derecede iyileşme olduğunu, basınç dayanımında ise çok fazla değişimin olmadığını, çekme mukavemetinde ise %90 bir artışın olduğunu ifade etmişlerdir [56].

Bir araştırmacı 12.5 mm agregata tane çapına sahip ham perlit agregası kullanılarak yüksek mukavemetli hafif beton imal edilebilirliği üzerine çalışma yapmıştır. Beş farklı dozajda 23 farklı karışım betonu hazırlamak için 0.3- 0.4 ve 0.5 su/imento oranı kullanmıştır. Betonun mekanik özelliklerini artırmak için bazı karışımlara hacminin %5'i kadar lif kullanmıştır. Taze betonun çökme değerinde 120 ile 210 mm arasında değişimin meydana geldiğini, karışıma katılan elik lifin viskozitesini artırdığını, taşıma ve yerleştirme esnasında oluşabilecek segregasyon riskini ortadan kaldırdığını, betonun homojenliğini artırdığını, betonda oluşan çökme değerinde azalma olduğunu grmştir. Perlit agregası kullanarak birim hacim ağırlığı 1830 ile 1915 kg/m³ arasında üretilen yüksek dayanımlı hafif betonda mineral katkının zorunlu olmadığđ, ancak süper akışkanlaştırıcının kullanımının zorunlu olduğunu tespit etmiştir. Sonuç olarak, betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etki eden faktörlerden birinin su/imento oranđ, diğerinin ise bağlayıcı miktarının olduğunu grmştir. elik lifli betonun basınç dayanımında bir artışın olmadığđ, çekme dayanımlarında ise %70'e varan bir artışın olduğunu tespit etmiştir [57].

Bir grup bilim adamđ Nevşehir asidik pomzasđ kullanılarak yüksek dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton üretiminde agregata olarak kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada pomza kullanılarak hazırlanan betonun birim hacim ağırlık, basma ve çekme dayanımı deneyleri sonuçlarına bakılmıştır. Pomza agregası kullanılarak üretilen hafif betonlarla imal edilen yapılarda taşıyıcılara ve zemine

daha az yük geleceğinden depreme karşı daha dayanıklı olacağı sonucuna varılmıştır. Bunun yanında pomza kullanılarak yapılan binalarda ısı ve ses yalıtımı sağlanacağından poza kullanımının ısıtma ve soğutma giderlerini büyük oranlarda azaltacağını, bu sayede enerji tasarrufu sağlanacak ve çevre kirliliğini azalacaktır. Dolayısıyla yurdumuza milyarlarca dolarlık tasarruf elde edileceğini tespit etmişlerdir [58].

Yapılan çalışmada hafif agrega olarak pomza kullanılarak taşıyıcı olmayan hafif beton üretmiş, üretilen beton belli bir sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki mukavemetini incelemişlerdir. Kayseri Talas, Nevşehir Göde yöresine ait pomza ve İzmir Menderes yöresine ait perlitik pomza kullanmışlardır. Pomzalar ile 26 karışıma ait 3 farklı oranda çimento kullanılarak 78 farklı hafif beton imalatı yapmışlardır. Üretilen hafif beton serilerinin sıcaklık etkisinde dayanım ve su emme gibi özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak su emme oranlarının kabul edilebilir değerlerde olduğunu, sıcaklık uygulaması yapılmadan yapılan basınç dayanımlarında Kayseri-Talas ve Nevşehir-Göde pomzalarından oluşan karışımın basınç dayanımının yüksek olduğu, sıcaklık uygulamasından sonra yapılan basınç dayanımlarında ise İzmir-Menderes perlitik pomzasına ait karışımın dayanım seviyesinin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir [59].

Bir grup bilim adamı pomza bazlı ASTM Tip I çimentosu ve agregalar kullanılarak hafif volkanik pomza betonunun geliştirilmesi için yaptıkları çalışmada, basınç dayanımı, çekme dayanımı, yoğunluk ve elastisite modülü gibi bazı mekanik özelliklere bakmışlardır. Çalışmada normal ağırlıktaki iri çakıl agregasının yerine kaba hafif volkanik pomza agregası hacimce % 0, % 50, % 75 ve % 100 oranında değiştirilmiş, su/bağlayıcı oranı ise 0.37 ile 0.64 arasında değişkenliklerde karışımlar oluşturulmuşlardır. Sonuç olarak tatmin edici mukavemet ve dayanıklılık özelliklerine sahip hafif volkanik pomza betonunun üretimini önermişler, karışımlarda kuruma büzülmesi ve geçirgenliğinin azaldığını tespit etmişlerdir [60].

Yapılan çalışmada yoğunluk ve dayanım gereksinimlerine bağlı olarak, normal agrega yerine kısmen veya tamamen hafif agrega ile değiştirilerek hafif beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada harçlarda hafif agrega olarak genleşmiş polistiren (EPS) boncukları ve çimento esaslı malzeme olarak silis dumanı içeren betonlar kullanarak dayanım ve dayanıklılık performansını incelemişlerdir. Elde edilen beton karışımının birim hacim ağırlığının 1500 ile 2000 kg/m³ arasında değişen yoğunluklara sahip oldukları, %3, %5 ve %9'luk silis dumanı yüzdesindeki artışın dayanımı basınç dayanımını artırdığını gözlemlemişlerdir. EPS karışımlarının normal agrega içeren karışımlara kıyasla daha

düşük absorpsiyon seviyelerine sahip olduğunu, artan çimento içeriği ile absorpsiyon değerlerinin azaldığı görmüşlerdir. Ayrıca klorür geçirgenliği ve korozyon direnci açısından performanslarının, minimum silis dumanı içeriği seviyesinde bile çok iyi olduğunu tespit etmişlerdir [61].

Bir grup bilim adamı yaptıkları çalışmada yüzdesel olarak belirlenen oranlarda pomza agregalı betonlara, ilave edilen silis dumanının taze betonlardaki çökmeye ve sertleşmiş betonlardaki basınç dayanımına olan etkisini araştırılmışlardır. Pomza agregalı beton içerisine silis dumanı %0, (kontrol numunesi) %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yer değiştirerek kullanmışlardır. Elde edilen pomza agregalı beton numunelerde basınç dayanımı, ultrases geçi hızı, taze beton, çökme ve sertleşmiş beton deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak silis dumanı ilave edilen betonların çökme değerinin azalarak işlenebilirliği kötü yönde etkilediği, %15 oranındaki karışımın basınç dayanımında artışın meydana geldiğini ve ultrases geçiş hızında ise herhangi bir olumlu veya olumsuz davranışının olmadığını tespit etmişlerdir [62].

Bir araştırmacı %1, %3 ve %5 oranlarında endüstriyel bir atık olan uçucu kül çimentoya eklenmesi sonucu hafif beton üretimini gerçekleştirmeyi düşünmüştür. Fiziksel ve mekanik açıdan daha üstün nitelikte, basınç dayanımı yüksek, hafif bir yapı malzemesi elde etmeyi amaçlamıştır. Hafif beton üretiminde Nevşehir yöresi asidik pomza agregası kullanılmıştır. Sonuç olarak uçucu kül miktarının artırılması ile elde edilen hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinde olumlu gelişmeler olduğunu tespit etmiş, en iyi sonucun ise %5 oranındaki numunelerden elde ettiğini görmüştür [63].

Bir grup bilim adamı elek açıklıkları farklı ve su emme oranları yüksek olan hafif agregalarla, hafif beton elde etmek amacıyla çalışma yapmıştır. Pomza agregalarına (5 dak., 10 dak., 60 dak., 1 gün ve 1 hafta) süresince su emme miktarlarını tespit etmek için beş farklı süredeki su emme oranına sahip beş farklı karışım oluşturacak şekilde, 700 dozlu ve 0.41 su/çimento oranında 100x100x100 mm ebadında her karışımında 18 adet toplamda 90 adet taşıyıcı hafif beton imal etmişlerdir. 7 ve 28 günlük numunelerde çeşitli fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde 10 dakikalık su emme oranına sahip karışım referans numune olarak düşünülmüştür. 1 günlük su emme oranına sahip numunelerin ultrases geçiş hızlarından % 4, basınç ve yaramada çekme dayanımlarında %21, beton test çekici değerlerinde %16 oranında artışın meydana geldiğini ve numunelerin yüzeyindeki aşınma değerinin ise %3'ten daha az olduğunu tespit etmiştir. [64].

Bir grup bilim adamı aynı karışım özelliklerine sahip pomza agregası ve normal agregalı betonlar imal ederek 5 farklı kür uygulamışlardır. Sertleşmiş betonlarda basınç dayanımlarına 7, 14, 28, 56 ve 90 günde kılcal geçirimliliğine ise 28 günde bakmışlardır. İki seri üretilen betonda, uygulanan kür iyileştikçe kılcal geçirimliliğinin düştüğü, pomza agregalarla üretilen betonların, normal agregalı betonlara göre kılcal geçirimlilik katsayılarının daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. Pomza ve normal agregalı betonların kür şartları iyileştirilip, kür süreleri uzatıldıkça basınç dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir [65].

Bir araştırmacı farklı türlerde hafif agregalar kullanarak hafif, yarı hafif ve normal beton üretimini gerçekleştirmiş ve bu 3 farklı beton türünün özelliklerini karşılaştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Hafif beton agregası olarak Isparta yöresinden pomza agregası ve diatomit agregası, normal beton bloklarda ise Isparta -Atabey agregası kullanmıştır. Farklı yoğunluklarda hafif beton blokları imal edebilmek için pomza agregası ile diatomit kullanılmış ve bu şekilde üretilen hafif beton blokları normal beton bloklarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca çimento yerine ağırlığının %10'u kadar silis dumanı içeren betonlar üretmiş, mekanik özelliklerini incelemiştir. Hafif, yarı hafif ve normal beton bloklar 18 seri halinde üretmiş, 7. ve 28. günlerde deneye tabi tutmuştur. Yapılan deney neticesinde diatomit ve pomza kullanılarak üretilen beton blokların bölme duvar ve yalıtım blokları olarak yararlanılabileceği fakat taşıyıcı beton olarak faydalanamayacağı sonucuna varmıştır. Silis dumanı düşük dozajlarda beton blokların dayanımını artırdığını, yüksek dozajlarda ise dayanımını etkilemediğini tespit etmiştir [66].

Yapılan çalışmada beton numuneleri elde edebilmek için genleştirilmiş perlit agregası, pomza agregası ve katkı maddesi olarak da hava sürükleyici kullanmıştır. Beton numuneleri 100 donma-çözülme çevrimi sonucunda betondaki kılcal geçirimliliği, birim ağırlığı ve basınç dayanımlarına etkisinin belirlenmesini amaçlamıştır. Beton numuneler üretmek için karışıma 0-2 mm'lik ince agrega karşılık olarak %10, %20, ve %30 oranında pomza agregası, genleştirilmiş perlit agregası ve katkı maddesi olarak da %0.1 oranında hava sürükleyici eklenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda genleştirilmiş perlit agregası, pomza agregası, miktarları artırıldıkça basınç dayanımı ve birim ağırlığının azaldığını, 100 donma-çözülme çevrimi neticesinde ise betonun, basınç dayanımı ve birim ağırlığı sonuçlarının azaldığını ve kılcal geçirimlilik katsayısının yükseldiğini tespit etmiştir. Ayrıca %0.1 miktarında hava sürükleyici katkı maddesi kullanarak ürettiği beton numunelerinde donma-çözülme çevrimleri sonucunda basınç dayanımının azaldığını,

kılcal geçirimsizlik katsayısında önemli oranda bir düşüşün meydana gelmediğini görmüştür [67].

Bir grup bilim adamı geopolimer bağlayıcıların, CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azalttığını ve sıradan portland çimentolarına göre gelecek vaat eden umut verici bir alternatif olduğunu gösteren bir çalışma yapmışlardır. Geopolimeri betona uygulamak için iri agregalar ile geopolimer bağlayıcılar arasındaki uyumluluğu sağlamanın önemli olduğunu belirtmişlerdir. Metakaolin bazlı geopolimer betonu ve sıradan betonun mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerinde iri agrega boyutunun etkisini araştırmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır. 3 farklı iri agrega boyutu seçilerek (5-10 mm, 10-16 mm ve 16-20 mm) numuneler hazırlamışlardır. Betonların mikro yapısını, taramalı elektron mikroskobu/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM/EDS) ve cıva intrüzyon porozimetresi (MIP) ile incelemişlerdir. Sonuç olarak, basınç dayanımı açısından metakaolin bazlı geopolimer numuneleri ve portland çimentolar arasında ters bir iri agrega boyutu etkisi gösterdiğini ifade etmişlerdir. Metakaolin bazlı geopolimer beton, yüksek gözeneklilik ve portland çimentolu betona kıyasla daha zayıf bir mikro yapıya sahiptir. Metakaolin bazlı geopolimer betonun bu özellikleri SEM/EDS analizi ile tespit edilmiştir. Metakaolin bazlı portland çimentolu ve geopolimerli betonlar arasındaki mekanik özellikler ve gözenek yapısındaki farklılıklar, geniş yüzey alanı ve kuruş şeklindeki metakaolin parçacıklarından dolayı tetiklenen büyük ölçüde farklı büzölmelere bağlıdır. Bu çalışmadaki bulgular, gelecekteki mühendislik uygulamaları için Metakaolin bazlı geopolimer betonunun mekanik özelliklerini ve mikro yapısını uyarlamaya yardımcı olacağı yönünde kanaat bildirmişlerdir [68].

Bir araştırmacı Bitlis pomza ve perlit agregası ile hafif beton üretmek için bir çalışma gerçekleştirmiştir. Üretilecek olan hafif betonun özelliklerini artırmak için bağlayıcı ve kimyasal katkı maddeleri kullanmıştır. Bunlar CEM-I 42,5 N özellikli çimento, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül gibi bağlayıcılar ve viskozite artırıcı ile hava sürükleyici gibi kimyasal katkı maddeleridir. Üretilen kompozit hafif betonlar 100x100x100 mm'lik küp numuneler halinde 3, 7, 28 ve 90 gün süresince 23±2 °C sıcaklıktaki su içerisinde küre tabi tutulmuş ve çeşitli deneyler yapılarak, mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Yapılan deney neticesinde tespit edilen sonuçlara göre pomzalı hafif betonların ısı yalıtımlarının perlitli hafif betonlara oranla daha düşük olduğu, mukavemetlerinin ise daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Uçucu külün hafif

betonda mukavemeti artırdığını, silis dumanı ise ısı yalıtım özelliklerini iyileştirdiğini görmüştür [69].

Yapılan çalışmada volkanik pomzayı çimentoda ikame malzemesi olarak, hafif beton üretiminde ise iri agrega olarak kullanıp beton üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ağırlıkça %0 ile %25 çimento, hacimce %0 ile %100 iri agrega yer değiştirerek beton üzerinde çeşitli testler yapmıştır. Volkanik pomzanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki olası etkisini değerlendirmek için çalışmalar yapmıştır. Farklı portland çimentosu ve volkanik pomza tozu karışımları üzerinde yapılan standart testler ile etkili sonuçlar elde etmiştir. Volkanik portland pomzasının %15'i kadarını kullanarak yüksek sertleşme potansiyeline sahip Portland volkanik pomza çimentosu elde etmiştir. Farklı oranlarda volkanik pomza agregası kullanarak elde edilen beton numuneler üzerinde kuruma büzülme, yüzey su emme, mukavemet, işlenebilirlik ve su geçirgenliği gibi kapsamlı değerlendirme testleri yapmıştır. Volkanik pomza betonunun yeterli dayanım ve yeterli yoğunluğa sahip olan yapısal hafif beton olarak kabul edilebileceğini bunun yanında geçirgenliğinin ve su emme oranının fazla, elastisite modülünün daha düşük olduğunu tespit etmiştir [70].

