



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLYESTER KAPLI POMZA AGREGALARLA ELDE EDİLEN
HAFİF BETONLARIN ÖZELLİKLERİ**

İZZET ÇELİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ALPER BİDECI**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLYESTER KAPLI POMZA AGREGALARLA ELDE EDİLEN
HAFİF BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

İzzet ÇELİK tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Alper BİDECİ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Alper BİDECİ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ

Gazi Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bekir ÇOMAK

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 31/07/2019

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.

31 Temmuz 2019

İzzet ÇELİK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması sırasında yanımda bulunan, çalışmalarımı destekleyerek beni motive eden,engin bilgileriyle bana ışık olan çok kıymetli ve çok değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Alper BİDECİ'ye tüm samimiyetimle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarında ve diğer tüm çalışmalarda benden desteğini hiç esirgemeyen Doç. Dr. Özlem SALLI BİDECİ, Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi. Bekir ÇOMAK hocalarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca büyük sabır, ilgi ve hoşgörüsüyle daima yanımda olan, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince manevi destekleri ile beni motive eden, bu sürece katkıda bulunan çok kıymetli dostlarım Mustafa GÜRLÜK'e, Eren KURĞA'ya ve Tarkan VERGÜL'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Yapmış olduğum laboratuvar çalışmalarında tüm olanakları sağlayan Düzce Üniversitesi laboratuvar sorumlusu Bülent ÖZSARIKAMIŞ'a ve çalışanlarına, çalışmalarımın bir bölümünde laboratuvarlarını kullanmama izin veren İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan YILDIRIM ve Sayın Oktay YALÇINKAYA' ya ve malzeme temininde yardımcı olan Hakan YILMAZ'a teşekkür ederim.

31 Temmuz 2019

İzzet ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR.....	IX
SİMGELER.....	X
ÖZET	XI
ABSTRACT.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. POMZA.....	4
1.1.1. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	5
1.1.2. Pomza Taşının Oluşması.....	7
1.1.3. Pomzanın Kullanım Alanları	9
1.1.4. Dünya ve Türkiye’deki Pomza Rezervleri.....	11
1.2. HAFİF BETON.....	14
1.3. POLİMERLER VE POLİMERLERİN BETONDA KULLANIMI.....	15
1.4. LİTERATÜR ÖZETİ.....	18
2. MATERYAL VE METOT	24
2.1. MATERYAL.....	24
2.1.1. Agregalar	24
2.1.1.1. Doğal Kum.....	24
2.1.1.2. Pomza Agregalar.....	24
2.1.2. Çimento.....	26
2.1.3. Su 28	
2.1.4. Mermer Tozu	28
2.1.5. Polyester.....	29
2.1.6. Polyester Kaplı Pomza Agregaları.....	30
2.2. METOT.....	33
2.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi	34
2.2.2. Agrega Deneyleri	35
2.2.2.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı	35
2.2.2.2. Özgül Ağırlık.....	35
2.2.2.3. Gevşek Birim Ağırlık	36
2.2.2.4. Su Emme Oranı	37
2.2.3. Taze Beton Deneyleri.....	38
2.2.3.1. Çökme (Slump) Deneyi	38
2.2.3.2. Birim Ağırlık Deneyi	39
2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	40

2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık	40
2.2.4.2. Su Emme Deneyi	41
2.2.4.3. Basınç Dayanımı	42
2.2.4.4. Yarmada Çekme Dayanımı	43
2.2.4.5. Ultrases Geçiş Hızı.....	45
2.2.4.6. Hızlandırılmış Sülfat Deneyi.....	46
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
3.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI.....	48
3.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı	48
3.1.2. Özgül Ağırlık	49
3.1.3. Gevşek Birim Ağırlık.....	49
3.1.4. Su Emme Oranı	50
3.2. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI.....	51
3.2.1. Çökme (Slump) Deneyi.....	51
3.2.2. Birim Ağırlık Deneyi	52
3.3. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ	52
3.3.1. Kuru Birim Ağırlık.....	52
3.3.2. Su Emme Deneyi.....	53
3.3.3. Basınç Dayanımı.....	55
3.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı.....	57
3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı.....	59
3.3.6. Hızlandırılmış Sülfat Deneyi	61
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
5. KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Deney akış şeması.....	3
Şekil 1.2. Bazik pomza örneği [12].....	6
Şekil 1.3. Asidik pomza örneği [13].....	7
Şekil 1.4. Polimer moleküler yapısı [29].	16
Şekil 2.1. Nevşehir iline ait pomza ocakları ve maden haritasının dağılımı [18].	25
Şekil 2.2. Nevşehir bölgesi pomza seviyelerinin genel kesit görünümü [18].....	26
Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan mermer tozu.	29
Şekil 2.4. Kaplama işleminde kullanılan kap.	30
Şekil 2.5. Alttan hazneli boya tabancalı sistem.	30
Şekil 2.6. Agregata kaplama aşamalarına ait resimler (a-h).....	31
Şekil 2.7. Yapılan deneyler.	33
Şekil 2.8. Agregaların gevşek birim ağırlık tayini.	36
Şekil 2.9. Agregaların etüvde bekletilmesi.	37
Şekil 2.10. Agregaların etüv kurusu hali.	38
Şekil 2.11. Agregaların doymuş kuru yüzey hale getirilmesi.	38
Şekil 2.12. Çökme hunisi [44].	39
Şekil 2.13. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi.	40
Şekil 2.14. Numunelerin etüve bırakılması.	41
Şekil 2.15. Etüv kurusu numunelerin boyutların belirlenmesi.	41
Şekil 2.16. Basınç dayanımı test cihazı.	42
Şekil 2.17. TS EN 12390-3 standardına göre küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri [48].	43
Şekil 2.18. Deneyde elde edilen kırılma örneği.	43
Şekil 2.19. Yarmada çekme deneylerinin yapılması.	44
Şekil 2.20. Yarmada çekme dayanımı deyininde kırılan numunelere ait görüntüler.	44
Şekil 2.21. Ultrases geçiş hızı deneyi.	46
Şekil 2.22. Numunelerin çözelti içine bırakılması.	47
Şekil 2.23. Sülfat deneyinden sonra numunelerin etüve bırakılması.	47
Şekil 3.1. Karışım granülometri eğrisi.	48
Şekil 3.2. Beton numunelerin su emme grafiği (%).	54
Şekil 3.3. Beton numunelerin basınç dayanımları grafiği (MPa).	55
Şekil 3.4. Yarmada çekme dayanım değerlerinde değişim (MPa).	58
Şekil 3.5. Beton numunelerin ultrases geçiş hızları (km/s).	60
Şekil 3.6. 20. Çevrim sonrası $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 içerisindeki basınç dayanımı.	62
Şekil 3.7. Numunelerin sülfat deney öncesi ve sonrası görünümü.	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri [11].	5
Çizelge 1.2. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri [11].	5
Çizelge 1.3. Pomzanın sektörlere göre yüzdelik dağılımı [18].	9
Çizelge 1.4. Dünya Pomza Rezervleri [1].	11
Çizelge 1.5. Dünya pomza üretimi (Bin ton) [1].	12
Çizelge 1.6. Türkiye pomza rezerv dağılımı [10].	13
Çizelge 2.1. Doğal kumun fiziksel özellikleri.	24
Çizelge 2.2. Pomza agregasının kimyasal analizi (%) [35].	26
Çizelge 2.3. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal analizi (%) [36].	27
Çizelge 2.4. CEM-I 42.5 R fiziksel ve mekanik özellikleri [36].	27
Çizelge 2.5. Mermer tozunun kimyasal analizi (%) [36].	29
Çizelge 2.6. Kullanılan polysterin teknik özellikleri [37].	30
Çizelge 2.7. Beton numunelerine verilen kodlamalar.	34
Çizelge 2.8. Beton karışım oranları.	34
Çizelge 2.9. Taze beton çökme sınıfları [43].	39
Çizelge 3.1. Özgül ağırlık değerleri (g/cm^3).	49
Çizelge 3.2. Gevşek birim ağırlık (kg/m^3).	50
Çizelge 3.3. Agrega su emme oranı (%).	50
Çizelge 3.4. Beton numunelerin çökme sonuçları.	51
Çizelge 3.5. Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları.	52
Çizelge 3.6. Numunelerin kuru birim ağırlık sonuçları.	53
Çizelge 3.7. Beton numunelerin su emme deney sonuçları.	54
Çizelge 3.8. Beton numunelerin basınç dayanım sonuçları.	55
Çizelge 3.9. Beton numunelerin yarmada çekme dayanım sonuçları.	57
Çizelge 3.10. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızları (km/s).	59
Çizelge 3.11. MgSO_4 çözeltisindeki numunelerin kütle kaybı (%).	61
Çizelge 3.12. Na_2SO_4 çözeltisindeki numunelerin kütle kaybı (%).	62

KISALTMALAR

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	American Society for Testing and Materials
DTP	Devlet Planlama Teşkilatı
EPS	Ekspande polistiren
MgSO ₄	Magnezyum sülfat
MPa	Megapascal
M.Ö.	Milattan önce
Na ₂ SO ₄	Sodyum sülfat
NCP-400	Kaplanmamış agregalar ile üretilen 400 dozlu beton
NCP-500	Kaplanmamış agregalar ile üretilen 500 dozlu beton
PCP-400	Polyester kaplı agregalar ile üretilen 400 dozlu beton
PCP-500	Polyester kaplı agregalar ile üretilen 500 dozlu beton
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UV	Ultraviyole ışınları

SİMGELER

A	Su dolu kap ağırlığı, g
A _c	Numune en kesit alanı, mm ²
A ₁	Agrega ve su dolu kap ağırlığı, g
B	Taze betonun birim ağırlığı, kg/cm ³
B _g	Gevşek birim ağırlık, kg/m ³
B _s	İngiliz Standardı
⁰ C	Derece
D	Taze beton yoğunluğu, kg/m ³
Eş	Eşitlik
F	Kırılma anındaki maksimum yük, N
F _c	Basınç dayanımı, MPa
F _{ct}	Yarmada çekme dayanımı, MPa
L	Numune uzunluğu, mm
Sk	Sertleşmiş betonun kuru birim ağırlığı, kg/cm ²
Sn	Saniye
t	Zaman
V	Ultrasonik ses geçiş hızı, km/sn
δ	Özgöl ağırlık, g/cm ³
W	Pomza agregaların su emme yüzdesi

ÖZET

POLYESTER KAPLI POMZA AGREGALARLA ELDE EDİLEN HAFİF BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

İzzet ÇELİK

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alper BİDECI

Temmuz 2019, 70 sayfa

Bu çalışmada, pomza agregasını polyester ile kaplanarak, bu agregalar üzerinde granülometri, özgül ağırlık, gevşek birim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, polyester kaplanmamış pomza agregası ve kaplanmış pomza agregalarıyla 400 ve 500 dozlu hafif beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen hafif beton numuneler üzerinde birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, ultrases geçiş hızı ve hızlandırılmış sülfat deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, 2, 7 ve 28 günlük NCP ve PCP beton numunelerinin 400 dozlu tüm serilerinde beton basınç dayanımlarının arttığı, 500 dozlu numunelerde ise 2 ve 7 günlük numunelerde artış olurken 28 günlük numunelerde ise basınç dayanımlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Su emme değerinin NCP numunelere oranla PCP numunelerin tüm serilerinde azaldığı, yarmada çekme dayanımlarının NCP serilerine oranla PCP serilerinde arttığı ve ultrases geçiş hızlarına göre tüm beton numunelerin “iyi” beton sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Hızlandırılmış sülfat (Na_2SO_4 ve MgSO_4) deneyinde PCP numunelerin NCP numunelerine göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonucunda; pomza agregasına polyester kaplanarak, su emmeleri azaltılmış, yeni bir agrega ve yüksek taşıyıcı özel hafif beton üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar sözcükler: Pomza, Polimer, Basınç dayanımı, Ultrases, Hızlandırılmış sülfat tayini.

ABSTRACT

PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE OBTAINED BY POLYESTER COATED PUMICE AGGREGATES

İzzet ÇELİK

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering.

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Alper BİDECI

July 2019, 70 pages

In this study, pumice aggregate is coated with polyester, granulometry on these aggregates, specific gravity, loose unit weight and water absorption tests were performed on the coated aggregates. In addition, 400 and 500 doses of lightweight concrete samples were produced with polyester uncoated pumice aggregate and coated pumice aggregates. Unit weight, compressive strength, tensile strength at splitting, water absorption, ultrasonic pulse velocity and accelerated sulfate tests were performed on the light concrete samples produced. In this study, concrete compressive strengths increased in all 400-dose series of NCP and PCP concrete samples for 2, 7 and 28 days, In 500-dose samples, an increase was observed in 2 and 7-day samples, while a decrease in compressive strength was observed in 28-day samples. It was found that Water absorption value decreased in all batches of PCP samples compared to NCP samples, splitting tensile strength increased in PCP series compared to NCP series and all concrete samples were classified as “good” concrete according to ultrasonic pulse velocity. In the accelerated sulfate (Na_2SO_4 and MgSO_4) test showed that PCP samples performed better than NCP samples. As a result of the study; It was concluded that pumice aggregate was polyester coated and water absorption was reduced and a new aggregate and high carrier special light concrete could be produced.

Keywords: Pumice, Polymer, Compressive strength, Ultrasound, Accelerated sulfate determination.

1. GİRİŞ

Pomza İtalyanca kökenli bir kelimedir. Farklı dillerde değişik şekillerde adlandırılmaktadır. Türkçe'de ise süngertaşı, bims, nasırtası, topuktaşı, hasırtası ve kısır gibi isimlerle anılmaktadır [1].

Pomza; boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmekte olup, fiziksel ve kimyasal etkilere dayanıklı, camsı volkanik kökenli bir kayaç türüdür. Pomza oluşumu esnasında içerisindeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması sebebiyle çok sayıda gözenek oluşmaktadır. Genellikle gözenekleri arasındaki boşluklar bağlantısız olduğundan ısı ve ses iletimi oldukça düşüktür. Pomza dünya endüstrisinde yeni olmamasına rağmen ülkemiz endüstrisine son yirmi yıl içerisinde girmiş ve endüstriyel hammadde olarak elliden fazla sektörde hammadde ya da katkı malzemesi biçiminde kullanılmaktadır [2].

İnşaat sektöründe pomza; özellikle yanma ve yangına karşı direnç, harcana enerji miktarının azaltılabilmesi ve yalıtım konusunda tercih sebebidir [3].

İnşaat sektöründe taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yapı bileşenlerinde pomzanın kullanıldığı görülmektedir. Düşük birim ağırlık, ısı yalıtım özelliği, yangına karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı tercih konusu olan pomza ve bununla üretilen hafif betonların, çağımızın popüler malzemesi polimerle kaplı agregalarla yapılması özellik arz etmektedir. Polimerin su itme ve esneklik özelliği betona avantaj sağlamaktadır [4].

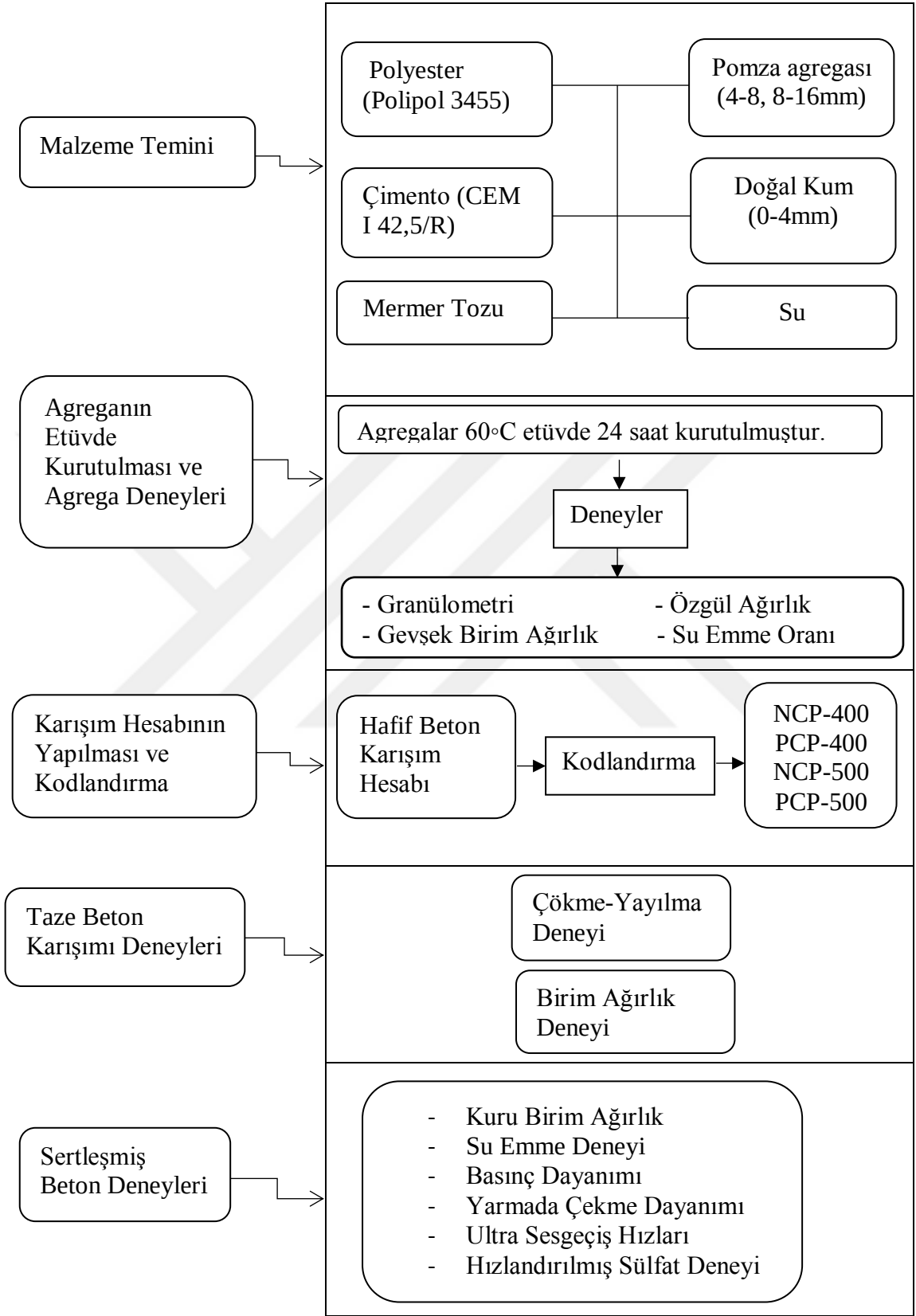
Teknolojinin ilerlemesiyle kullanım yerlerinin amacına göre özel betonlar üretilmektedir. Örneğin; kendiliğinden yerleşen beton, lifli beton, akıcılığı yüksek beton, hafif beton gibi betonlar özel beton olarak ifade edilebilir. Betona farklı özellikler verebilmek, beton karışımına farklı özellikteki yapı malzemelerini ilave etmekle mümkün olacaktır. Ayrıca farklı (mineral ve kimyasal) katkılarla ve farklı tip ve mineralojik kökene sahip hafif agregalar kullanılmasıyla hafif agregalı betonlar üretmek mümkündür [5].