Bir grup bilim adamı pomza agregası ve ezilmiş kil tuğla içeren hafif yüksek kalsiyumlu uçucu kül geopolimer betonunun özelliklerini incelemeyi amaçlamışlardır. Geopolimer bağlayıcı olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit çözeltileri ile aktive edilen yüksek oranda kalsiyum içeren uçucu kül kullanılmışlardır. Geopolimer betonların işlenebilirlik, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, yüzey aşınma direnci, yangın direnci, ultrasonik darbe hızı, yoğunluk ve termal iletkenlik gibi özellikleri araştırmışlar ve normal yoğunluk kontrollü geopolimer betonunkilerle karşılaştırmışlardır. Betonların yangına dayanıklılığını tespit etmek için 400 °C, 600 °C ve 800 °C'ye kadar çıkan sıcaklıklar kullanmışlardır. Sonuç olarak, hem ezilmiş kil tuğla katkılı hem de pomza katkılı geopolimer betonlar, doğal agrega katkılı geopolimer betonlara göre daha iyi ısı yalıtımına sahip olmakla birlikte yangına da daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir. Ezilmiş kil tuğla agrega ile üretilen geopolimer betonların hafif beton için elverişli olduğunu görmüşlerdir. Bims agregası ile üretilen geopolimer betonlara göre, basınç dayanımı önemli ölçüde daha düşük ve beton blok üretimi için uygun olacağını bildirmişlerdir [71].

Yapılan çalışmada hafif beton imalatı için bazaltik pomza agregaları ve bir uçucu kül karışımı kullanılarak uçucu kül bazlı geopolimer betonlar üretmişlerdir. Etkili kürlenme

parametrelerini bulmak için ANOVA Yates test tekniği uygulamışlardır. Bazaltik pomza agregaları, -12 + 4 mm, -4+0.425 mm, -0.425 + 0 mm olmak üzere dört farklı partikül boyutunda ve TS EN 802 standartlarında belirtilen boyutlarda öğütmüşler ve fırında kür süresinin etkilerini araştırmışlardır. Tek eksenli basınç dayanımı (20–55 MPa), nokta yük dayanımı (4–14 kN), su emme (%1.05–%17), Mohs sertliği (5.5–3) ve sonik hız değerlerini (4.12–2.72 km/sn) ölçmüşlerdir. Betonun yoğunluğu 1700 kg/m³ ile 1792 kg/m³ arasında değiştiğini görmüşler, bunun ise hafif beton sınıfında olduğunu doğrulayarak tespit etmişlerdir [72].

Bir grup bilim adamı fiber takviyeli pomza hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Referans bir hafif betona farklı uzunlukta kancalı üç çelik fiber %0.5 ve %1 hacimli bir polipropilen fiber olmak üzere dört farklı tipte fiber eklemişlerdir. Tipik sıkıştırma ve üç nokta eğilme testleri yapmışlardır. Sonuç olarak, lif kullanımı hem basınç hem de eğilme mukavemetini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişler. Çatlama sonrası aşamada kancalı çelik fiberlerin ve polipropilen fiberlerin önemli ölçüde fayda sağladığını böylece hafif betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini görmüşlerdir [73].

Bir grup bilim adamı hibrit çelik ve polipropilen lifler ekleyerek hafif pomza agregalı betonun sünekliğini artırmak için çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada pomza agregalı hafif betona hibrit çelik ve polipropilen liflerin eklenmesiyle mekanik özelliklerinde, kütle yoğunluğunda ve işlenebilirliğinde meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Farklı hacimlere sahip çelik ve polipropilen liflere sahip dokuz beton karışımı test etmişlerdir. Çelik liflerin eklenmesi nedeniyle basınç, eğilme sünekliği ve enerji emme kapasitesinde büyük bir artış gözlemlenmiştir. Polipropilen liflerin, özellikle içeriğinde hem çelik hem de polipropilen lif olan sertleşmiş betonun mekanik özelliklerinde çok az değişikliğe neden olduğunu tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları gözlemler sonucunda kırılğan yapıya sahip olduğu düşündükleri pomza hafif agrega betonuna farklı fiber takviye sistemlerinin eklenmesiyle mekanik performansında artışlar olacağına dair bir sonuç elde etmişlerdir. Bu nedenlerle yüksek katlı depreme dayanıklı binaların inşasında yoğunluğu azaltılmış ve sünekliği artırılmış beton malzemelerin tasarımı için rehberlik sağlayacağını düşünmüşlerdir. Sonuç olarak yaptıkları çalışmada çelik ve polipropilen liflerin hafif agregalı betonda segregasyon riskini azalttığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte beton içerisinde %0.4'ten daha az hacme sahip fiber kullanıldığında, kullanılan polipropilen lifin betonun mekanik nitelikleri açısından etkisinin oldukça az olduğunu

gözlemlemişlerdir. Hem propilen lifler hem de elik lifler, hafif betonun sunekliğini önemli ölçüde artırdığını, elik liflerin ise eğilme mukavemetini %200'e kadar artırdığı sonucuna varmışlardır. Liflerin eğilme mukavemeti üzerindeki etkisinin, liflerin çekme mukavemeti üzerindeki iyileştirici etkisinden daha fazla olduğuna dair sonuçlar elde etmişlerdir [74].



3. MATERYAL VE METOT

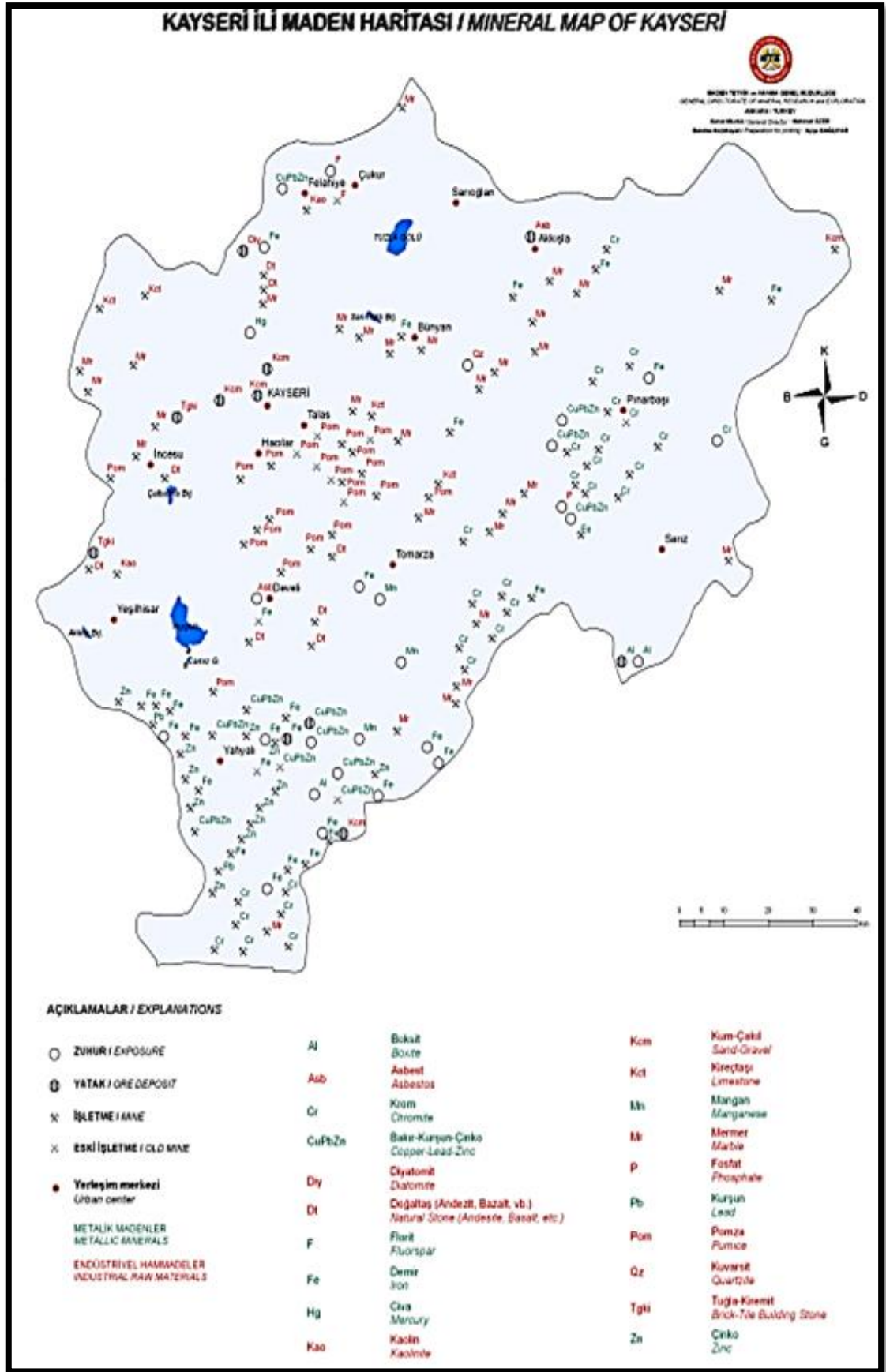
3.1. MATERYAL

3.1.1. Agregas

Çalışmada kaplanmamış 0/4 mm, çimento kaplanmış 4/8 mm ve 8/16 mm'lik pomza agregaları kullanılmıştır.

3.1.1.1 Pomza Agregası

Bu çalışmada, Kayseri ili Talas yöresi pomza agregaları kullanılmıştır. İlin maden haritası Şekil 3.1'de verilmiştir [75]. Talas yöresinde bulunan pomza, rezervinin 529.000.000 m³ ve yüksek kaliteye sahip olduğu belirtilmiştir [42]. Pomza agregaları beton karışımı ve agregas deneyleri için tane boyutları 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm olacak şekilde gruplandırılmıştır. Pomza agregaların kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir [39].



Şekil 3. 1. Kayseri ili maden haritası [75].

Çizelge 3. 1. Kayseri-Talas pomzasının kimyasal özellikleri [39].

Kimyasal Bileşen	Oranı %
SiO ₂	68
Al ₂ O ₃	15.1
Fe ₂ O ₃	3
CaO	3
Na ₂ O	4
K ₂ O	2.6
MgO	1
TiO ₂	0.3
MnO	0.1
P ₂ O ₅	0.1
Cl	0.22
SO ₃	0.05
BaO	0.06

3.1.2. Akışkanlaştırıcı

Beton katkısı olarak, Sika firmasına ait ViscoCrete Hi-Tech 51 temin edilerek kullanılmıştır. Kullanılan yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısının teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3. 2. Sika firmasına ait ViscoCrete Hi-Tech 51 teknik özellikleri.

Kimyasal Yapısı	Polikarboksilat Esaslı Sıvı
Yoğunluk	1.040 -1.080 kg/l, 20 °C
pH Değeri	3-7
Donma Noktası	-6 °C
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez

3.1.3. Çimento

Çalışmada Seza Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3. 3. Seza çimento fabrikasına ait CEM I 42,5 R çimentosu, fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	CEM I 42,5 R	Özellik	CEM I 42,5 R
SiO ₂ (%)	18.75	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.10
Al ₂ O ₃ (%)	4.41	Priz başı (dk)	130
Fe ₂ O ₃ (%)	3.65	Priz sonu (dk)	230
CaO (%)	63.83	İncelik (cm ² /g)	3727
Cl (%)	0.017	Basınç dayanımı 2 gün	27.7
Ç. Kalıntı (%)	0.35	Basınç dayanımı 7 gün	44.9
K. Kaybı (%)	4.03	Basınç dayanımı 28 gün (MPa)	56.3

3.1.4. Su

Araştırmada çimento hamuru ve betonda karışım suyu olarak Malatya Organize Sanayi Bölgesi şebekesinden temin edilen TS EN 1008 standardına uygun su kullanılmıştır [76].

3.1.5. Çimento Kaplı Agregalar

Kayseri ili Talas yöresine ait pomza agregaları hava kurusu şeklinde alınarak 0/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm'lik eleklerden elenerek gruplandırılmıştır. 4/8 mm ve 8/16 mm'lik elekler arasında kalan pomza agregalarına kaplama işlemi yapmak için kendi ekseninde dönen bir tambur Şekil 3.2'de, kompresör Şekil 3.3'de ve fasarit tabancası Şekil 3.4'de kullanılmıştır.



Şekil 3. 2. Kaplama işleminin yapıldığı döner tambur.



Şekil 3. 3. Kompresör.



Şekil 3. 4. Fasarit tabancası.

Agregaların kaplanması için, kullanılan çimentonun ağırlığınca 0.55, 0.50, 0.35 ve 0.25 oranlarında su, ayrıca 0.35 ve 0.25 oranlarında ki çimento hamuru karışımlarına ise

çimento miktarının %1.5’u kadar süper akışkanlaştırıcı eklenerek dört farklı karışım elde edilmiştir. Karışımlara karşılık gelen oranlar ve kodlamalar aşağıda belirtilmiştir.

- Kaplama yapılmayan pomza agregaları; **Kontrol**
- %55 S/Ç oranında çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaları; **0.55-KA**
- %50 S/Ç oranında çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaları; **0.50-KA**
- %35 S/Ç oranında çimento hamuru ve %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak kaplanmış pomza agregaları; **0.35-KA**
- %25 S/Ç oranında çimento hamuru ve %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılarak kaplanmış pomza agregaları; **0.25-KA** olarak kodlanmıştır.

Hava kurusu agregaların kaplanma sürecinden önce yapılan işlemler;

- Hava kurusu agrega tartılmıştır. (Şekil 3.5.a)
- Çimento tartılmıştır. (Şekil 3.5.b)
- Su tartılmıştır. (Şekil 3.5.c)
- Kaplamada süper akışkanlaştırıcı kullanılacaksa tartılmıştır. (Şekil 3.5.d)
- Agrega döner tamburun içine bırakılmıştır. (Şekil 3.5.e)
- Hazırlanan çimento hamuru hazırlanmıştır. (Şekil 3.5.f) Kullanılan malzemelerle ilgili oranlar Çizelge 3.4’de verilmiştir.
- Hazırlanan çimento hamuru fasarit tabancasına bırakılmıştır.
- Fasarit tabancasındaki çimento hamuru kompresör vasıtasıyla döner tambur içerisindeki agregalara püskürtülmüştür. (Şekil 3.5.g)
- Döner tambur içerisindeki agregalara çimento hamuru püskürtülerek kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.6.)
- Kaplama işlemi yapılan agregalar döner tamburdan alınmıştır.
- Agregaların üzerindeki çimento kaplamasının kuruması için numuneler zemin üzerine serilmiş ve 24 saat beklenmiştir. (Şekil 3.5.h)
- Kuruyan numuneler kür uygulaması için tel sepetlere bırakılmış ve 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. (Şekil 3.5.ı)
- 28 günlük kür süresinden sonra kür havuzundan alınan 4/8 mm ve 8/16 mm’lik boyutlardaki 0.55-KA, 0.50-KA, 0.35-KA ve 0.25-KA kaplanmış pomza agrega numuneleri beton uygulamalarında kullanılmak üzere ayrılmış ve çuvallara bırakılmıştır. (Şekil 3.7.)