Bu çalışmada, maksimum tane çapı 16 mm olan pomza agregası ve doğal kum ile CEM-I 42,5 R çimentosu (400 ve 500 doz) kullanılarak dört farklı seride beton numunesi üretilmiştir. Bu kapsamda, taze beton numuneleri üzerinde; birim ağırlık ve yayılma deneyleri; sertleşmiş beton numuneleri üzerinde, kuru birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme, ultrases geçiş hızı ve hızlandırılmış sülfat etkisi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmaların sonucunda, su emme değerleri en düşük 500 doz PCP kodlu polyester kaplı beton numunelerden elde edildiği belirlenmiş ve agregaların polimer kaplanmasıyla su emmeleri azaltılarak, yeni bir agrega ve beton türünün üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın deney akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasındaki yenilikler şunlardır:

- Pomza agregasının kaplanarak yeni bir agrega elde edilmesi.
- Literatüre, polyester ile kaplanmış pomza agregasıyla üretilen beton konusunda özgün bir çalışma yapılarak katkıda bulunulması.
- Su emmesi düşük hafif agrega elde edilerek su emmesi düşük yeni bir beton türünün elde edilecektir.



Şekil 1.1. Deney akış şeması.

1.1. POMZA

Literatür çalışmalarına bakıldığında pomza agregasına farklı isimler verildiğini görülmektedir. Örneğin Tükçe’de pomza, ponza, pomza taşı, küvek süngertaşı, köpüktaşı, hışirtaşı, nasıртаşı gibi isimler kullanılmıştır [6].

Pomza, volkanik olaylarla oluşmuş, gözenekli, açık renkli, boşluklu, süngerimsi, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı bir kayaç olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle, Ortalama ergime noktası 1343 °C, hacim değişikliğine 760 °C’nin altında uğramayan, 480 °C - 650 °C arasında yapısal bozulma ve parçalama göstermeyen volkanik cam taşıdır [6].

Literatür incelendiğinde pomza kullanımı eski tarihlere dayandığını görülmektedir. Pomzanın bilinen en eski kullanımı, M.Ö. I. yüzyılda Vitruvio’ya ait mimari özete dayanmaktadır. Vitruvio; pomzayı yüzücü olarak tanımlamaktadır. Eski Romalılar zamanında pomza taşı çoğunlukla tapınakların ve termal banyoların yapımında kullanılmıştır. Bu tür eserler günümüze kadar da ulaşmıştır. Bu döneme ait en belirgin örneklerden biri Roma Pantheonu ve İstanbul’daki Ayasofya Kilisesidir. Ayrıca pomzanın 1800’lü tarihlerde Almanya’da kullanıldığı bilinmektedir. Yapı malzemesi olarak pomza Kaliforniya’da 1851 yılında kullanmaya başlamış ve sonrasında giderek hızla yayılmıştır [7].

Özellikle son yıllarda yapı malzemelerinin kendi ağırlıklarının azaltılmasının öneminin artması ile beraber hafif yapı malzemelerinin önemini artırmaktadır. Bu bağlamda pomza düşük birim hacim ağırlığı, ısı ve ses izolasyonun yüksek, sıva tutmasının kolay akustik özelliğinin mükemmel deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik olması gibi özelliklerinden dolayı yapı ve inşaat sektöründe çok geniş bir kullanım alanı vardır. Pomza, tarım, kimya, tekstil, endüstri alanlarında da çok farklı amaçlarla kullanılmaktadır [8].

Birim hacim ağırlığı genellikle 1 g/cm³’den küçüktür. İçerisindeki gözenekler genellikle birbiriyle bağlantılı olmayıp sayısız miktarda olup mikroskobik boyutlarda görülebilecek şekilde camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu özelliğinden dolayı hafif, suda yüzebilen ve yalıtımı yüksek bir malzemedir [9].

1.1.1. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Pomzanın kimyasal yapısına bakıldığında silis içeriğinin %75'e yakın olduğu görülmektedir. SiO_2 oranı pomzaya abrasiftik özelliği vermektedir. Al_2O_3 bileşimi ise ısıya ve sıcaklığa yüksek dayanım özelliğini verdiğini ifade etmektedir. Pomza kimyasal yapısı olarak kimyasal bileşimi; $\text{SiO}_2 = \%60-75$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = \%13-17$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \%1-3$, $\text{CaO} = \%1-2$, $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O} = \%7-8$ ve eser miktarda olmak üzere TiO_2 ve SO_3 'den oluşmaktadır. Na_2O ve K_2O tekstil sanayiinde reaksiyon özellikleri veren mineraller olarak bilinmektedir [10].

Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri Çizelge 1.1'de ve kimyasal özellikleri Çizelge 1.2'de verilmiştir [11].

Çizelge 1.1. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri [11].

Fiziksel Özellikleri	Analiz Değerleri	Fiziksel Özellikleri	Analiz Değerleri
Renk	Açık griden, kirli beyaza	Porozite (%)	45-90
Kristal Şekli	Amorf	Rötre (mm/m)	<1
Kristal Suyu	Yok	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.08-0.2
Sertlik (MOHS)	5.5-6.0	Isınma Isısı (cal/g.°C)	0.24-0.28
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	0.37-0.97	Ses Yalıtım (dB)	40-55
Gerçek Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	2.15-2.65	Su Emme (ağırlıkça) %	30-70

Çizelge 1.2. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri [11].

Kimyasal Özellikler	Analiz Değerleri
Ph	7-7.3
Radyoaktivite	Yok
Suda Çözünen Madde Miktarı (ağırlıkça) %	≤ 0.15
Asitte Çözünen Madde Miktarı (ağırlıkça) %	≤ 2.9
Uçucu Madde (ağırlıkça) %	Yok
Asitlerle Etkileşim*	İnert
Alevlenme Derecesi (°C)	Yok
Ergime Derecesi (°C)	>900

Çizelge 1.2. (devam). Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Analiz Değerleri
$K_2O.Na_2O$	30-9
SO_3	<1
MgO	05-3
SiO_2	5-75
Al_2O_3	11-17
Fe_2O_3	0.5-5
CaO	1-8
Kızdırma Kaybı	1-3

Doğada bazik pomza ve asidik pomza olmak üzere iki tür pomza oluşumu gözlemlenmektedir. Kahverengi veya siyah renkte olan bazik pomza asidik pomzaya göre daha ağır, Sertliği 5 - 6, yoğunluğu ise 1 - 2 gr/cm³tür (Şekil 1.2). Beyaz ve kirli beyaz renkte olan asidik pomzanın sertliği 5-6 (Mohs sertlik ölçeğine göre) ve yoğunluğu 0.5-1 gr/cm³tür (Şekil 1.3). Asidik ve bazik pomzaların soğuma ve bu soğuma sırasında gazların malzeme bünyesini ani olarak terk etmesi neticesinde gözenekli bir hal almaktadırlar. Açık renkli görünüm sergileyen pomzaların Silisyum, alüminyum, potasyum ve sodyum içerdiği gözlenmektedir [1].



Şekil 1.2. Bazik pomza örneği [12].



Şekil 1.3. Asidik pomza örneği [13].

Pomza agregasının tane iriliği arttıkça, hacim kütle değeri düşmektedir. Diğer taraftan, tane boyutu arttıkça agregadaki gözenek oranı da artmaktadır. Pomza oluşumlarında genellikle görülen bir olgu, pomza taşının gözenek oranı volkan bacasından uzaklaştıkça artar. Pomza taşının gözenek oranının artması ve buna bağlı olarak düşük birim hacim kütle değerine sahip olması, pomza taşının yalıtım amaçlı dökme malzemesi olarak kullanılmasını sağlamıştır [14]. Pomza agregalarda özgül kütle, kuru kütlenin hacmine oranı (gözenek hacmi hariç) olarak değerlendirilen bir fiziksel özellik olup, pomza taşı oluşumlarında özgül ağırlık genellikle 2.1 gr/cm^3 'ün üzerindedir. Agregada hacim kütlesi, pomza agregada kuru kütlenin tüm hacmine oranı olarak nitelendirilen bir büyüklük olup, yatağa ve tane iriliğine göre değişim gösterir [14].

1.1.2. Pomza Taşının Oluşması

Yeryüzünün derinliklerinde, bazaltın erimesi sonucu oluşan magma odacıkları bulunmaktadır. Aşırı basınç etkisiyle magma normal şartlarda sıvı ya da gaz olabilecek tüm maddeleri absorbe eder. (H_2O , CO_2 , F). Bu magma odacıklarındaki basınç yer hareketlerinin etkisiyle zaman içerisinde azalır. Yer hareketleri ortaya çıktığında, volkanik bir patlama oluşur ve bu gazlar magmanın içinden açığa çıkar. Gazların serbest bırakılmasıyla magmanın yapışkanlığı çok hızlı sürede artarak katılaştırma ısısında yükseliş meydana gelir. Bu sebepten dolayı magma köpürür, parçalanır ve pomza taşı oluşur. Pomza taşı kraterden havaya aşırı yüksek derecedeki bir gaz patlamasıyla atılır ve yeryüzüne yayılır. Pomza, hızlıca soğuması nedeniyle kristalize olamamış bir kaya çeşididir. Magma katılaştığında içinde çözülen buhar aniden salınır ve püskürerek gözenekli yapıyı oluşturur. Bu durumlar oluştuğunda tüm lav türleri, pomza taşına

dönüşebilir. Pomza kendi türünde örnek gösterilebilecek obsidyen, pekstayn ve perlit gibi volkanik kayalardan en çok perlit ile kıyaslanır. Pomza taşının boşluklu yapısı, kristal suyu içermemesi ve hiç bir işlem görmeden doğal haliyle kullanılabilmesiyle avantaj kazandırmaktadır [15].

Volkanik olayların meydana gelişlerinde asidik magma bazik magmaya kıyasla akmaya karşı direnci daha yüksek olup fazla miktarda silis ihtiva etmektedir. Bazik olan magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik olan magma ise katı halde bulunmaktadır. Bundan mütevellit volkanik olayların durmasıyla magma akışı da durarak asidik kayaç ve kütleler oluşur. Bu olay neticesinde bir volkanın genel aktivite spesifik özelliği ortaya çıkartmaktadır [1].

Pomza oluşumunda rol oynayan etkenleri; püskürme süresi, ara süreler, magmanın ısısı, magmadaki erimiş gaz miktarı ve püsküren malzemenin soğuma süresi olarak sıralayabiliriz. Ortaya çıkan pomza parçacıkları volkan bacalarından uzaklaştıkça hava sirkülasyonunun da etkisiyle, eski yüzey biçimine uyumlu bir şekilde birikir. Böylece pomza yatakları meydana gelmiş olup, zaman içerisinde akarsular ile taşınarak havzalarda birikir. Bu biçimde meydana gelen yataklar içinde %1-3 oranlarda andezit, traki-andezit, bazalt, obsidyen gibi volkanik kayaç parçacıkları bulunmaktadır. İkincil durumda meydana gelen pomza yataklarında ise yabancı madde parçacıkları daha fazla miktarlarda olabilmektedir. Pomzanın taşınma mekanizmasını, düşme (Buluttan çökme) ile yığılma, fırlatma ile yığılma ve akma ile yığılma olmak üzere üç ana başlıkta incelenebilir [1].

Düşme ile yığılma şeklinde taşınan pomza iyi bir değişim sergilemekte, tane büyüklükleri de dar aralıklarda kalmaktadır. Pomzanın ortaya çıkış katman kalınlıkları aşırı ince olup, santim cinsinden ifade edilebilmektedir. Ayrıca, katman kalınlıkları her bölgede aynı kalınlığı göstermektedir. Fırlatma ile yığılma durumuyla meydana gelen pomzalarda ise, kısmen düzgün ve kısmen birbiri içine geçirilmiş tabakalar ve aradaki bazaltik kayaç bileşimlerinde çarpmanın etkisi ile yapıda parçalanma ve sıkışma meydana gelir. Akma ile yığılma durumuyla meydana gelen pomza yatakları ise genellikle masif strüktür, tabakalarda çok kötü bir ayrışma ve boyut sınıflandırması minimum miktarda bir olgu izlenebilmektedir. Bu oluşumun en belirgin göstergesi ise gang mineralleri alt katmanda yer alırken, pomzanın ise serbest halde üst katmanda yer almasıdır [1].

1.1.3. Pomzanın Kullanım Alanları

Teknolojik özellikleri ve birçok sanayi hammaddesi türüne göre çeşitli üstün özellikleri mevcut olan pomza taşı giderek ilgi odağı haline gelen, çeşitli endüstri kollarında geniş bir kullanım sahası bulabilmektedir. Son zamanlarda hafif yapı malzemelerine verilen değerin giderek artmasına bağlı olarak, hammadde tüketiminde pomza taşı düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses yalıtımı, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, mükemmel akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, çeşitli alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Pomzanın, önemli rezerv potansiyeline sahip bir endüstriyel hammaddesi olmasından dolayı, üzerinde yeterli araştırmalar yapılması ve kullanım alanlarının genişletilmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlayacağı şüphesizdir [16].

Pomza taşı farklı alanlarda kullanım olanağına sahiptir. Pomza taşının en önemli kullanım alanları: İnşaat, Tekstil, Tarım, Kimya alanları ile diğer endüstriyel ve teknolojik alanlardır [17].

Türkiyede’ki ve dünyadaki pomza kullanımının alanlarına göre 2011 yılına ait yüzdelik dağılımının karşılaştırma sonucu Çizelge 1.3’te verilmiştir [18].

Çizelge 1.3. Pomzanın sektörlere göre yüzdelik dağılımı [18].

Kullanım Alanı	Dünya’daki Kullanım Oranı (%)	Türkiye’deki Kullanım Oranı (%)
Hafif yapı elemanı üretiminde	48	80
Hafif beton üretiminde	12	2
Yalıtım malzemesi üretiminde	9	4
Ziraat alanda	12	6
Tekstil alanda	4	3
Kimya alanda	8	1
Diğer alanlar	7	4

Pomzanın İnşaat Alanındaki Kullanımı;

- Hafiflik arz eden yapı elemanları üretiminde
- Prefabrik yapı elemanları üretiminde
- Çatı ve dekoratif kaplama işleminde kullanılan elemanların üretiminde
- Hafif hazır sıva ve harç üretimi
- Hafif beton üretimi
- Çatı ve döşeme yalıtım dolgusu olarak kullanılan elemanların üretiminde kullanılmaktadır [16].

Pomzanın Tekstil Alanındaki Kullanımı;

Genel olarak kot kumaşı taşlama işleminde renklerinin açılması, ağartılması ve kumaşın yumuşatılması işlemlerinde kullanılır [16].

Pomzanın Tarım Alanındaki Kullanımı;

- Toprak iyileştirmesinde kullanımı,
- Az topraklı ortamlarda veya toprak olmayan ortamlarda bitki üretiminde kullanımı,
- Su beslenmesi az tarımsal yeşil alanlarda kullanılmaktadır [16].