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



ı)

Şekil 3. 5. a) Agregalar tartılmıştır, b) Çimento tartılmıştır, c) Su tartılmıştır, d) Süper akışkanlaştırıcı tartılmıştır, e) Agregalar döner tambura bırakılmıştır, f) Çimento hamuru hazırlanmıştır, g) Çimento hamuru fasarit tabancasıyla agregalara püskürtülmüştür, h) Kaplanan agregalar kuruması için zemine serilmiştir, ı) Kaplanan agregalar tel sepetlere bırakılarak 28 gün süresince kür havuzuna bırakılmıştır.

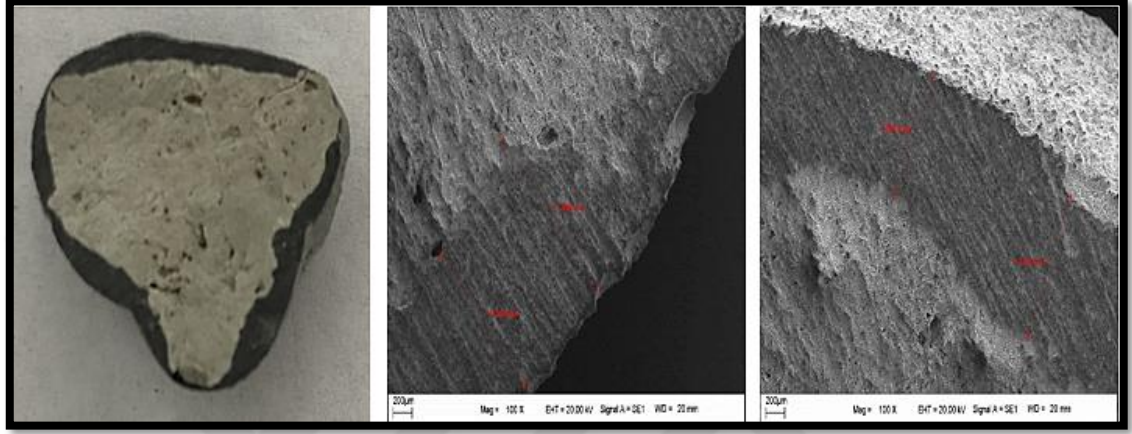


Şekil 3. 6. Pomza agregasının kaplama işlemleri.



Şekil 3. 7. 4/8 mm ve 8/16 mm Kaplanmamış ve kaplanmış pomza agregaları.

Çimento hamuru ile agregalara yapılan kaplama kalınlıklarını belirlemek için agregalar demir testeresi ile kesilmiş ve ince diş zımpara kullanılarak pürüzsüzleştirilmiştir. Kplama kalınlıkları taramalı elektron mikroskobu vasıtasıyla ölçülerek ortalama **0.55-KA için 1.1465 mm** Şekil 3.8’de, **0.50-KA için 1.2075 mm** Şekil 3.9’da, **0.35-KA için 0.4478 mm** Şekil 3.10’da ve **0.25-KA için 1.455 mm** Şekil 3.11’de görüldüğü gibi tespit edilmiştir.

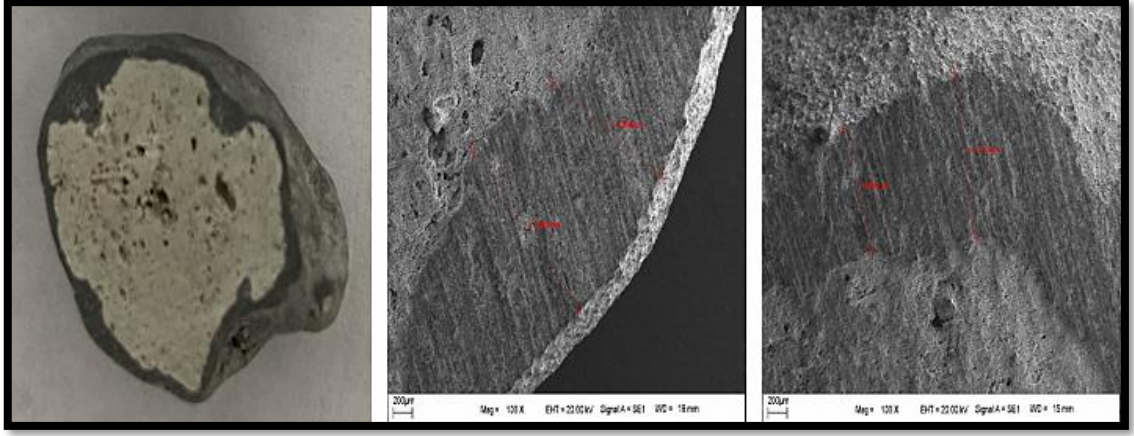


a)

b)

c)

Şekil 3. 8. a) Kesiti alınan 0.55-KA agregası, **b)** 0.55-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, **c)** 0.55-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları.

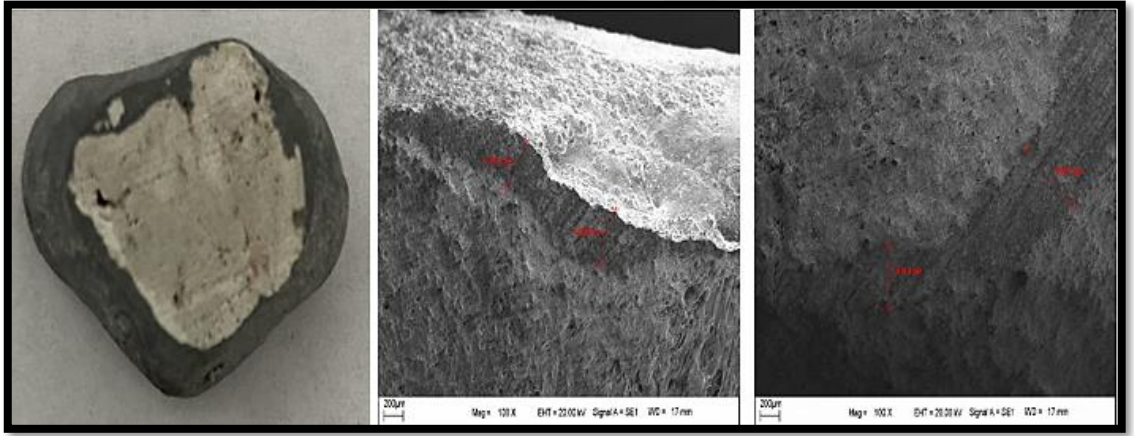


a)

b)

c)

Şekil 3. 9. a) Kesiti alınan 0.50-KA agregası, b) 0.50-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.50-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları.

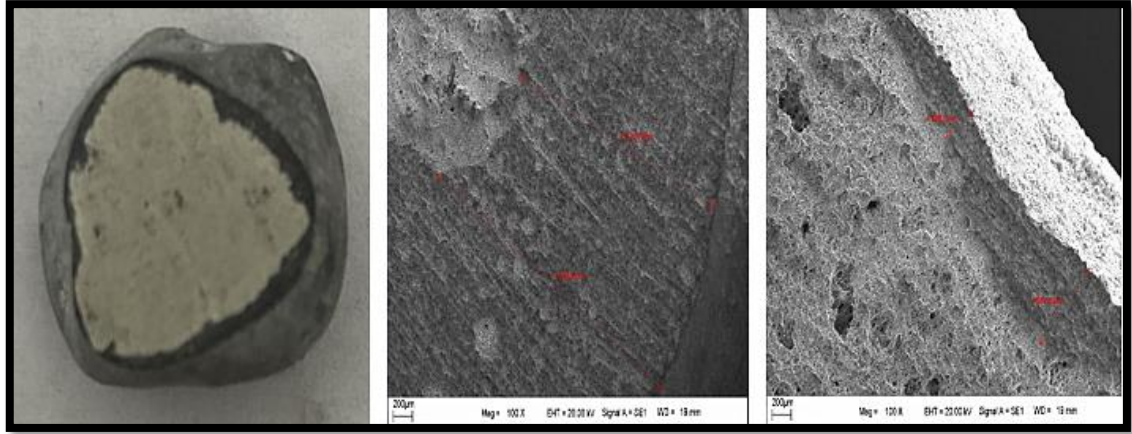


a)

b)

c)

Şekil 3. 10. a) 0.35-KA agregasının kaplama kalınlıkları, b) 0.35-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.35-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları.



a)

b)

c)

Şekil 3. 11. a) 0.25-KA agregasının kaplama kalınlıkları, b) 0.25-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları, c) 0.25-KA agregası elektro taramalı mikroskop görüntüsü ile alınan kaplama kalınlıkları.

Çizelge 3. 4. 4-8 mm ve 8-16 mm’lik pomza agregalarına kaplama işleminde kullanılan çimento hamuru karışım oranları.

Agrega No	Agrega (g)	Çimento (g)	Su (g)	Su/Bağlayıcı	Akışkanlaştırıcı Miktarı (g)
0.55-KA	1000	1000	550	0.55	0
0.50-KA	1000	1000	500	0.50	0
0.35-KA	1000	1000	350	0.35	15
0.25-KA	1000	1000	250	0.25	15

3.2. METOT

Bu çalışma yürütülürken deneysel uygulamalar yapılmış ve literatür taramalarından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmalardan ilki kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalarına ikincisi ise kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları kullanılarak elde edilen hafif betonlara uygulanmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalarına su emme, agrega darbe değeri deneyi (İmpact Value), özgül ağırlık faktörü deneyi, gevşek birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları kullanılarak elde edilen betonlara ise taze betonlarda çökme (slump) ve birim ağırlık deneyleri, sertleşmiş betonlarda kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü tayini deneyleri yapılmıştır. Çalışma İnönü Üniversitesi OSB Meslek Yüksekokulu malzeme laboratuvarında, agregalardan alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ise İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Su Emme Deneyi

TS EN 1097-6 standardına uygun olarak su emme deneyi yapılmıştır [77]. Pomza agregaları 50 °C’lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilip etüv kuru haline getirilmiş ve tartılmıştır (m1). Tel sepet içerisine konulan agregalar sırasıyla 10dk., 20dk., 30dk., 60dk., 120dk. ve 1440dk. süreyle önce su içerisinde bekletilmiş daha sonra havlu yardımıyla agregalar üzerindeki su tabakaları doymun kuru yüzey haline getirilmiş ve tartılmıştır (m2). Bu çalışmayla farklı sürelerde agrega su emme miktarları belirlenmiştir. Agrega su emme oranları aşağıdaki formül Eşitlik 3.1’e göre hesaplanmıştır.

$$W_a = [100 \times (m_2 - m_1)] / m_1 \quad (3.1)$$

W_a : Su emme miktarı (%)

m_1 : Agreganın etüv kuru halinin kütlesi (g).

m_2 : Agreganın doymun kuru yüzeyi haldeki kütlesi (g).

3.2.2. Agrega Darbe Değeri Deneyi (Impact Value)

BS 812-112 standardı dikkate alınarak deney yapılmıştır [78]. Agregalar 50 °C sıcaklıkta etüvde kurutularak sabit ağırlığa gelmesi sağlanmış ve desikatörde soğutulduktan sonra deneyde kullanılmıştır. Standart boyuttaki agregaların darbeye karşı gösterdiği direnç seviyesini tespit etmek için yapılan deneyde silindir bir kaba konulan agregaların üzerlerine belirli bir yükseklikten belirli bir ağırlık bırakılmış ve agreganın çarpmaya

karşı gösterdiği direnç gözlemlenmiştir. Deney için Şekil 3.12’de görülen agregada darbe değeri deney cihazı kullanılmıştır. 14 mm’lik elekten geçen ve 10 mm’lik elek üstünde kalan agregalar Ø75 mm çaplı 60 mm derinliğe sahip ölçü kabına sıkıştırılarak konulup yüzeyi düzeltilmiştir. Kaptaki bu malzeme tartılıp (A), Ø102 mm iç kaplı ve 50 mm iç derinliğe sahip çelik silindir kabın içerisine her bir tabakaya 25 şişleme yapılarak 3 tabaka halinde yerleştirilmiştir. 38 cm mesafeden deney aletinin çelik gövdeli olan çekiç kısmı ortalama 15 kez ve düşme arası zaman aralığı bir saniyeden fazla olmayacak şekilde serbest bırakılmıştır. Darbe sonucunda kaptaki malzemeler 2.36 mm kare göz açıklıklı elekten elenerek elekten geçen malzeme (B) elde edilmiştir. Agregada darbe değeri oranları aşağıdaki formül Eşitlik 3.2’deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Agrega ufalanma yüzdesi} = (B/A) \times 100 \quad (3.2)$$

A: Kuru malzeme değeri (g)

B: Darbe sonrası 2.36 mm elekten geçen malzemenin kütlesi (g).



Şekil 3. 12. Agregada darbe katsayısı deneyi.