Pomzanın Kimya ve Diğer Endüstri Alanlarındaki Kullanımı;

- Çimento üretimi esnasında puzolanik malzeme olarak kullanımı,
- İzolasyon duvar boyası, pürüzlü kaplama, motifli boya, astar macunu ve vernik dolgusu, aşınmayı önleme amaçlı trafik boya ve kaplamalarında kullanımı,
- Plastik sanayi ve kağıt sanayisinde dolgu malzemesi olarak kullanımı,
- Seramik endüstrisinde seramiklerin ısı yalıtım değerlerini arttırmada, pürüzlü seramik ve absorpsiyonlu seramik tanelerinin üretiminde kullanımı,
- Gübre üretiminde topraklanmayı önleyici katkı malzeme olarak kullanımı,
- Asfaltlarda bitüm kusmayı önleyici katkı olarak kullanımı,
- Ağır veya temiz olmayan ortamlarda yağ vb. sıvıları soğurucu malzeme olarak kullanımı,
- Tavuk besleme alanlarında tabanda örtü malzemesi olarak kullanımı,
- Kaymaz tip araç lastik üretiminde kullanımı,
- Süs eşyalarının yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi ve cilasında parlaticı olarak

kullanımı,

- Tarım ilaçlarının toz halde kullanılmasında taşıyıcı eleman olarak kullanımı,
- Su, atık su arıtma ve hava temizleme teknolojisinde katkı elemanı olarak kullanılmaktadır [16].

1.1.4. Dünya ve Türkiye'deki Pomza Rezervleri

Yeryüzünde bilinen pomza rezervleri oldukça fazladır. Pomza rezervlerinin en fazla olduğu yer Endonezya'dır. Çünkü Endonezya volkanik aktiviteler sonucunda oluşan adalar üzerinde bulunmaktadır. Endonezya'dan sonra Guatemala, Dominik, Martinik ve İzlanda gelmektedir. Yeryüzündeki pomza rezervleri ile ilgili net bir bilgi olmamasına karşın, elde edilen tahmini bilgilere göre dünya pomza rezervi Çizelge 1.4'te verilmiştir [1], [19]-[21].

Çizelge 1.4. Dünya Pomza Rezervleri [1].

Kıtalar ve Ülkeler	Miktar (Milyon ton)
Kuzey Amerika:	
A.B.D.	11.500
Diğerleri	500
Toplam	12.000
Orta Amerika:	
Dominik	25
Guatemala	25
Guadelouphe	15
Diğerleri	15
Toplam	80
Güney Amerika:	
Şili	60
Diğer	20
Toplam	80
Avrupa:	
Yunanistan	500
İtalya	2.000
Türkiye	2.836
Toplam	5.336
Okyanusya	500
Dünya Toplamı	17.996

İtalya pomza üretimine önem veren ülkelerin başında yer almaktadır. Örneğin, İtalya 1999 yılı itibariyle pomza üretiminde dünyada birinci sırayı almıştır. Türkiye, Yunanistan, İspanya ve Almanya ise İtalya'dan sonra pomza üretimde söz sahibi olan

lkelerdir. 1994-1999 yılları arasında Dünya ve Türkiye pomza üretimi sırasıyla izelge 1.5'te verilmiştir [1, 21].

Çizelge 1.5. Dünya pomza retimi (Bin ton) [1].

lkeler	1994	1995	1996	1997	1998	1999
A.B.D.	490	529	612	511	583	643
şili	452	466	500	491	912	600
Fransa	490	427	410	477	460	460
Almanya	504	625	600	600	600	600
Yunanistan	1.285	1.548	1.617	1.742	1.750	1.700
İspanya	700	600	600	600	600	600
İtalya	5.200	4.650	4.600	4.600	4.600	4.600
Türkiye	947	845	774	681	579	600
Diğerk lkeler	1.332	1.810	1.687	2.032	1.916	1.797
Dünya Toplamı	11.400	11.500	11.400	11.800	12.000	11.600

Yeryüzünde bilinen toplam pomza miktarı yaklaşık 18 milyar tondur. Pomza rezervlerinin en çok bulunduğu lkeler ABD, Türkiye ve İtalya'dır. Türkiye'de bulunan toplam pomza miktarı yaklaşık 2,8 milyar tondur. Türkiye'deki pomza miktarı, Dünya pomza miktarının %15,8'ini oluşturmaktadır. İtalya ve Türkiye pomza üretiminin en çok yapıldığı ülkelerdendir. İtalya 2000-2007 yılları arasında pomza üretiminde birinci sıradayken, Türkiye 2008-2011 yılları arasında pomza üretimini arttırarak İtalya'yı gerisinde bırakarak birinci sırada yer almıştır. rnek verecek olursak, 2010 yılında Türkiye'nin, Dünya pomza üretimindeki payı İtalya'ya göre %6 daha fazladır. İtalya ve Türkiye'den sonra Yunanistan, İran, Suriye, şili ve Suudi Arabistan gelmektedir [14].

Volkanik aktivitelerin sonucunda gözlemlenen ve boşluklu, süngerimsi bir yapıya sahip olan pomza taşı, yeryüzünde volkanik hareketlerin gerçekleştiği birçok bölgede bulunmaktadır. Dünyada, pomza üretimi açısından Türkiye önemli bir söze sahiptir. Bilhassa, Doğu Anadolu'nun bazı illerinde ve Orta Anadolu'da bol miktarda pomza taşı rezervleri bulunur. Özellikle, Kayseri, Nevşehir, Niğde ve Van'da pomza taşı rezervleri geniş alanlara sahiptir [22].

Pomza yataklarına Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde sık rastlanılma durumuna karşılık, Ege ve Akdeniz bölgelerinde de bulunmakta olup bu bölgelerde üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Yeryüzündeki pomza yatakları açısından kayda değer bir söze sahip olan Türkiye, birim hacim ağırlığı, renk ve doku kalitesi bakımından oldukça çeşitli pomza türlerine sahiptir. Bu nedenle pomza ihracatı bakımından Türkiye dünyada önemli payına sahiptir. Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü'nce ülke bazında yapılan pomza ile ilgili detay jeolojik etüt çalışmalarından elde edilen verilere göre Türkiye'de bilinen pomza yatakları ve bunların rezervleri çizelge 1.6'da verilmiştir [10].

Çizelge 1.6. Türkiye pomza rezerv dağılımı [10].

Yeri	Rezerv Miktarı (m ³)
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	404.412.834
Derinkuyu	48.660.500
Kayseri-Gömeç	13.250.000
Kayseri-Develi	58.500.000
Kayseri-Talas-Tomarza	241.000.000
Kayseri-Talas-Tomarza	284.000.000
Bitlis- Tatvan	1.100.000.000
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000
Van-Mollakasım	5.950.000
Ağrı-Patnos	27.812.000
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250
Kars-Digor	11.718.750
Kars-Sarıkamış	1.875.000
Ankara-Güdül-Tekköy	8.070.000
Isparta-Gölcük	30.983.250

Türkiye'deki pomza rezervlerinin dağılımına bakıldığında, volkanik arazilerin yayılış, gösterdiği Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Pomza rezervinin en fazla yer aldığı bölge Doğu Anadolu bölgesidir (%55,7). Pomza rezervinin geriye kalan kısmı (%44,3) ise İç Anadolu bölgesinde bulunmaktadır. İl bazında pomza yataklarının dağılımına bakıldığında Bitlis (%44,8), Kayseri (%24,3),

Nevşehir (%18,4) ve Van (%6,5) illerinin en büyük paylara sahip olduğu görülür. Türkiye'deki toplam rezervin %94'u bu dört ilde yer almaktadır. Pomza rezervlerine sahip olan diğer iller ise Ağrı, Iğdır, Isparta, Kars ve Ankara illeridir [14].

1.2. HAFİF BETON

Beton; çimento, su, agrega bileşenlerinden meydana gelmesine karşın, gerek görüldüğünde katkı maddeler belirli koşul ve miktarlarda ilave edilmesiyle üretilen, üretildiğinde şekli plastik kıvamda olup, zaman içerisinde çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi ile sertleşerek dayanım kazanan, harç fazı ve agregadan oluşan kompozit bir malzemedir [23].

Betonun birim hacim ağırlığını düşürmek için beton içerisinde farklı yöntemlerle boşluklar oluşturmak ya da beton üretiminde normal agregaya göre birim hacim ağırlığı daha düşük olan agregalar kullanmakla mümkün olmaktadır. Birim hacim ağırlığı 1840 kg/m³'ü altında olan ve 28 günlük basınç dayanımı 17 MPa'lı üzerinde olan betonlar taşıyıcı hafif beton olarak adlandırılmaktadır. Birçok ülkelerin standartlarında, hafif beton birim ağırlığının 1900 kg/m³'e değerine kadar çıkmasına izin verilir. Yaygın olarak hafif betonların birim ağırlıklarının uygulama değişim aralığı en düşük 300 kg/m³ ve en yüksek 1800 kg/m³'dür [24].