3.2.3. Özgöl Ağırlık Faktörü Deneyi

Agregaların su emme oranı fazla olduğu için agregaların özgöl ağırlıkları değişkenlik gösterir. Bu nedenle hafif agregaların kapladığı hacim hesabına agregaların özgöl ağırlıkları dahil edilemez. Dolayısıyla hafif agregaların kapladığı hacim hesabında özgöl ağırlık yerine, agreganın su emme kapasitesini nem oranına, agreganın boyutuna ve suda kalma süresine göre değerlendiren “özgül ağırlık faktörü” kullanılmaktadır. Suda kalma süresi ile karışım süresinin uygun düşmesi için 10 dakika sabit olarak alınmaktadır [49]. Kaplanmamış ve kaplanmış, pomza agregalarına özgöl ağırlık faktörü deneyi uygulanırken agregalar ve suyun hacimsel olarak yer değiştirmesi neticesine göre yapılmıştır. Cam bir mezürün içi su doldurularak üzerinde hava boşlukları kalmayacak şekilde cam levha kapatılmış ağırlığı (A) olarak belirlenmiştir. Cam mezürden bir miktar su boşaltılmış cam kaba (Pa) ağırlığındaki etüv kurusu agregaya bırakılmış üzeri su ile tamamlanmıştır. Cam mezür içerisinde hava kabarcığı kalmaması için kabın içerisindeki agregalar ince bir çubukla karıştırılmıştır. Su ile tamamen doldurulan cam mezür kabın üzeri cam levha kapatılmıştır. Agregaya ve su dolu kap tartılarak A^I ağırlığı tespit edilmiştir. Agregaların özgöl ağırlık formülü Eşitlik 3.3’e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{Pa}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (3.3)$$

$$V = Pa + (A - A^I) \text{ (cm}^3\text{)}$$

δ : Özgöl ağırlık (g/cm³)

V: Agregaya hacmi (cm³)

Pa: Agregaya kütlesi (g)

A: Su dolu cam mezür kap kütlesi (g)

A^I : Agregaya ve su dolu cam mezür kap kütlesi (g)

3.2.4. Gevşek Birim Ağırlık Deneyi

Gevşek birim ağırlık deneyi için etüv kurusu haldeki agregalar, 5 cm’den daha yüksek olmayacak ve ölçü kabını aşmayacak şekilde darası alınmış (m1) ölçü kabının içine bırakılmıştır. Ölçü kabına doldurulan agregaların kapdan taşan kısmı alınarak kabın üst yüzeyi el ile düzeltilmiştir. Agregalarla doldurulan kap tartılarak ağırlıklar kaydedilmiştir (m2). Gevşek birim ağırlık deneyi TS EN 1097-3’e uygun şekilde yapılarak aşağıda belirtilen Eşitlik 3.4’teki formülle göre hesaplanmıştır [79].

$$\rho_b = (m_2 - m_1) / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.4)$$

ρ_b : Kap içerisindeki malzemenin gevşek yoğunluğu (kg/m³)

m_2 : Ölçü kabı ile agreganın ağırlığı (g)

m_1 : Boş kabın ağırlığı (g)

V : Ölçü kabının hacmi (dm³)

3.2.5. Hafif Beton Karışımları

Çalışmada; kaplanmamış ve çimento ile kaplanmış pomza agregası kullanılarak 550 dozlu hafif beton numuneleri hazırlanmıştır. TS 2511 taşıyıcı hafif beton standardına göre beton karışım hesapları yapılmıştır [80]. Buna göre toplam agrega hacmindeki 0/4 mm boyutundaki agrega oranı %49, 4/8 mm boyutundaki agrega oranı %14 ve 8/16 mm boyutundaki agrega oranı %37 olarak belirlenmiştir. Deney numunelerinin karışım miktarları Çizelge 3.5’de verilmiştir. Betonun karılmasında 140 lt hacme sahip elektrikli portatif betoniyer tipi mikser kullanılmıştır. (Şekil 3.13.) Karışımda doymun kuru yüzey haldeki ince ve iri agregalar elektrikli portatif betoniye konulup 2 dakika karıştırılarak homojen hale getirildi. Daha sonra agregalara çimento eklenerek 2 dakika daha karıştırıldı. Agrega ve çimento karışımına karışım suyunun yarısı ilave edildikten sonra 3 dakika daha karışım işlemi uygulandı. Son olarak karışım suyunun geri kalan kısmına süper akışkanlaştırıcı eklenip betoniyer içerisindeki tüm karışım eklenerek 3 dakika daha karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi toplamda 10 dakika sürmüştür. Taze beton homojenliğini kaybetmeden ve ayrışma meydana gelmeden kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numuneler, vibrasyon makinesinde titreşim uygulanarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin prizini alması için sıcaklığı 20°C ve nemi en az %70 olan bir yerde üzeri örtüyle kapatılarak 24 saat bekletilmiştir. 7 gün süre ile prizini alan numuneler su sıcaklığı 20±2°C olan kür havuzunda bekletilmiştir.

Çizelge 3. 5. Beton karışım miktarları.

Karışımdaki Malzemeler		Birim	Karışım Oranları (550 Doz)				
			Kontrol	0.55-KA	0.50-KA	0.35-KA	0.25-KA
Agrega Elek Açıklığı (mm)	8-16	kg	190	252	250	243	329
	4-8	kg	64	92	91	93	121
	0-4	kg	333	333	333	333	333
Su		kg	132	132	132	132	132
Çimento		kg	550	550	550	550	550
Süper Akışkanlaştırıcı		kg	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4



Şekil 3. 13. Elektrikli portatif betoniyer.

3.2.6. Çökme (Slump) Deneyi

Taze betonun kıvamının tespit etmek için TS EN 12350-2'ye göre çökme hunisi kullanılarak deney yapılmıştır [81]. Taze beton her tabakası 25 kez şişlenecek şekilde çökme hunisine doldurulmuş ve üç eşit tabakada yerleştirilmiştir. Çökme hunisine doldurulan taze beton yukarı kaldırılarak betonun ağırlığı ile yayılması sağlanmış ve çökme hunisi ters çevrilerek yayılan taze betonun yanına bırakılmış çökme değerleri

bulunmuştur. (Şekil 3.14.) TS EN 206-1'e göre çökme sınıfları Çizelge 3.6'da verilmiştir [82].



Şekil 3. 14. Çökme deneyi.

Çizelge 3. 6. TS EN 206-1'e standardına uygun olan çökme sınıfları ve değerleri [82].

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

3.2.7. Birim Ağırlık Deneyi

TS EN 12350-6 standardına göre taze betonun birim hacim ağırlığının tespiti yapılmıştır [83]. Taze beton hacmi ve kütlesi belli olan rijit ve sızdırmaz bir kaba üç tabaka halinde yerleştirilmiş ve her tabakaya 25'er kez şişleme işlemi uygulanarak sıkıştırılmıştır. Her sıkıştırma uygulaması yapıldıktan sonra boşluk kalmamasına dikkat edilmiş kabın dış kısmına plastik tokmakla vurulmuştur. Ölçü kabının üzerinde ve kenarlarında beton kalmamasına dikkat edilmiş temizlenerek dolu kap tartılmıştır. Taze betonun yoğunluğu aşağıdaki formül Eşitlik 3.5'e göre hesaplanmıştır.

$$D = (m_2 - m_1) / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.5)$$

D : Taze betonun yoğunluğu (kg/m³)

m₁ : Kabin kütlesi (kg)

m₂ : Kaba bırakılan beton numune kütlesi (kg)

V : Kabin hacmi (m³)

3.2.8. Kuru Birim Ağırlık Deneyi

Kuru birim ağırlık deneyi TS EN 12390-7'ye göre 100x100x100 mm ebatlarında küp numuneler kullanılarak yapılmıştır [84]. 24 saat su küründe bekletilen numuneler daha sonra etüvde 110 °C sıcaklıkta 24 saat süresince bekletilerek kurutulmuştur. Hassas terazide tartılan numunelerin boyutları Şekil 3.15'de görüldüğü gibi kumpasla ölçülerek aşağıdaki formül Eşitlik 3.6'ya göre kuru birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

$$S_k = W / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (3.6)$$

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

W : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (kg)

V : Numune hacmi (m³)



Şekil 3. 15. Kumpasla ölçümü yapılan beton numunesinin kuru birim hacim ağırlığı.

3.2.9. Basınç Dayanımı Deneyi

TS EN 12390–3 standardı dikkate alınarak sertleşmiş beton numunelerin basınç dayanımı bulunmuştur. [85]. 100x100x100 mm boyutlarında 45 adet küp numunesi 7 ve 28 günlük kür süreleri neticesinde deneyi yapmak amacıyla kırılmak üzere hazırlanmıştır. Deneyde kullanılan tek eksenli beton basınç test cihazı 2000 KN yük kapasiteli, yükleme hızı ayarlanabilen dijital kumandalı bir cihazdır. (Şekil 3.16.) Beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri Eşitlik 3.7’de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$F_c = F / A_c \quad (3.7)$$

F_c : Basınç dayanımı (MPa),

F : Numunelerin kırıldıkları andaki en yüksek yük (N)

A_c : Deney numunelerinin en kesit alanı (mm²)



Şekil 3. 16. Basınç test cihazı.

3.2.10. Yarmada Çekme Dayanımı

TS EN 12390-6 standardına göre yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır [86]. Her bir deney serisi için 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere 100x200 mm boyutlarında toplam 30 adet silindir numune hazırlanmıştır. Silindir numunenin alt ve üst

apının tam ortasına iki çizgi çizilmiş bu çizgiler silindir numunenin yan yüzeyleri boyunca devam ettirilip birleştirilmiştir. Daha sonra yatay konumda olan silindir numunenin alt ve st kısmına 3 mm kalınlığında prizmatik ahşap çubuklar bırakılmıştır. Silindir numunenin alt ve st kısmında yer alan prizmatik çubukların sabit kalması sağlanarak cihaza yerleştirilmiştir. Cihaza yerleştirilen numune cihazın sabitleme aparatı aracılığıyla sıkıştırılmış ve yükleme işlemi başlatılmıştır. (şekil 3.17.) Yarma sonucu kırılan numunelerin görüntüleri şekil 3.18’de verilmiştir. Yarmada ekme dayanımının hesaplanmasında aşağıdaki Eşitlik 3.8’deki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2 * F}{\pi * L * d^2} \quad (3.8)$$

f_{ct} : Yarmada ekme dayanımı (MPa)

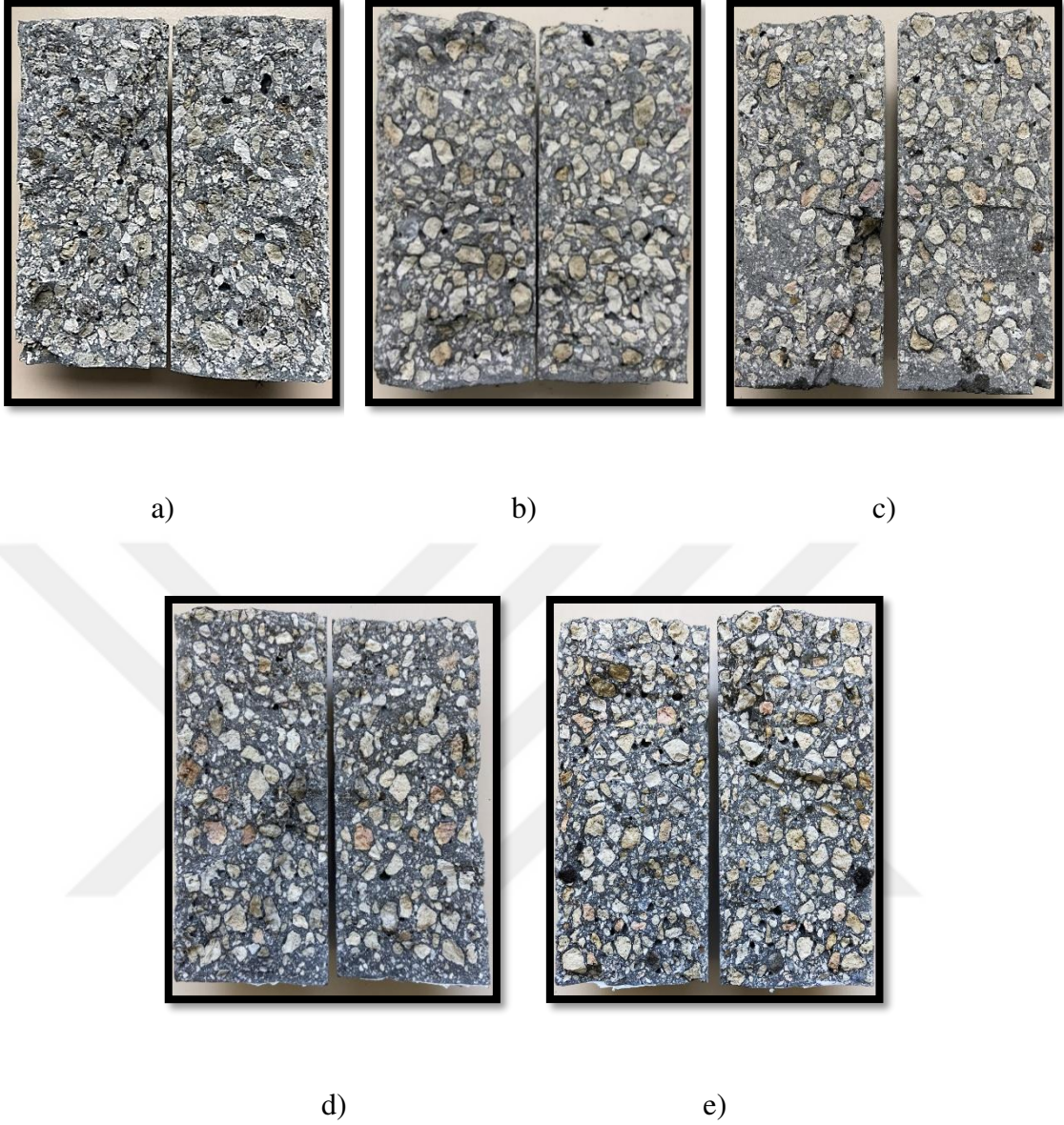
F : Numunelere uygulanan maksimum kuvvet (N)

L : Numunenin uzunluğu (mm)

D : Seçilen numunenin çapı (mm)



şekil 3. 17. Beton numunelerin yarmada çekme deney cihazı.



Şekil 3. 18. a) Yarmada çekme deneyi kontrol numunesi görüntüsü, b) Yarmada çekme deneyi 0.55-KA numunesi görüntüsü, c) Yarmada çekme deneyi 0.50-KA numunesi görüntüsü, d) Yarmada çekme deneyi 0.35-KA numunesi görüntüsü, e) Yarmada çekme deneyi 0.25-KA numunesi görüntüsü.

3.2.11. Eğilme Dayanımı

100x100x400 mm boyutlarındaki 30 adet prizma numune her deney için ayrı olacak şekilde 7 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda kırılmak üzere hazırlanmıştır. TS EN 12390-5 standardı dikkate alınarak yapılan deney orta (tek) noktadan yüklenmiş (3 noktalı) eğilme deneyi yöntemine göre yapılmıştır [87]. (Şekil 3.19.) Kür havuzunda bekletilen numuneler, sudan çıkartıldıktan sonra 24 saat bekletilmiştir. Numuneler pres

test cihazının mesnetler arasındaki mesafesinin orta noktası (L/2) boyunca yüklemenin yapıldığı deney pres cihazının üst başlığına dik gelecek şekilde ayarlanmıştır. Numunelerde kırılma meydana gelene kadar yüklemeye devam edilmiştir. Eğilme dayanımının hesaplanmasında Eşitlik 3.9'daki formül kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{3 * F * L}{2 * b * h^2} \quad (3.9)$$

σ : Maksimum normal gerilme (N/mm²)

F : Uygulanan kuvvet (N)

L : İki mesnet arasındaki mesafe (mm)

B : Kirişin genişliği (mm)

H : Kirişin yüksekliği (mm).



Şekil 3. 19. Eğilme dayanımı deney cihazı.

3.2.12. Elastisite Modülü Tayini ve Poisson Oranı

Elastisite modülü ve poisson oranlarının hesaplanması amacıyla yapılan deney için 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda 150x300 mm boyutlarında 30 adet silindir numune hazırlanmıştır. Deney için hazırlanan numuneler elastisite modülü çerçevesine (deformasyon komparatörü) bırakılıp, beton basınç test cihazına yerleştirilmiştir. (Şekil

3.20.) Silindir numunelere sekant elastisite modülü yöntemi uygulanmıştır. Elastisite modülü değerlerinin tespit edilmesinde Eşitlik 3.10'deki, poisson oranlarının belirlenmesinde ise Eşitlik 3.11'deki formüller kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_0} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_y = \frac{L - L'}{L}, \quad \varepsilon_x = \frac{D' - D}{D}, \quad V = - \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad (3.11)$$

σ = Uygulanan gerilme

ε_x = Boyuna gerinim

σ_a = Üst gerilme

ε_x = Enine gerinim

σ_b = Alt gerilme

L = Silindirin uzunluğu

ε_a = Üst Deformasyon

L' = Silindirin son uzunluğu

ε_a = Alt Deformasyon

D = Silindirin çapı

E_c = Elastikiyet modülü

D' = Silindirin son çapı

V = Poisson oranı



Şekil 3. 20. Elastisite modülü tayini.

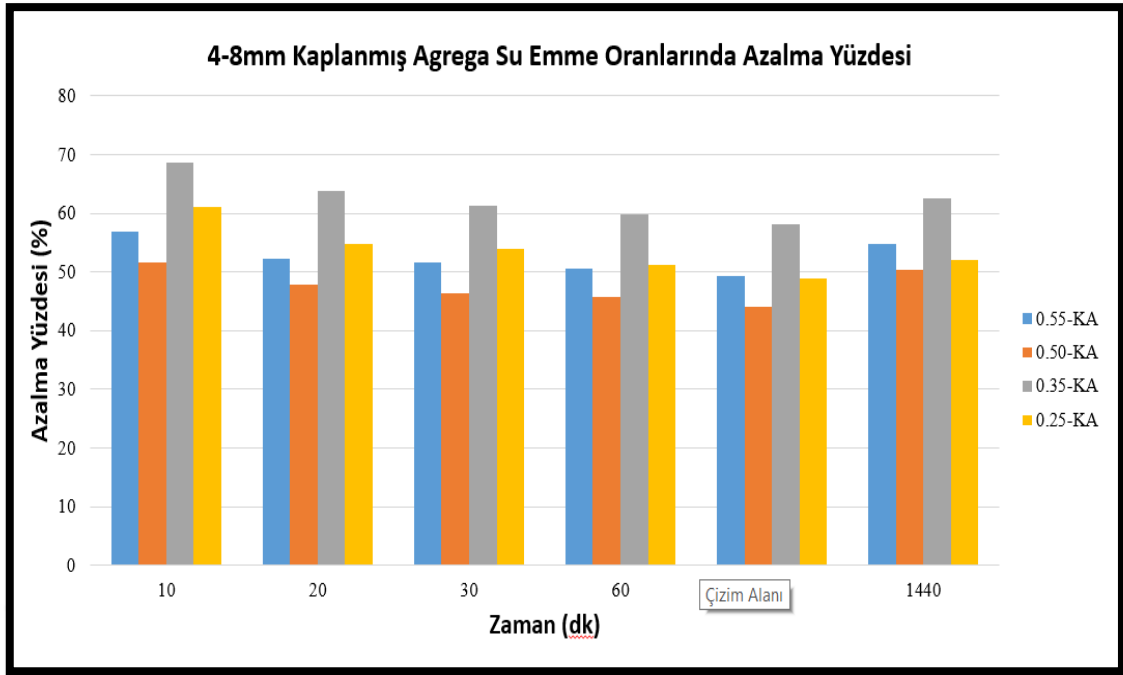
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. SU EMME DENEYİ

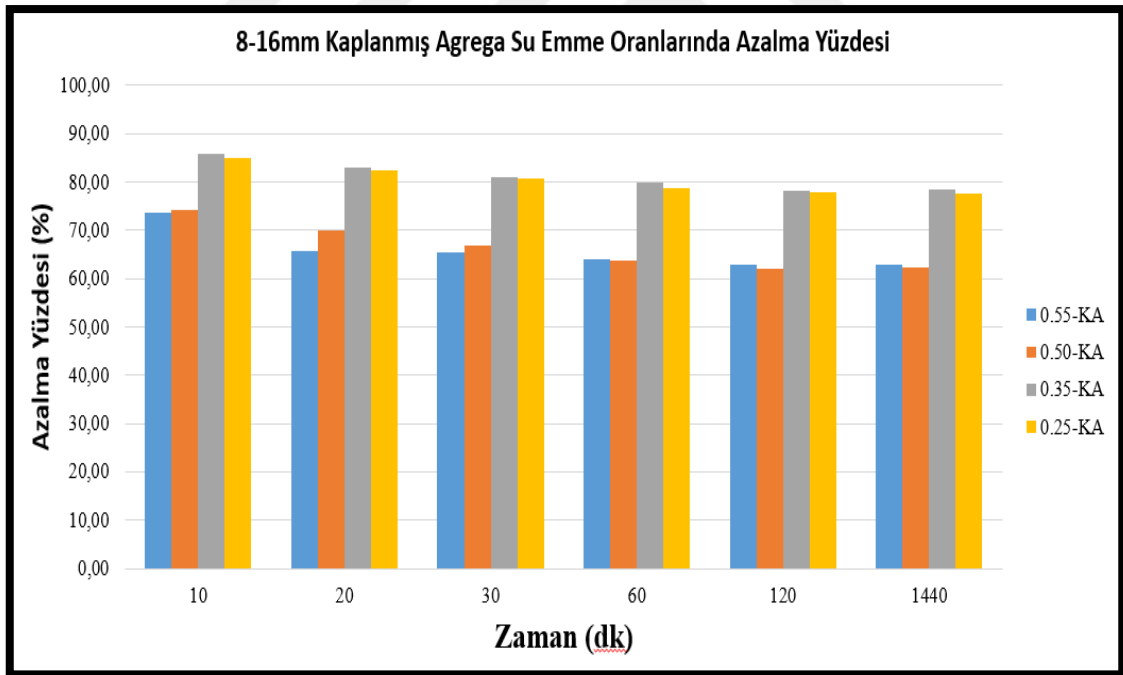
Su emme deneyi tayini, TS EN 1097-6 standardı dikkate alınarak yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 4.1’de 4-8mm ve 8-16 mm’lik agregaların su emme oranlarının grafiksel gösterimi ise Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir [77].

Çizelge 4. 1. Agregaların su emme oranları.

Zaman (dk)	Elek Açıklığı (mm)	Agrega Su Emme Miktarı (%)				
		Kontrol	0.55-KA	0.50-KA	0.35-KA	0.25-KA
10	4-8	38.20	16.50	18.50	12.00	14.90
	8-16	52.20	13.80	13.40	7.40	7.80
20	4-8	38.50	18.40	20.10	13.90	17.40
	8-16	52.70	18,10	15.80	9.00	9.20
30	4-8	38.80	18.80	20.80	15.00	17.90
	8-16	53.00	18.30	17.60	10.00	10.20
60	4-8	38.90	19.20	21.10	15.60	19.00
	8-16	53.00	19.00	19.20	10.60	11.20
120	4-8	39.10	19.80	21.90	16.40	20.00
	8-16	54.40	20.20	20.60	11.80	12.00
1440	4-8	49.50	22.40	24.60	18.50	23.70
	8-16	65.50	24.30	24.70	14.20	14.70



Şekil 4. 1. 4-8 mm kaplanmış agregaların su emme oranlarının grafiği.



Şekil 4. 2. 8-16 mm kaplanmış agregaların su emme oranlarının grafiği.

Bims Sanayiciler Derneği (2006) raporuna göre ülkemizdeki pomza hafif agregalarının su emme oranlarının %30-70 aralığında olduğu söylenmiştir [88]. 4-8 mm ve 8-16 mm'lik göz açıklığına sahip kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaların 1440 dakikalık su

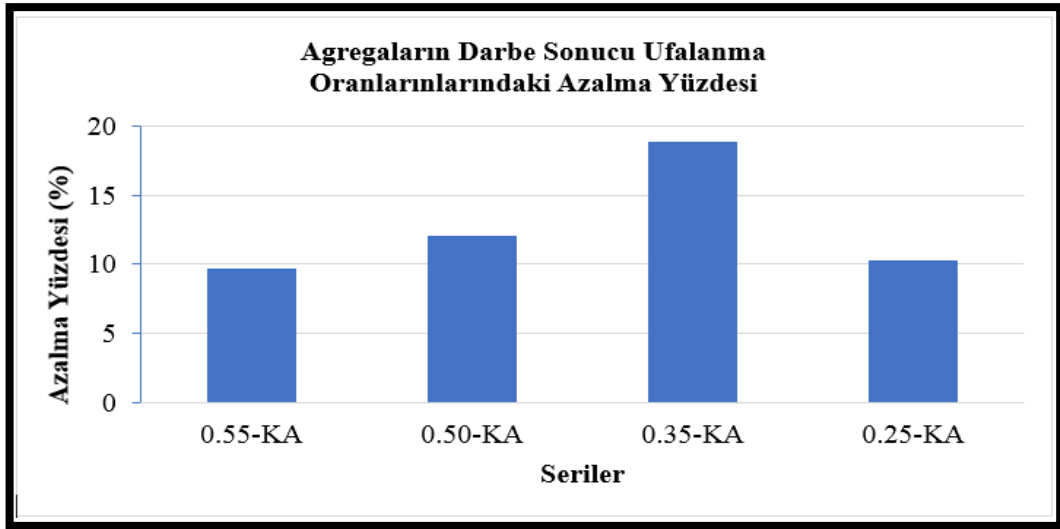
emme yüzdeleri incelenmiştir. Buna göre 4/8 mm göz açıklığına sahip kaplanmamış pomza agregaların su emme oranlarının %23 olduğu görülmüştür. 4-8 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre su emme yüzde değerleri incelendiğinde; 0.55-KA agregalarında %55, 0.50-KA agregalarında %50, 0.35-KA agregalarında %63 ve 0.25-KA agregalarında %52 oranında daha az su emdiği tespit edilmiştir. 8/16 mm göz açıklığına sahip kaplanmamış pomza agregaların su emme oranlarının %20 olduğu görülmüştür. 8-16 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre su emme yüzde değerleri incelendiğinde; 0.55-KA agregalarında %63, 0.50-KA agregalarında %62, 0.35-KA agregalarında %78 ve 0.25-KA agregalarında %77 oranında daha az su emdiği belirlenmiştir. Pomza agregalarına çimento hamuru ile kaplama işlemi yapıldıktan sonra su emme oranlarının azaldığı görülmüştür.

4.2. AGREGA DARBE DEĞERİ DENEYİ (IMPACT VALUE)

Agrega darbe değeri deneyi (Impact Value) BS 812-112 standardı dikkate alınarak yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 4.2’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.3’de verilmiştir [78].

Çizelge 4. 2. Agrega darbe katsayısı ufalanma yüzdesi.

Elek Aralığı (mm)	Agregaların Darbe Sonucu Ufalanma Oranları (%)				
	Kontrol	0.55-KA	0.50-KA	0.35-KA	0.25-KA
10-14	77.72	70.16	68.36	63.08	69.76



Şekil 4. 3. Agregaların darbe sonucu ufalanma grafiği.

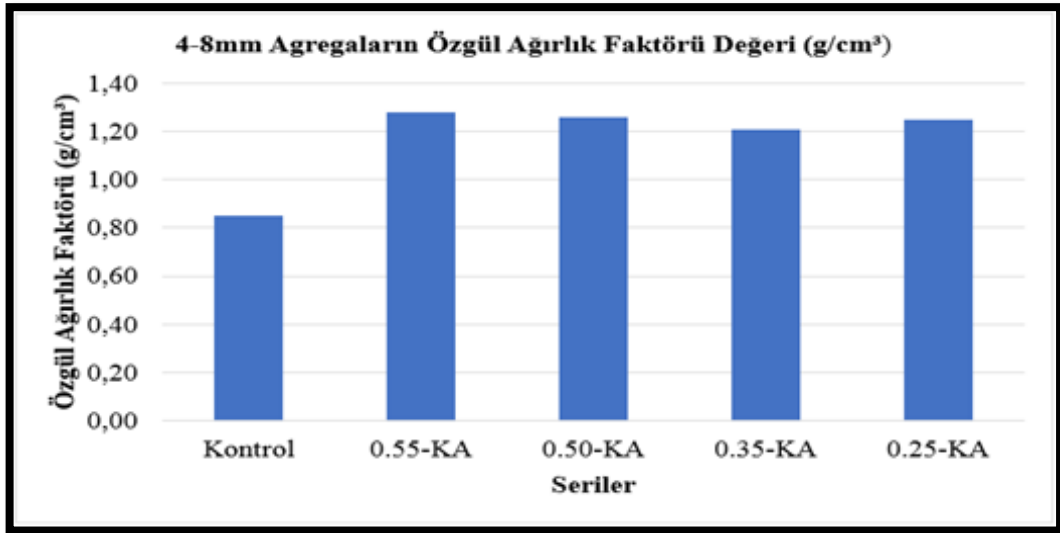
8-16 mm kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalara göre darbe değerlerinin ufalanma yüzdeleri incelendiğinde, kaplanmış pomza agregalarından 0.35-KA numunesinin %19, 0.50-KA numunesinin %12, 0.25-KA numunesinin %10 ve 0.55-KA numunesinin ise %9.5 oranında kaplanmamış pomza agregalarına göre daha az ufalanma meydana geldiği görülmüştür. Kaplanmış pomza agregaların, kaplanmamış pomza agregalarına oranla darbe dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir.

4.3. ÖZGÜL AĞIRLIK FAKTÖRÜ DENEYİ

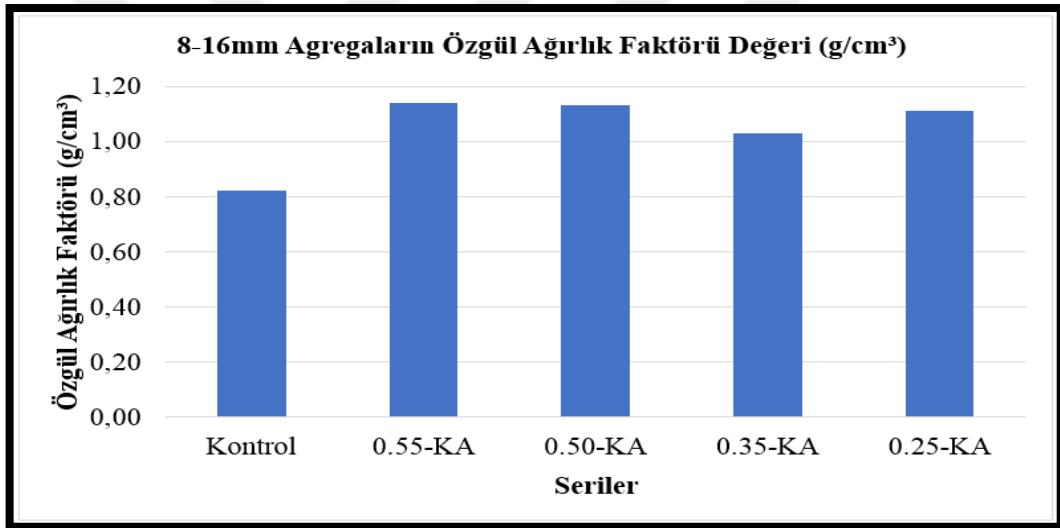
Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaların özgül ağırlıklarını belirlemek için özgül ağırlık faktörü deneyi yapılmış, deney sonuçları Çizelge 4.3’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Özgül ağırlık faktörü değerleri.

Elek Açıklığı (mm)	Özgül Ağırlık Faktörü Değerleri (g/cm ³)				
	Kontrol	0.55-KA	0.50-KA	0.35-KA	0.25-KA
0/4 mm	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
4/8 mm	0.85	1.28	1.26	1.21	1.25
8/16 mm	0.82	1.14	1.13	1.03	1.11



Şekil 4. 4. 4-8 mm agregaların özgöl ağırlık faktörü grafiği.



Şekil 4. 5. 8-16 mm agregaların özgöl ağırlık faktörü grafiği.