Pomzanın hafif agrega olarak kullanılması ile imal edilen hafif beton yapı elemanlarına bimsblok denilmektedir. Pomzadan agregası ile üretilmiş hafif beton elemanları (Bimsbloklar) yüksek ısı ve ses yalıtımı, yeterli mukavemet göstermeleri ve depreme dayanıklı mekânları daha ucuza mal etmek gibi özelliklerinden dolayı tercih edilir bir inşaat malzemesini olmuştur. Pomzalı hafif beton ısı geçirgenlik katsayısı bakımından, normal betonunkinden 4-6 kat daha iyi değere sahip olup, iyi bir izolasyon özelliği sağlamaktadır. Bu sebepten ötürü yüksek miktarlarda ısı ve enerji tasarrufu elde edilmektedir [25, 26].

Hafif betonun çeşitli avantajları ve dezavantajları mevcut olup, bunlardan bazılarına değinirsek;

Avantajları:

- Yapıdaki ağırlığın azalması nedeniyle düşey yüklerde azalmalar olur, buna bağlı

olarak yapıyı etkileyen atalet kuvvetleri de azalır. Böylece yapı üzerindeki deprem etkisi azalır.

- Hafif betonlarla imal edilen yapıların toplam ölü yükleri azalması ile temelleri ve diğer yapı elemanlarını daha küçük boyutlarda tasarlamak ve inşa etme olanağı sağlar.
- Eğilme etkisindeki elemanlarda daha az yük gelmesi ile donatı sarfıyatı azalır.
- Hafif yapı elemanın ısı iletkenlik katsayısı değerinin daha düşük olması nedeniyle ısı ve ses izolasyonu bakımından daha iyidir.
- Alevlere karşı dayanıklıdır.
- Hafif olmasıyla taşınması ve yerleştirilmesi basit ve daha az maliyetlidir [27].

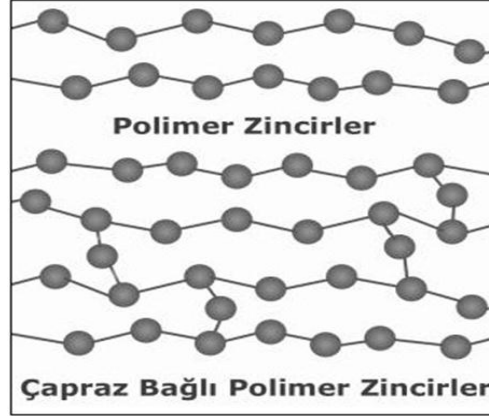
Dezavantajları:

- Gözenekli bir yapıya sahip olmaları sebebiyle aşınmaya karşı mukavemetleri azdır.
- Basınç dayanımları düşüktür.
- Elastisite modülü değeri küçük olması nedeni ile taşıyıcı hafif betonlu kirişlerde, sehimler ve dönmeler daha fazla miktarlarda gözlemlenmektedir.
- Geleneksel betona göre rötre ve sünme değerleri yüksektir.
- Normal betona kıyasla daha çok çimentoya ihtiyaç duyulması nedeniyle maliyet artışına neden olmaktadır.
- Kesme-kayma dayanımı bakımından normal betona göre daha düşük bir değere sahiptir.
- İmalat ve işçilik yönünde hassasiyet gerektirmektedir. Buda daha çok emek ve daha çok maliyet demektir [27].

1.3. POLİMERLER VE POLİMERLERİN BETONDA KULLANIMI

Polimerler, yüksek sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül ağırlıklı bileşikler şeklinde adlandırılabilir. Başka bir deyişle, monomer denilen ufak moleküllerin birbirine kovalent bağ ile bağlanarak oluşturdukları büyük bir moleküle polimer denir. Polimerler, doğal polimer ve yapay polimer olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Yapay polimerler genellikle, çok sayıda tekrarlanan “monomer” veya kısaca “mer” denen basit birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bunların

adlandırılmasında çok sayıda anlamına gelen ve Latince bir sözcük olan “poli” ile “mer” sözcüğü birleştirilir [28]. Polimerleri genel görünümü şekil 1.4’te verilmiştir.



Şekil 1.4. Polimer moleküler yapısı [29].

Polimerlerin sınıflandırmasında kullanılan en temel yöntem, fiziksel özelliklerine göre sınıflandırma yöntemidir. Polimerleri sınıflandırmada kullanılan evrensel bir yöntem henüz bulunmamaktadır.

Fiziksel özelliklerine göre polimer; Termosetler, termoplastikler, ve elastomerler olmak üzere üç ana sınıfa ayrılırlar.

Termoplastikler; ısı ve basınç etkileri altında yumuşayabilir, deforme olabilirler ve soğuğa maruz kaldıklarında sertleşebilirler. Ayrıca tekrar ısıtıldığında tekrar yumuşayabilen, şekil verilebilen ve soğutulduğunda sertleşebilen malzemelerdir. Bu hal değişiklikleri sırasında herhangi bir kimyasal özellikleri değişmez. Uygun kimyasallarla çözünebilirler ve bu yöntemle çeşitli şekiller verilebilir [28].

Termosetler; ısıya tabi tutulduğunda bir defa olmak üzere istenen şekil verilebilen plastiklerdir. Tekrar ısıtılmakla şekillendirilemezler. Termosetler çözünmezler [28].

Bazı önemli termoset polimerler üre-formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit, doymamış poliestерler, epoksi polimerler, poliüretanlardır [30].

Elastomerler; Çekme kuvveti etkisinde çok yüksek oranda uzayabilen ve kuvvet kaldırıldığında anında ilk uzunluğuna dönebilen, çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere, veya başka bir deyimle kauçuğumsu ağ yapılara, elastomer denir.

Polimerlerin fiziksel özellikleri şunlardır:

- Hafif özgül ağırlığa sahipler ($0.82 - 2.10 \text{ kg/m}^3$),
- Düşük elektriksel iletkenliğe sahipler,
- Renk seçeneği,
- Kimyasal maddelere dayanıklılık,
- Düşük su emme oranı,
- Yanmaz veya yanarken sönme (Selüloz nitrat dışında),
- Kolay imalat ve işlenebilirlik özellikleri iyidir.

Polimerler, kompozitlerle takviye edildiğinde oldukça yüksek dayanım ve duyarlılıklara sahip olurlar. Malzemenin servis özelliklerini geliştirirken aynı zamanda maliyeti de düşürmektedir [31].

Polimerler 1590'lı yıllarında beton teknolojisine girmiştir. 1965'den sonra polimerin betonda kullanımı giderek artmış ve günümüzde sürekli gelişmektedir [32].

Kimyasal aktiviteye sahip olmayan polimer betonlar, geleneksel betonlardan daha iyi basınç ve çekme dayanımlarına sahiptirler. Ancak, polimer betonların elastisite modülleri daha düşük, sünme deformasyonları daha yüksektir. Betonun düşük olan çekme dayanımı polimerik katkılarla iyileştirilebilir [33].

Üç grup polimer betonu tanımlanmaktadır. Bunlar; Polimer beton (PC), Lateks ile modifiye edilmiş beton (LMC) ve polimer emdirilmiş betondur (PIC). Polimer beton (PC), bağlayıcı olarak sadece polimerin kullanıldığı, Lateks ile modifiye edilmiş beton (LMC), karışım suyunun bir kısmı yerine lateks polimer emülsiyonunun kullanıldığı, Polimer emdirilmiş beton (PIC) ise sertleşmiş betonun boşluklarına polimerin emdirildiği beton türüdür [33].

Polimer betonlarda sadece birkaç saat içinde çok yüksek (140 MPa) basınç dayanımlarına ulaşılırken, lateks modifiye betonlar ise eski betona mükemmel aderans özelliğine sahiptir. Polimer emdirilmiş betonlar geçirimsizlik özellikleri bakımından çok iyi performans göstermektedirler. Bu özellikleri sayesinde yüksek dayanıklılığa sahip betonlar oluştururlar [33].