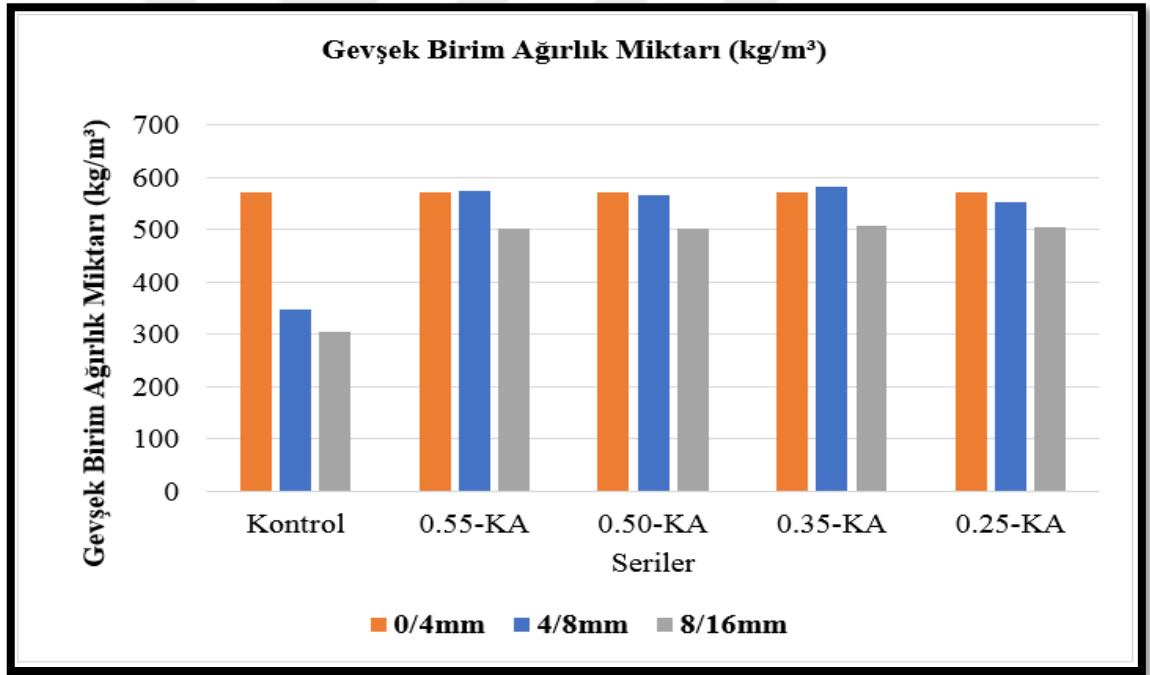
4-8 mm ve 8-16 mm'lik göz açıklığına sahip kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaların özgöl ağırlık değerleri incelenmiştir. 4-8 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre özgöl ağırlık yüzde değerleri incelendiğinde; 0.35-KA agregalarında %30, 0.25-KA agregalarında %32, 0.50-KA agregalarında %33 ve 0.55-KA agregalarında %34 oranında özgöl ağırlık değerinin arttığı tespit edilmiştir. 8-16 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre özgöl ağırlık yüzde değerleri incelendiğinde; 0.35-KA agregalarında %20, 0.25-KA agregalarında %26, 0.50-KA agregalarında %27 ve 0.55-KA agregalarında %28 oranında özgöl ağırlık değerinin arttığı belirlenmiştir.

4.4. GEVŞEK BİRİM AĞIRLIK DENEYİ

Gevşek birim ağırlık deneyi TS EN 1097-3’de belirtilen standart dikkate alınarak yapılmış ve deney sonuçları Çizelge 4.4’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.6’da verilmiştir [79].

Çizelge 4. 4. Gevşek birim ağırlık değerleri.

Elek Açıklığı (mm)	Gevşek Birim Ağırlık Miktarları (kg/m ³)				
	Kontrol	0.55-KA	0.50-KA	0.35-KA	0.25-KA
0/4 mm	571.80	571.80	571.80	571.80	571.80
4/8 mm	347.5	573	567	581.4	551.3
8/16 mm	303.50	502	501.50	508	504



Şekil 4. 6. Gevşek birim ağırlığı hesaplanan numunelerin grafiği.

4-8 mm ve 8-16 mm’lik göz açıklığına sahip kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaların gevşek birim ağırlık değerleri incelenmiştir. 4-8 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre gevşek birim ağırlık yüzde değerleri incelendiğinde; 0.35-KA agregalarında %40, 0.55-KA agregalarında %39, 0.50-KA agregalarında %38 ve 0.25-KA agregalarında %37 oranında gevşek birim ağırlık

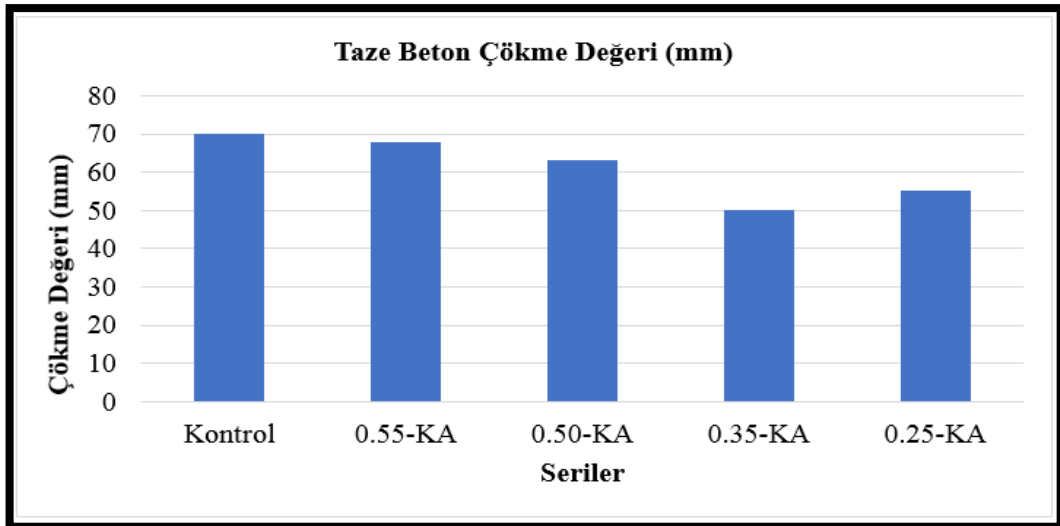
değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. 8-16 mm Kaplanmamış pomza agregaların kaplanmış pomza agregalarına göre gevşek birim ağırlık yüzde değerleri incelendiğinde; 0.35-KA agregalarında %40, 0.25-KA agregalarında %39.8, 0.55-KA agregalarında %39.5 ve 0.50-KA agregalarında %39.4 oranında gevşek birim ağırlık değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

4.5. ÇÖKME (SLUMP) DENEYİ

Taze betonun kıvamını TS EN 12350-2’de belirtilen standartlar dikkate alınarak yapılmış çökme hunisi ile yayılan beton arası ölçülerek çökme miktarları Çizelge 4.5’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.7’de verilmiştir [81].

Çizelge 4. 5. Çökme değerleri.

Kıvam Sınıfı	Çökme Değeri (mm)
Kontrol	70
0.55-KA	68
0.50-KA	63
0.35-KA	50
0.25-KA	55



Şekil 4. 7. Taze beton numunelerin çökme değerleri grafiği.

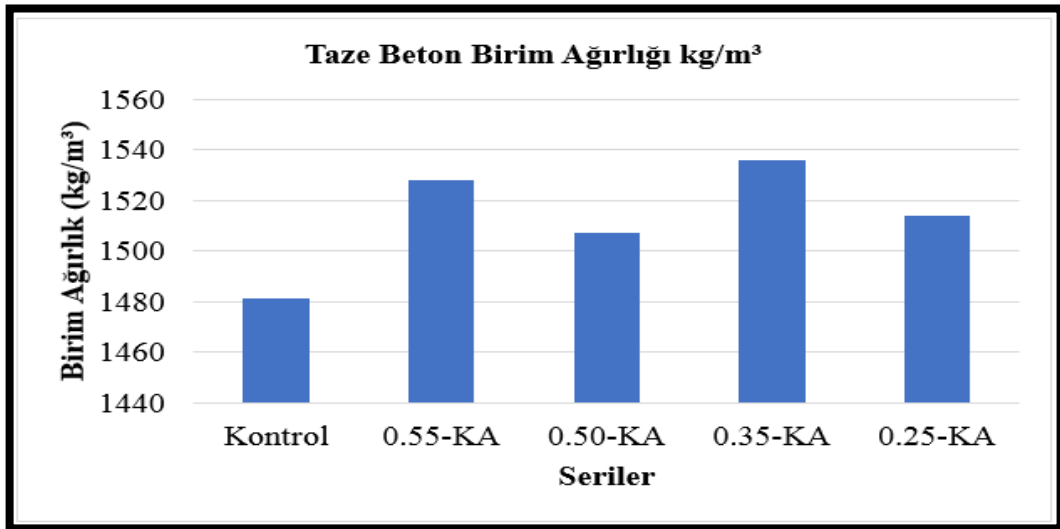
Elde edilen karışımlarda çökme değeri 50 – 75 mm arasında değişkenlik göstermiş, çökme sınıfı TS EN 206-1 standardına göre S2 (40 -90 mm) olarak belirlenmiştir [82].

4.6. BİRİM HACİM AĞIRLIK

Taze betonun birim hacim ağırlığının tespiti için TS EN 12350-6 standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak yapılmış deney sonuçları Çizelge 4.6’da grafiksel gösterim ise Şekil 4.8’de verilmiştir [83].

Çizelge 4. 6. Taze beton birim ağırlıkları.

Karışımlar	Taze Beton Birim Ağırlığı kg/m ³
Kontrol	1481
0.55-KA	1528
0.50-KA	1507
0.35-KA	1536
0.25-KA	1514



Şekil 4. 8. Taze beton numunelerin birim ağırlıkları grafiği.

Taze betonların birim hacim ağırlıkları 1481 kg/m³ ile 1536 kg/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kaplanmış agregaların birim hacim ağırlığının kontrol numunesinde kullanılan agregalara göre daha fazla olmasından dolayı üretilen taze betonların birim

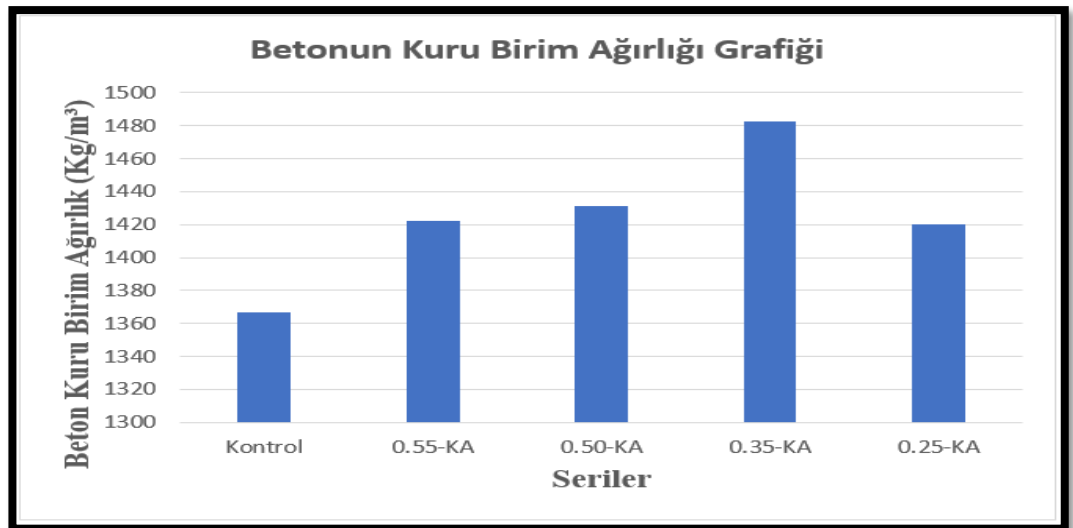
hacim ağırlığı kontrol numunesine göre yüksek çıkmıştır. Kontrol numunesine göre birim ağırlığı, 0.55-KA numunelerinde %3.2, 0.50-KA numunelerinde %1.8, 0.35-KA numunelerinde %3.8 ve 0.25-KA numunelerinde %2.3 artmıştır.

4.7. KURU BİRİM HACİM AĞIRLIK

Sertleşmiş beton numunelerin 28 günlük kür koşullarından sonra kuru birim hacim ağırlıklarının tespit edilmesi için TS EN 12390-7 standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak yapılmış deney sonuçları Çizelge 4.7’de grafiksel gösterim ise Şekil 4.9’da verilmiştir [84].

Çizelge 4. 7. Kuru birim ağırlık deney sonuçları.

Karışımlar	Betonun Kuru Birim Ağırlığı kg/m^3
Kontrol	1367
0.55-KA	1422
0.50-KA	1431
0.35-KA	1483
0.25-KA	1420



Şekil 4. 9. Beton numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları grafiği.

Sertleşmiş beton numunelerin kuru birim birim hacim ağırlıkları 1367 kg/m^3 ile 1483 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Kaplanmış agregaların birim hacim ağırlığının

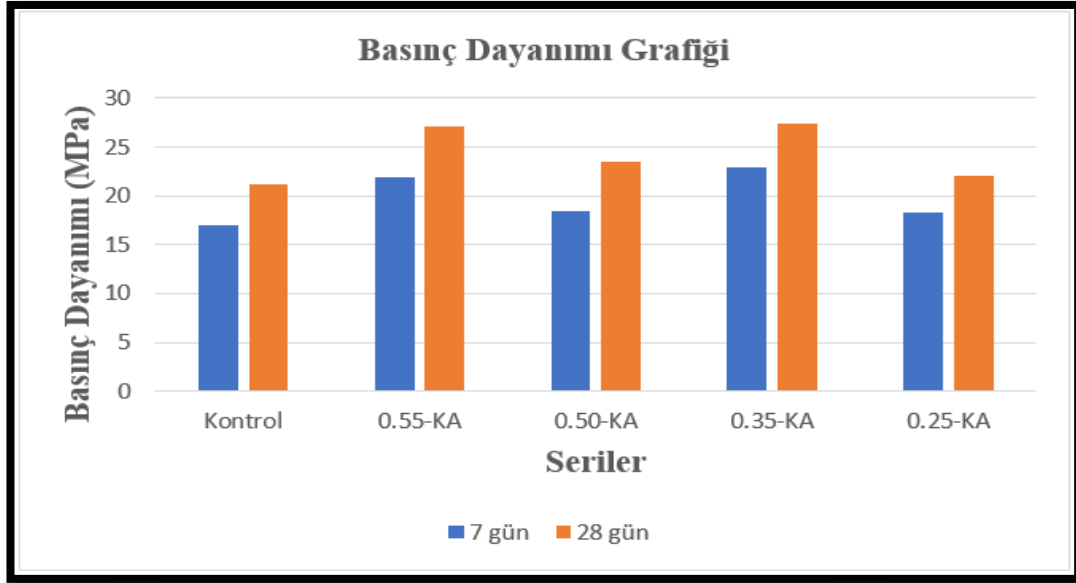
kontrol numunesinde kullanılan agregalara göre daha fazla olmasından dolayı sertleşmiş betonların birim hacim ağırlığı kontrol numunesine göre yüksek çıkmıştır. Kontrol numunesine göre birim ağırlığı, 0.55-KA numunelerinde %4, 0.50-KA numunelerinde %4.7, 0.35-KA numunelerinde %8.5 ve 0.25-KA numunelerinde %3.9 artmıştır.