Polimer betonlar günümüzde, köprü drenaj sistemi ve drenaj sistemleri için prefabrik ürünlerin üretimi, endüstriyel tankların üretimi, arıtma tesislerinin su tutma havzaları ve kanalları üretimi, aşındırıcı madde (asit, baz vb.) depolama tanklarının üretimi gibi

alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, Polimer betonlar erken dayanım ve elastisite modülüne sahip olması aynı zamanda kimyasal etkilere karşı dayanıklılığının yüksek olması nedeniyle genelde döşeme kaplama işlemlerinde ve onarım işlerinde de yaygın olarak kullanım alanları bulmaktadır. Polimer içeren beton türlerinin normal betonlara göre avantajlarına özetlersek;

- Gözenekleri az sayıda, mutlak sıklık, geçirimsiz,
- Su emme özelliği olmadığı için yüksek don direncine sahip,
- Yalıtım açısından iyi,
- Asit ve bazların aşındırıcı özelliğine karşı dayanımı yüksek,
- Sertlik derecesi yüksek,
- Tüm beton sınıfları için uygulanabilir,
- Düz yüzeyler elde edilebilir,
- UV ışınlarına dayanıklı olduğundan, göz alıcı, dayanıklı, renkli çözümler tasarlanabilir,
- Değişen hava ve atmosferik koşullara karşı dirençli
- Delme ve kesme işlemi kolay,
- Aşınma direnci yüksek,
- Kalıba yerleştirilmesi kolaydır.

1.4. LİTERATÜR ÖZETİ

Topçu, hafif beton özelliklerinin kompozit malzeme olarak incelenmesi adlı çalışmada betonu oluşturan fazların özellik, cins ve miktarlarının silindir basınç mukavemetine etkisini araştırmıştır. Çalışmada su/çimento oranı artışının beton numunelerine üzerinde oldukça etkili olduğunu bildirmiştir. Silindir basınç mukavemetinde 0.20'lik su/çimento oranı artışına karşılık normal beton numunelerinde 0.35, hafif beton numunelerinde ise 0.70'lere varan düşüşler halinde olduğunu böylece su/çimento oranı artışının hafif betonlarda normal betonlara göre yaklaşık iki katı daha fazla etkili olduğunu belirtmiştir [26].

Gündüz ve arkadaşları, Dünyanın farklı ülkelerinde ve Türkiye'de mevcut olan, çeşitli karakteristik özellikler sergileyen pomza oluşumlarının, yapısal, fiziksel ve kimyasal olarak incelemelerine yönelik yaptıkları çalışmalarında; pomza oluşumları, orijinlerine

göre kratonik ve alkali magma ürünü birer malzeme olduğunu, Yapısal ve kimyasal özelliklerine göre, yüksek oranda silika içeren pomza örnekleri, riyolitik kaya yapısında bulunmakta olduğunu, silika oranı ve alkali oranına göre dasidik veya traki-andezit kayaç yapısında da bulunabildiklerini bildirmiştir. Riyolitik kayaç-yapısı gösteren pomza oluşumları, endüstriyel olarak kullanım yerinde, yüksek dayanım gösteren malzeme yapıda olup dasidik kayaç yapısındaki pomzalar ise, yüksek oranda boşluk içermeleri sebebi ile dayanımları daha düşük olduğunu bildirmiştir [22].

Ünal ve arkadaşları, pomza ve diatomit agregalarının, hafif beton blok üretiminde kullanılması üzerinde yaptıkları araştırmalarında hafif agrega olarak üç farklı grubuna ait pomza taşı ve diatomit, normal agrega olarak da kum ve kırma kum kullanılarak çeşitli miktarlarda farklı serilerde hafif beton numuneleri üretmişlerdir. 250 ve 300 çimento dozajlarında üretilen beton numuneleri üzerinde ultrases hızı, kılcal su emme ve basınç deneyleri gerçekleştirilerek elemanlara ait özellikleri araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmadan elde ettikleri sonuçlara göre, pomza ve diatomitin hafif beton blok üretiminde kullanılarak tuğla gibi bölme elemanları ile ikame edilerek kullanılabileceğini ifade etmişlerdir [25].

Kılıç ve arkadaşları, bazaltik pomza agregası ve mineral katkı kullanarak yüksek dayanımlı hafif beton üretilebilirliği üzerine araştırma yapmışlardır. Hava kurusu birim hacim ağırlıkları $1800-1850 \text{ kg/m}^3$ arasında olan uçucu kül katkılı betonların 20°C ve %65 bağıl nem kür koşullarında 28 günlük basınç dayanımlarının 30 MPa, silis dumanlı katkılı betonların ise 40 MPa olarak elde ederek en yüksek dayanımın Uçucu kül-silika dumanının hafif agrega üçlü karışımında elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, yapısal hafif betonun (SLWC) bazaltik pomza kullanılarak üretilebileceğini belirtmiş ancak, iyi sonuçlar vermesi için mineral katkı maddeleri kullanılmasını önermiştir [60].

Ulusoy, pomzanın izole monolitik malzeme imalinde kullanılması adlı çalışmasında; pomza taşının volkanik bir kayaç çeşidi olduğunu, çoğunlukla birbirleri ile bağlantılı olmayan gözeneklere sahip olduğu, bu gözenekler göz ile görülebilecek boyutlardan mikroskobik boyutlara kadar çok sayıda olduğunu, her bir yapının camsı bir zarla oluştuğunu, bu özelliği nedeniyle hafif olup, su yüzeyinde uzun süre kalabilen, izolasyonu yüksek bir kayaç olduğunu belirterek volkanik etkiler sonucunda asidik ve bazik olmak üzere iki farklı pomza taşının oluştuğunu, asidik pomzanın yoğunluğu $0.5-1 \text{ g/cm}^3$, bazik pomzanın yoğunluğu ise 2 g/cm^3 olduğunu ifade etmiştir [9].

Hossain, pomza agregası kullanarak üretmiş olduğu hafif beton numunelerin yarmada çekme dayanımların 2.2-3.7 MPa arasında olduğunu belirtmiştir [62].

Ceylan (2005), farklı çimento oranlarında ve değişik pomza türlerinden elde etmiş olduğu hafif beton numunelerinin belirli bir sıcaklık etkisindeki karakteristiğini incelemiştir. Çalışmasında Nevşehir ilinin Göre yöresi, Kayseri ilinin Talas yöresi pomzaları ve İzmir ilinin Menderes yöresine ait perlitik pomzasını kullanmıştır. İzmir-Menderes yöresine ait perlitik pomzası ile üretilen hafif beton örneklerinin su emme oranları %12-18 aralığında, sadece Kayseri-Talas ve Kayseri-Talas, Nevşehir-Göre pomzalarının karışımlarından üretilen hafif beton örneklerinin su emme oranları ise %30-40 civarlarında olduğunu belirtmiştir. Ayrıca örnekler içerisinde en düşük su emme oranı İzmir-Menderes pomzasının 4/8 mm fraksiyonundan oluşan agreganın hacimce %10 oranında Portland çimentosu ile elde edilen hafif beton karışımından ve en yüksek su emme oranı ise Kayseri-Talas pomzasının 0/4 mm ve 4/8 mm fraksiyonunun yarı yarıya karışımının hacimce %6 oranında Portland çimentosu ile elde edildiği bildirmiştir [7].

Yanık, bazik pomzaların beton agregası olarak kullanılabilirliğini üzerinde yapmış olduğu çalışmasında, çeşitli oranlarda agrega (bazik pomza, dere kumu), uçucu kül ve kimyasal katkı malzemeler kullanarak elde etmiş olduğu betonların birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, ısı ve ses yalıtım özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikleri araştırmıştır. Çalışma sonucunda dere kumun su emmesi %1,54, özgül ağırlığı 2,632 g/cm³, Bazalt kum ve ince bazalt su emme değeri %11,36 özgül ağırlığı 2,050, orta bazalt su emme değeri %15,56 özgül ağırlığı 1,609 g/cm³, iri bazalt su emme değeri %17,31 özgül ağırlığı 1,523 g/cm³ olarak belirterek yüzde yüz bazik pomza ile üretilen karışımın suyu filtre olduğundan, agregalar arası bağlayıcı malzeme kalmaması ve homojen bir görünüm oluşmaması nedeniyle beton agregası olarak bazik pomzanın tek başına kullanılmasının mümkün olmadığını bildirmiştir [56].

Gökçe ve Can, pomza agregasının farklı zaman zarflarındaki su emmelerinin hafif beton numunelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Bu doğrultuda pomza agregasının farklı zamanlardaki (5 dakika, 10 dakika, 60 dakika, 1 gün ve 1 hafta) su emme miktarları elde etmiş ve bu agregalarla 5 değişik karışım olacak şekilde, PÇ 42,5 R tipi çimento ile 700 dozlu ve 0,41 su/çimento oranına sahip taşıyıcı hafif beton numuneleri üretmişler. 7 ve 28 günlük beton numunelerinde su

emme, yoğunluk, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, beton test çekici, ultrases geçiş hızı ve yüzeysel aşınma deneyleri yapmıştır. Yapılan deney sonuçları neticesinde, doğal agrega ile yapılan karışımlarda, pomza agregasının ilk 10 dakikalık su emme miktarının karışım sırasında ilave su olarak eklenildiği numunelerin, referans betonu olarak düşünülen 1 günlük su emme miktarının ilave su olarak eklenildiği numunelerin basınç dayanımlarından %21, ultrases geçiş hızlarından %4, beton test çekici değerlerinin %16, yarmada çekme dayanımlarından %21'den daha fazla olduğu ve yüzeysel aşınma kaybı da %3'ten daha az olduğu belirtmişlerdir [59].