4.8. BASINÇ DAYANIMI

Basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390–3’de belirtilen sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini standardına uygun olarak yapılmıştır [85]. Zaman tasarrufu, ekonomik etkenler, beton atık malzeme miktarının azalması, kalite kontrolü gibi nedenlerden dolayı 100x100x100 mm küp numune kullanımının daha faydalı olduğu görülmüştür. Basınç deneyinde kullanılan 100x100x100 mm küp numunelerin boyutlarının deney değerleri üzerindeki sonuçları incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde basınç dayanım değerlerinin dönüştürülmüş hali Çizelge 4.8’de, grafiksel gösterim ise Şekil 4.10’da verilmiştir [89].

Çizelge 4. 8. Numunelerin basınç dayanım sonuçları.

Karışımlar	Basınç Dayanımları			
	7 gün		28 gün	
	(MPa)	%	(MPa)	%
Kontrol	17.05	100	21.19	100
0.55-KA	21.92	129	27.18	128
0.50-KA	18.46	108	23.51	111
0.35-KA	22.89	134	27.42	129
0.25-KA	18.26	107	22.11	104



Şekil 4. 10. Numunelerin basınç dayanımları grafiği.

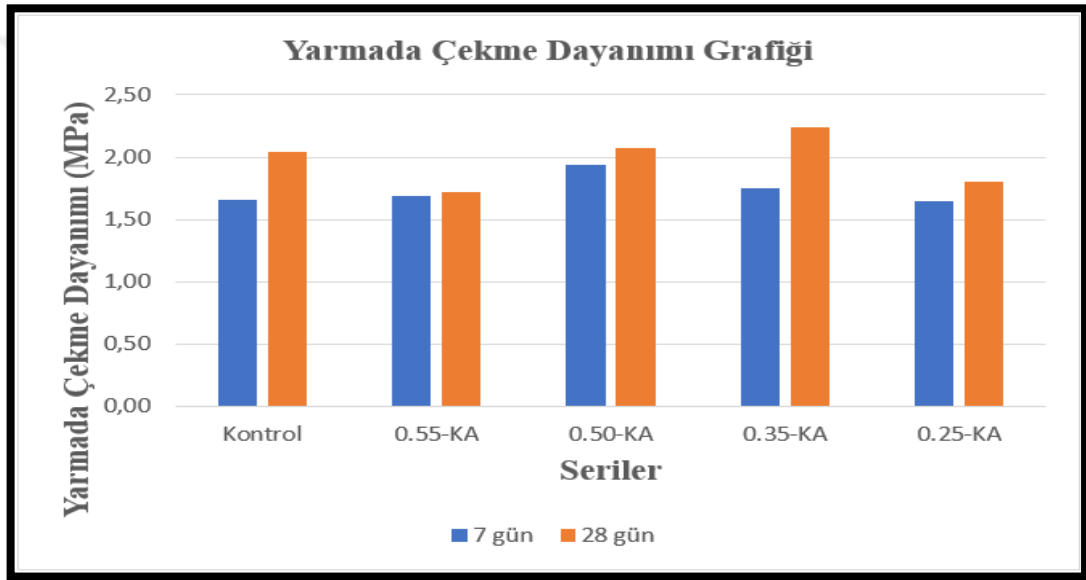
Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, 7 gün sonunda en yüksek değer olan 22.89 MPa ile 0.35-KA numunesinden ve en düşük değer olan 17.05 MPa ile kaplanmamış kontrol numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 7 günlük kür süresi sonunda uygulanan basınç dayanımları incelenerek, numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. 0.55-KA'da %29, 0.50-KA'da %8, 0.35-KA'da %34 ve 0.25-KA'da ise %7 oranında kaplanmamış kontrol numunesine göre basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. 28 gün sonunda en yüksek değer olan 27.42 MPa ile 0.35-KA numunesinden ve en düşük değer olan 21.19 MPa ile kaplanmamış kontrol numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda uygulanan basınç dayanımları incelenerek, numunelerin basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. 0.55-KA'da %28, 0.50-KA'da %11, 0.35-KA'da %29 ve 0.25-KA'da ise %4 oranında kaplanmamış kontrol numunesine göre basınç dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir.

4.9. YARMADA ÇEKME DAYANIMI

Deney TS EN 12390-6 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış deney sonuçları Çizelge 4.9'da ve grafik gösterimi Şekil 4.11'de verilmiştir [86].

Çizelge 4. 9. Yarmada çekme deneyi numune sonuçları.

Karışımlar	Yarmada Çekme Dayanımları			
	7 gün		28 gün	
	(MPa)	%	(MPa)	%
Kontrol	1.66	100	2.04	100
0.55-KA	1.69	102	1.72	85
0.50-KA	1.94	117	2.07	102
0.35-KA	1.75	105	2.24	110
0.25-KA	1.65	99.5	1.80	88



Şekil 4. 11. Yarmada çekme dayanımları grafiği.

Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerin 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları incelendiğinde, 7 gün sonunda en yüksek değer olan 1.94 MPa ile 0.50-KA numunesinden ve en düşük değer olan 1.65 MPa ile 0.25-KA numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 7 günlük kür süresi sonunda uygulanan yarmada çekme dayanımları incelenerek, numunelerin yarmada çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış kontrol numunesine göre 0.55-KA'da %2, 0.50-KA'da %28, 0.35-KA'da dayanımların %9 arttığı, ancak 0.25-KA'da ise dayanımın %0.5 azaldığı görülmüştür. 28 gün sonunda en yüksek değer olan 2.24 MPa ile 0.35-KA numunesinden ve en düşük değer olan 1.72 MPa ile 0.55-KA numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve

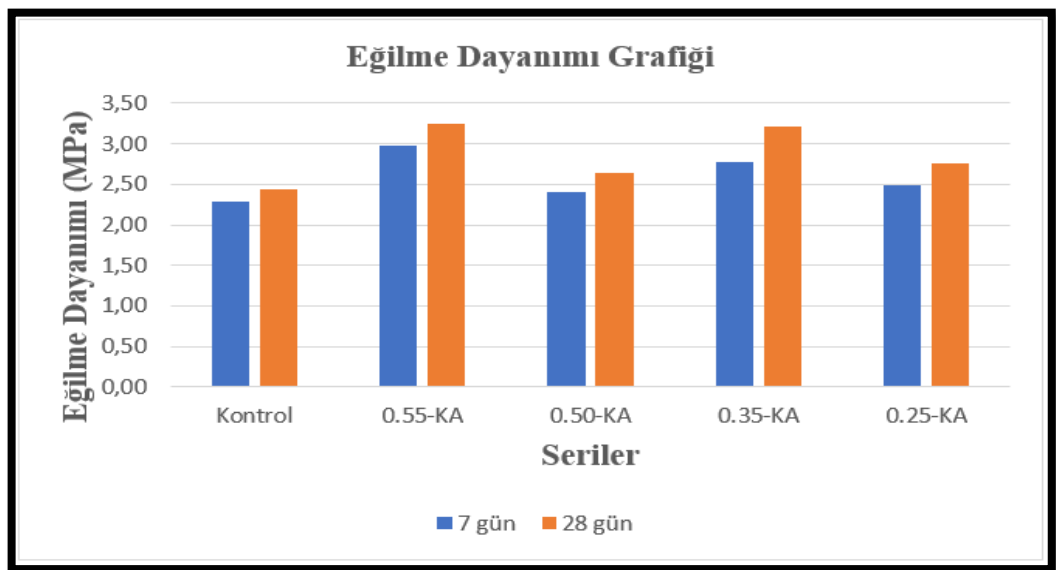
kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda uygulanan yarmada çekme dayanımları incelenerek, numunelerin yarmada çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış kontrol numunesine göre 0.35-KA'da %10, 0.50-KA'da %2 oranında dayanımların arttığı, ancak 0.25-KA'da %12, 0.55-KA'da %15 oranında dayanımların azaldığı görülmüştür.

4.10. EĞİLME DAYANIMI

Deney TS EN 12390-5 standardına uygun olarak yapılmış deney sonunda maksimum eğilme yükü değeri elde edilerek Çizelge 4.10'de ve grafik gösterimi Şekil 4.12'de verilmiştir [87].

Çizelge 4. 10. Beton numunelerin eğilme dayanımları sonuçları.

Karışımlar	Eğilme Dayanımları			
	7 gün		28 gün	
	(MPa)	%	(MPa)	%
Kontrol	2.29	100	2.45	100
0.55-KA	2.98	130	3.25	133
0.50-KA	2.40	105	2.64	108
0.35-KA	2.77	121	3.21	131
0.25-KA	2.48	108	2.76	113



Şekil 4. 12. Beton numunelerin eğilme dayanımları grafiği.

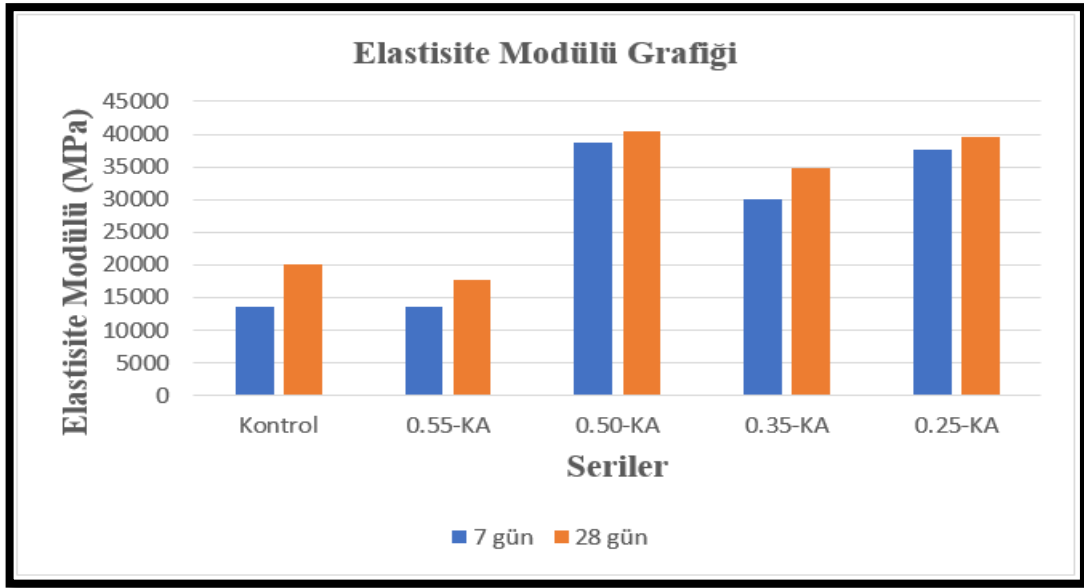
Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde. 7 gün sonunda en yüksek değer olan 2.98 MPa ile 0.55-KA numunesinden ve en düşük değer olan 2.29 MPa ile kaplanmamış kontrol numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 7 günlük kür süresi sonunda uygulanan eğilme dayanımları incelenerek, numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış kontrol numunesine göre 0.55-KA'da %30, 0.50-KA'da %5, 0.35-KA'da %21 ve 0.25-KA'da ise %8 oranında eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. 28 gün sonunda en yüksek değer olan 3.25 MPa ile 0.55-KA numunesinden ve en düşük değer olan 2.45 MPa ile kaplanmamış kontrol numunesinden elde edilmiştir. Kaplanmamış ve kaplanmış agregalar kullanılarak üretilen hafif beton numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda uygulanan eğilme dayanımları incelenerek, numunelerin eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış kontrol numunesine göre 0.55-KA'da %33, 0.50-KA'da %8, 0.35-KA'da %31 ve 0.25-KA'da ise %13 oranında eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

4.11. ELASTİSİTE MODÜLÜ TAYİNİ VE POİSSON ORANI

150x300 mm ebatlarında hazırlanan silindir numunelerin 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda elastisite modülleri ve poisson oranları değerleri hesaplanmış çıkan sonuçlar Çizelge 4.11. ve Çizelge 4.12.'de grafik gösterimi Şekil 4.13'de verilmiştir.

Çizelge 4. 11. Elastisite modülü değerleri.

Numuneler	Elastisite Modülü (MPa)	
	7 gün	28 gün
Kontrol	13645	20068
0.55-KA	13547	17700
0.50-KA	38814	40336
0.35-KA	30106	34880
0.25-KA	37704	39531



Şekil 4. 13. Elastisite modülü değerleri grafiği.

Çizelge 4. 12. Poisson oranları.

Numuneler	Poisson Oranı
	28 gün
Kontrol	0.16
0.55-KA	0.17
0.50-KA	0.20
0.35-KA	0.17
0.25-KA	0.25

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamızda; 550 dozlu süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalardan hafif betonlar üretilmiştir. Hafif betonlar ve agregalar üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Agrega deneyleri;

Kayseri Talas yöresine ait 0-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm çaplı pomza agregaları kullanılmıştır. Farklı oranlarda çimento hamuru ile kaplanan 4-8 mm ve 8-16 mm çaplı pomza agregaların bir kısmında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmış bir kısmında ise katkı kullanılmamıştır.

4-8 mm ve 8-16 mm çaplı kaplanmamış ve kaplanmış pomza agregaların 1440. dakika sonunda su emme oranlarına bakılmıştır. 4-8 mm'lik kaplanmış pomza agregalarındaki su emme miktarı kaplanmamış pomza agregalarına göre %63 oranında, 8-16 mm'lik kaplanmış pomza agregalarındaki su emme miktarı kaplanmamış pomza agregalarına göre %78 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

0-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm'lik kaplanmamış ve kaplanmış pomza agregaların özgül ağırlıkları $0.82-1.53 \text{ g/cm}^3$ arasında değiştiği görülmüştür. Yapılan çalışmada $0.82-1.53 \text{ g/cm}^3$ arasında tespit edilen kaplanmış pomza agregaların özgül ağırlık değerleri, literatürde 2.1 g/cm^3 olarak belirtilen minimum hafif agreg ağırlık değerlerinin altında kaldığı gözlemlenmiştir.

Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçlarına bakıldığında çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregaların birim ağırlıkları $501-582 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu tespit edilmiş ve literatür incelenmesinde de hafif agreg ağırlık değerlerinin $480-880 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu görülmüştür.

Agrega darbe katsayısı (Impact value) ufalanma yüzdesinin tespiti için yapılan çalışmada kaplanmış pomza agregalarının kaplanmamış pomza agregalarına göre %20 civarında daha az ufalandığı görülmüştür. Ufalanma yüzdesinin azalması basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Kaplanmış pomza agregaların kaplama kalınlıklarına taramalı elektron mikroskobu ile bakılmış kaplama kalınlıklarının 0.45 mm ile 1.5 mm arasında olduğu görülmüştür.

Taze beton deneyleri;

Üretilen taze betonların birim ağırlıkları 1481 kg/m^3 ile 1536 kg/m^3 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Taze betonun birim ağırlıkları, çimento miktarı ile doğru orantılı olarak artmıştır.

Taze betonun kıvamının tespiti amacıyla çökme hunisi kullanılarak deney yapılmış çökme değeri 50 – 75 mm arasında değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Çökme sınıfı TS EN 206-1'e göre S2 (40 -90 mm) olarak belirlenmiştir.

Sertleşmiş beton deneyleri;

Kaplanmamış ve kaplanmış ve pomza agregalar ile elde edilen hafif beton numunelerinden en yüksek basınç dayanım değeri kaplanmış 0.35-KA numunelerinden elde edilmiş olup en düşük basınç dayanımı değeri ise kaplanmamış pomza agregalarından elde edilmiştir. Kaplanmış pomza agregaların basınç dayanımları incelendiğinde agregalara kaplama işlemi yapılırken çimento hamuruna eklenen süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak oluşturulan agregalarla üretilen betonların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

TS EN 206-1 standardı dikkate alınarak 28 günlük kür sonuçlarına göre kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregaları ile edilen hafif betonların dayanım sınıfları incelenmiştir. Buna göre kaplanmamış kontrol numunesi LC 16/18 hafif beton sınıfında, 0.55-KA, 0.50-KA, 0.35-KA ve 0.25-KA numuneleri ise LC 20/22 hafif beton dayanım sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Pomza agregalarına kaplama yapıldıktan sonra su emme oranlarında, darbe dayanımlarında ve özgül ağırlıklarında önemli ölçüde iyileşmelerin meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle kaplanmış pomza agregalar kullanılarak taşıyıcı hafif beton imal edilebileceğini kanaatine varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- [1] M. A. Taşdemir, “Betonun dayanım ve durabiliteye göre tasarımı ve üretimi,” *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Sürekli Eğitim Seminerleri*, İstanbul, Türkiye, 2002, ss. 1–7.
- [2] T. Y. Erdoğan, *Beton*, 5. baskı, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 2015, böl. 1, ss. 1-10.
- [3] M. Öztürk, “Pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2012.
- [4] B. Baradan, *Beton*, 2. baskı, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2015, böl. 7, ss. 233-237.
- [5] T. J. Van Dam ve R.D. Hooton, “Guide to durable concrete,” *American Concrete Institute*, c. 39, sayı. 2, ss. 1-17, 2016.
- [6] B. Baradan, S. Aydın, “Betonun durabilitesi dayanıklılık, kalıcılık,” *Hazır Beton Birliği Yayınları*, c. 1, sayı. 120, ss. 54-68, 2013.
- [7] T. Y. Erdoğan, *Beton*, 2. baskı, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 2003, böl. 8, ss. 213-252.
- [8] N. Mahsanlar, “Yüksek sıcaklık etkisinde beton davranışı,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [9] S. İpek, “Improving the ductility properties of lightweight concretes by steel fiber addition,” Üneristy Of Gaziantep Graduate Scholl Of Natural & Applied Sciences M.Sc. Thesis In Civil Engineering Gaziantep, Türkiye, 2013.
- [10] H. Konuk, “Hafif agregalı betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniveristesi, İstanbul, Türkiye, 2003.
- [11] N. Şapçı, “Aksaray bölgesi volkanik hafif agrega oluşumlarının incelenmesi ve endüstriyel kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.
- [12] H. Yılmaz, “Çimento türü ve pomza agregasının beton karakteristiklerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.

- [13] *Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 206-1, 2002.
- [14] B. Demirel, “Akıllı hafif betonun gerilme ve sıcaklık davranışlarının incelenmesi,” Doktora tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2006.
- [15] T. Özturan, “Özel betonlar,” *Hazır Beton Birliği Dergisi*, c. 2, sayı. 118, ss. 70–83, 2013.
- [16] S. Türk ve Y. Engin, *Çimento Geçmişten Geleceğe İnovatif Yapı Malzemesi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Türkçimento Yayınları, 2021, böl. 1, ss. 5-18.
- [17] B. Kökipek, “Suni alçının çimento üretiminde kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2010.
- [18] *Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikleri ve uygunluk kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 197-1, 2012.
- [19] A. P. Mardele, C. Lanos, G. Samson, ve C. Baux, “Mechanical performances of super sulfated cements,” *Trans Tech Publications*, c. 617, sayı. 32, ss. 32-35, 2014.
- [20] Z. Doğan, *Çimento deneyleri, Ders Notları*, Zonguldak, 2018.
- [21] M. Sucu ve T. Delibaş, “Kalsiyum alüminat çimentosu bazlı tamir betonları,” *Hazır Beton Birliği Yayınları*, c. 1, sayı. 131, ss. 88–94, 2015.
- [22] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, “Alüminli çimentolar,” *Kimya Teknolojisi Çimento Analizleri*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 2012, böl. 1, ss. 9-10.
- [23] H. Öztürk, “Kalsiyum alüminatlı çimentonun ısı dayanımı ve monolitik refrakter olarak kullanılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2008.
- [24] J. H. Fishwick, “Calcium Aluminate Cement Concrete,” *The Aberdeen Group Publications*, c. 1, sayı. 1, ss. 437–441, 1982.
- [25] Dsi Teknik Bülteni, “Borlu aktif belit çimentosu ve dsi projelerinde uygulanabilirliği,” *Dsi Teknik Bülteni*, c. 1, sayı. 105, ss. 3-22, 2009.
- [26] B. Demirel, “Bor mineralleri ve atıklarının çimentoda kullanılma stratejileri,” *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 29, sayı. 1, ss. 95–100, 2017.
- [27] E. Sancak, “Borlu aktif belit çimentosu ile üretilen harçlarda kısa süreli donatı korozyonu davranışının araştırılması,” *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri*

Dergisi, c. 19, sayı. 1, ss. 89–98, 2015.

- [28] F. Kocakaya, “Karo fabrikası atığının çimento üretiminde kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
- [29] *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü, TS 706 EN 12620+A1, 2009.
- [30] H. Danış, “Diyarbakır ve çevresinde agrega olarak kullanılan kayaçların özellikleri,” Yüksek lisans tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2019.
- [31] *Ballast specification*, Australian RIC Standard, TS 3402/ARTC Standard ETA-04-01, 2019.
- [32] S. Aydeniz, “Agrega dane boyutunun beton dayanımına etkisi ve su emmesine etkilerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2012.
- [33] C. Yolcu ve Z. C. Girgin, “Dünyada yapay hafif agregalı yapısal beton uygulamaları ve doğal pomza agreganın kullanılabilirliği,” *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, c. 1, sayı. 2, ss. 59-67, 2017.
- [34] M.Yalçın, Yapı malzemesi, *Ders Notları*, Eskişehir, 2021.
- [35] F. Colangelo ve R. Cioffi, “Use of cement kiln dust, blast furnace slag and marble sludge in the manufacture of sustainable artificial aggregates by means of cold bonding pelletization,” *Mdpi Journals*, c. 6, sayı. 8, ss. 3139–3159, 2013.
- [36] M. Gharieb, Y. A. Mosleh, M. Alwetaishi, E. E. Hussein, ve M. E. Sultan, “Effect of using heavy aggregates on the high performance concrete used in nuclear facilities,” *Construction and Building Materials*, c. 310, sayı. 1, ss. 125–140, 2021.
- [37] E. B. Tuncay, “Isparta yöresinde yeralan kaya birimlerinden elde edilen agregaların beton performansına etkisi,” Yüksek lisans tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2015.
- [38] T. Uygunoğlu, “Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.
- [39] H. Ceylan, “Farklı pomza agrega türlerinden elde edilen hafif betonun sıcaklık etkisindeki karakteristiği,” Doktora tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2005.
- [40] Ş. G. Özkan ve G. Tuncer, “Pomza madenciliğine genel bir bakış,” *Pamukkale*

Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 7, sayı. 2, ss. 269-276, 2000.

- [41] Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III Pomza-Perlit-Vermikülit Flogopit Genleşen Killer Çalışma Grubu Raporu,” Türkiye, Rap. DPT: 2617, 2001.
- [42] N. Elmastaş, “Türkiye ekonomisi için önemi giderek artan bir maden: Pomza sünger taşı,” *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 5, sayı. 23, ss. 197–206, 2012.
- [43] İ. Dinçer, A. Orhan ve S. Çoban, “Pomza araştırma ve uygulama merkezi fizibilite raporu,” Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Türkiye, Rap. 1, 2015.
- [44] B. Varol, “Pomza sektör raporu,” Ahiler Kalkınma Ajansı Nevşehir Yatırım Destek Ofisi, Türkiye, Rap.1, 2017.
- [45] O. Varol, “Bitlis ve Van illerinde pomza madenciliğine genel bir bakış,” *Bilimsel Madencilik Dergisi*, c. 55, sayı. 3, ss. 27–34, 2016.
- [46] H. S. Wilson ve V. M. Malhotra, “Development of high strength lightweight concrete for structural applications,” *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, c. 10, sayı. 2, ss. 79–90, 1988.
- [47] H. Yıldırım, “Agrega konsantrasyonunun betonun mekanik özelliklerine etkisi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.
- [48] J. A. Rossignolo ve M. V. C. Agnesini, “Mechanical properties of polymer-modified lightweight aggregate concrete,” *Cement and Concrete Research*, c. 32, sayı. 3, ss. 329–334, 2002.
- [49] Ö. Sallı Bideci, “Bor kaplı hafif agregalı betonların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması,” Doktora tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2013.
- [50] F. Şanlıtürk, “Kaplama ve kaplamasız perlit agregasıyla üretilen harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2019.
- [51] A. Coşkun, H. Tanyıldızı, “Effect of different curing conditions on ultrasonic pulse velocity and compressive strength of lightweight concrete,” *Dumlupınar*

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, c. 1, sayı.14, ss. 119–128, 2007.

- [52] S. Türkel, B. Kadiroğlu, “Pomza agregalı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, sayı. 3, ss. 353–359, 2007.
- [53] M. Öztürk, “Polimerle modifiye edilmiş hafif betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2013.
- [54] B. Chen ve J. Liu, “Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability,” *Cement and Concrete Research*, c. 35, sayı. 5, ss. 913–917, 2005.
- [55] A. Bideci, “Polimer kaplı pomza agregalarla elde edilen betonların özelliklerinin araştırılması,” Doktora tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2011.
- [56] J. Gao, W. Sun, ve K. Morino, “Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete,” *Cement and Concrete Composites*, c. 19, sayı. 4, ss. 307–313, 1997.
- [57] İ. Ulusu, “Ham perlit agregası kullanılarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilirliğinin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2007.
- [58] A. Tolğay, E. Yaşar, ve Y. Erdoğan, “Nevşehir pomzasının agrega olarak betonda kullanılabilirliğinin araştırılması,” *5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2004, ss. 345–354.
- [59] H. Ceylan ve M. S. Saraç, “Farklı pomza agrega türlerinden elde edilen hafif betonun sıcaklık etkisindeki bazı özellikleri üzerine bir araştırma,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, sayı. 10, ss. 413–421, 2006.
- [60] 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, sayı. 3, ss. 1186–1195, 2011.
- [61] K. G. Babu ve D. S. Babu, “Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume,” *Cement and Concrete Research*, c. 33, sayı. 5, ss. 755–762, 2003.
- [62] A. Beycioğlu, C. Başyigit ve Ş. Kılınçarslan, “Pomza agregalı hafif beton

- özelliklerine silis dumanının etkisi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 2, sayı. 14, ss. 200–205, 2010.
- [63] M. Kale, “Pomza agregası kullanılarak üretilen hafif beton özelliklerinin uçucu kül ikamesi ile iyileştirilmesi üzerine deneysel bir araştırma,” Yüksek lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye, 2020.
- [64] H. S. Gökçe, Ö. Can, “Pomza agregasının farklı zamanlardaki su emmelerinin hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi,” *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic*, c. 12, sayı. 4, ss. 293–298, 2009.
- [65] O. Geçten ve R. Gül, “Pomza ve normal agregalı betonların kılcal geçirirliğı ve basınç dayanımları üzerine kürün etkileri,” *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, sayı. 2, ss. 29–36, 2013.
- [66] G. Serin, “Pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 1999.
- [67] R. Polat, “Genleştirilmiş perlit ve pomza ile hava sürükleyici katkının betonda kılcal geçirirlilik ve don hasarına etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2007.
- [68] H. Fazlı, D. Yan, Y. Zhang, ve Q. Zeng, “Effect of size of coarse aggregate on mechanical properties of metakaolin-based geopolymer concrete and ordinary concrete,” *Materials*, c. 14, sayı. 12, ss. 1–19, 2021.
- [69] M. Bakırhan, “Pomza ve perlit kullanılarak üretilen kompozit hafif beton tasarımı ve özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye, 2019.
- [70] K. M. A Hossain, “Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete,” *Cement and Concrete Research*, c. 34, sayı. 2, ss. 283–291, 2004.
- [71] A. Wongsas, V. Sata, P. Nuaklong, ve P. Chindaprasirt, “Use of crushed clay brick and pumice aggregates in lightweight geopolymer concrete,” *Construction and Building Materials*, c. 188, ss. 1025–1034, 2018.
- [72] S. Top ve H. Vapur, “Effect of basaltic pumice aggregate addition on the material properties of fly ash based lightweight geopolymer concrete,” *Journal of Molecular Structure*, c. 1163, sayı. 1, ss. 10–17, 2018.
- [73] E. G. Badogiannis, I. Christidis, ve G. E. Tzanetatos, “Evaluation of the

- mechanical behavior of pumice lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers,” *Construction and Building Materials*, c. 196, sayı. 1, ss. 443–456, 2019.
- [74] N. A. Libre, M. Shekarchi, M. Mahoutian, ve P. Soroushian, “Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice,” *Construction and Building Materials*, c. 25, sayı. 5, ss. 2458–2464, 2011.
- [75] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2021, 01 Eylül). *Kayseri İli Maden ve Enerji Kaynakları* [Online]. Erişim: https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/kayseri_madenler.pdf
- [76] *Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1008, 2003.
- [77] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-6, 2002.
- [78] *Testing aggregates method for determination of aggregate impact value*, British Standard, BS 812-112, 1990.
- [79] *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-3, 1999.
- [80] *Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, TS 2511, 2017.
- [81] *Beton –Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12350-2, 2010.
- [82] *Beton – Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 206-1, 2002.
- [83] *Beton –Taze beton deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12350-6, 2010.
- [84] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-7, 2010.
- [85] *Beton–Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-3, 2010.
- [86] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada*

çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-7, 2010.

- [87] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-5, 2010.
- [88] Bims Sanayiciler Derneği, “Bims pomza alt sektör raporu,” Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi, Türkiye, Rap. 1, 2006.
- [89] İ. Şanal, “Beton basınç dayanım testlerinde küçük ebatlı küp beton numunelerin yaygın kullanımı için şekil boyut etkisinin detaylı incelenmesi,” *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 20, sayı. 59, ss. 201–211, 2018.



7. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Turgay GÖNCÜOĞLU
Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kompozit Malzeme Teknolojisi	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İnönü Üniversitesi	2018
Lisans	Güvenlik Bilimleri	Atatürk Üniversitesi	2014
Lisans	Yapı Ressamlığı Öğretmenliği	Fırat Üniversitesi	2003
Lise	İmam Hatip	Elazığ İmam Hatip Lisesi	1997

YAYINLAR

T. Göncüoğlu, A. T. Özgüler, M. Emiroğlu ve Ö. S. Bideci “ Yapısal beton için pomza potansiyeli kaplama etkisi,” *International Pumice and Perlite Symposium*, Bitlis, Türkiye, 2021, ss. 31–37.

T. Göncüoğlu, A. T. Özgüler, M. Emiroğlu, Ö. S. Bideci ve T. Tatar, “ Farklı karışım oranlarına sahip çimento hamuru ile kaplanmış pomza agregalarının su emme ve darbe dirençlerinin belirlenmesi,” *International Pumice and Perlite Symposium*, Bitlis, Türkiye, 2021, ss. 16.