Akçakale, bazaltik pomza ve bims agregalı hafif betonun bazı dayanıklılık karakteristiklerinin araştırılması adlı tezinde Osmaniye pomzası ile Nevşehir yöresi pomzasından elde edilen bims tozu ile ürettiği betonların 7 günlük basınç dayanımının en yüksek değerinin 16,3 MPa en düşük değerinin ise 4,9 MPa olduğunu belirterek bu agregalarla üretilen betonların taşıyıcı eleman olarak kullanılamayacağını, ancak duvar yapı elemanı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir [57].

Bideci, çalışmasında hafif betonun kimyasal, fiziksel, mekanik özellikleri ve kaplı pomza agregasının çimento ile aderansını incelemek için Pomza agregasını üç farklı polimerle kaplayarak 300, 400 ve 500 doz olmak üzere üç farklı seride hafif beton numuneleri üretmiştir. Agregaların polimer kaplanmasıyla agregaya su geçişini engelleyerek, polimer kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinde su emme oranının azalmasını sağlamıştır. Ayrıca, üretilen beton numunelerinde en yüksek basınç dayanımı 500 doz KBP numunelerinden ve en düşük basınç dayanımı 400 doz PLP numunelerinden elde etmiştir. 28 günlük yarmada çekme dayanımlarında, en yüksek değer 500 doz SNMC numunelerinden ve en düşük değer 300 doz PLP numunelerinden elde edilmiştir. PLP numunesinin hem yarmada çekme dayanımında hem de basınç dayanımında Kontrol numunesine göre düşük çıkması, agrega etrafını kaplayan polimerin çimento harcı ile aderansının düşük olmasına bağlı olduğu belirtmiştir [4].

Kaldı, pomza agregası ile elde edilen taşıyıcı hafif beton numunelerinin üzerinde yaptığı deneysel çalışmasında, sertleşen beton yoğunluğu mekanik özellikleri doğrudan etkilediğini, beton yoğunluğunun artması ile basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kopma kuvveti arttığı belirtmiştir. Ayrıca, kür süresi artmasıyla normal betonların ve taşıyıcı hafif betonların basınç dayanımları, eğilme dayanımları arttığını ve bununla birlikte ultrases hızının da arttığını belirtmiş, taşıyıcı hafif betonların ultrases geçiş

hızının normal betonlara göre daha az olduğu belirtmiştir. Ayrıca, normal betonlarda basınç dayanımı arttıkça betondaki boşluk oranı az olduğu ve buna bağlı olarak ultrases geçiş hızı arttığını, taşıyıcı hafif betonlarda ise pomza miktarındaki değişim ultrases geçiş hızının değişiminde etkili olduğunu bildirmiştir [53].

Elmataş, pomza taşının Türkiye ekonomisi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yapılan çalışma neticesinde Türkiye'deki pomza rezervi miktarı 2,8 milyar ton civarında olduğunu belirterek, bu değerın dünya pomza rezervinin %15,8'ine denk geldiğini, İtalya, 2000-2007 yılları arasındaki dönemlerde pomza üretimde birinci sırada olurken, 2010 yılında Türkiye'nin, Dünya pomza üretimindeki payı %23 olup (4.000.000 ton), İtalya'nın %17'olduğunu belirtmiştir. Türkiye 2008-2011 yılları arasındaki dönemlerde pomza üretimini arttırarak İtalya'yı geride bırakarak ilk sırada yer aldığını ifade etmiştir. Türkiye'de üretilen pomzanın büyük çoğunluğu yurtiçinde inşaat alanında değerlendirildiği ve elde edilen pomzanın bir kısmını ise ülke dışına ham madde olarak ihraç edildiği ve yapılan bu pomza ihracatı ülke ekonomisine katkısı son yıllarda yıllık yaklaşık 10 milyon ABD \$'olduğu ifade etmiştir [14].

Sallı Bideci, yapmış olduğu çalışmasında, pomza agregaların bor kaplanmasıyla agregada su emme oranının %50 azaldığı, basınç dayanımının arttığını, elde edilen bor kaplı agregalarla üretilen beton numunelerinde basınç dayanımlarında artış olduğunu aynı zamanda ultrases geçiş hızına, basınç altında su işleme derinliğine, sülfat dayanımına ve hızlı klor geçirimsizliğine olumlu yönde katkı sağladığını belirtmiştir. Genel olarak %12,5 kolemanit + çimento kaplı agregalarla elde ettiği hafif beton numunelerinin LC 40/44 dayanım sınıfında olduğunu bildirmiştir. Böylece kolemanitli çimentolarla kaplı hafif agregalı betonların yapılarda taşıyıcı özel hafif beton olarak kullanılabileceği tespit etmiştir [3].

Yaltay, kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun fiziksel özelliklerinin araştırılması adlı çalışmasında, hafif beton üretiminde iri ve ince agrega olarak, Türkiye'nin Van ili Erciş ilçesi Kocapınar mahallesinde temin edilen pomza taşı, çimento olarak ise %0,0, %0,4, %0,6, %0,8, %1 ve %2 oranlarında çimento ile yer değiştirerek kolemanit katkısı ile hafif beton numuneleri üretmiştir. Üretilen hafif beton numuneleri 28, 56 ve 360 gün boyunca kürlenmiş ve çalışma kapsamında, beton numunelerinin gama radyasyon soğurganlıkları deneysel olarak incelenerek kolemanit katkısının bu anlamda etkisi irdelenmiş, ayrıca WinXcom programı ile teorik olarak

hesaplanan radyasyon zırhlama değerleriyle kıyaslaştırılmıştır. Ayrıca üretilen hafif beton numuneleri üzerinde, porozite, kılcal su emme, ultrases hızı geçiş, basınç dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımı deneyleri yapılmış ve kür yaşının söz konusu parametrelere etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara basınç dayanımında kolemanit katkısı özellikle ileri kür yaşlarında olumlu yönde etki sağladığı göstermiş, ultrases geçiş değerleri ile karşılaştırıldığında sonuçlar birbirine uyumlu çıkmıştır. Bu anlamda beton basınç dayanımı 28 ve 56 günlük numunelerde %0,6-15 arasında yükselmiş ve bu artış 360 günlük numunelerde %13-30 aralığında olmuştur. 28 günlük numuneler ile karşılaştırıldığında %3,05-33,4 oranlarında bir artışla 360 günlük kür yaşı basınç dayanımını pozitif yönde etkilediğini bildirmiştir [63].

Yılmaz, çimento türü ve pomza agregasının beton karakteristiklerine etkisini inlemek için maksimum tane çapı 16 mm olan kırma taş agregası ve pomza agregası ile CEM-I 42.5 R ve kalsiyum alüminatlı çimento ile 500 dozda altı değişik seride beton numunesi üretmiştir. Her bir karışımlarda Su/çimento oranı sabit tutularak çimentonun ağırlıkça %2'si oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi ve betonun mekanik özelliklerini artırmak için %0,15 oranda polipropilen lif, %5 oranda çelik lif kullanılmış, ayrıca kırma kum ve kırma kumun ağırlıkça %10'nu ile yer değiştirilerek silis dumanı ilave etmiştir. %100 pomza agregası kullanılarak hafif, %25 pomza agregası kullanılarak yarı taşıyıcı hafif ve %100 kırma taş agregası kullanılarak yüksek dayanımlı beton numuneleri elde etmiştir. Çalışma neticesinde, üretilen beton numuneleri arasında en iyi basınç dayanımı %100 kırma taş agregalı CEM I 42,5 R beton numunelerinden elde edilmiş ve beton numunelerin basınç dayanımlarında pomza miktarının artmasıyla; kalsiyum alüminatlı numunelerde %48, CEM-I 42,5 R çimentolu numunelerde ise %29'a varan azalmalara sebep olduğu belirtmiştir [34].

2. MATERYAL VE METOT

2.1. MATERYAL

Yapılan bu çalışmada iri agregata olarak; 4-8 mm ve 8-16 mm elek aralıklarında pomza agregası, ince agregata olarak 0-4 mm elek aralığında doğal kum, agregata kaplama malzemesi olarak polyester ve mermer tozu kullanılmıştır.

2.1.1. Agregalar

Kaplanmamış doğal kum (0-4 mm) ve polyester ile kaplanmış pomza agregası (4-8, 8-16 mm) olmak üzere iki değişik türde agregata kullanılmıştır.

2.1.1.1. Doğal Kum

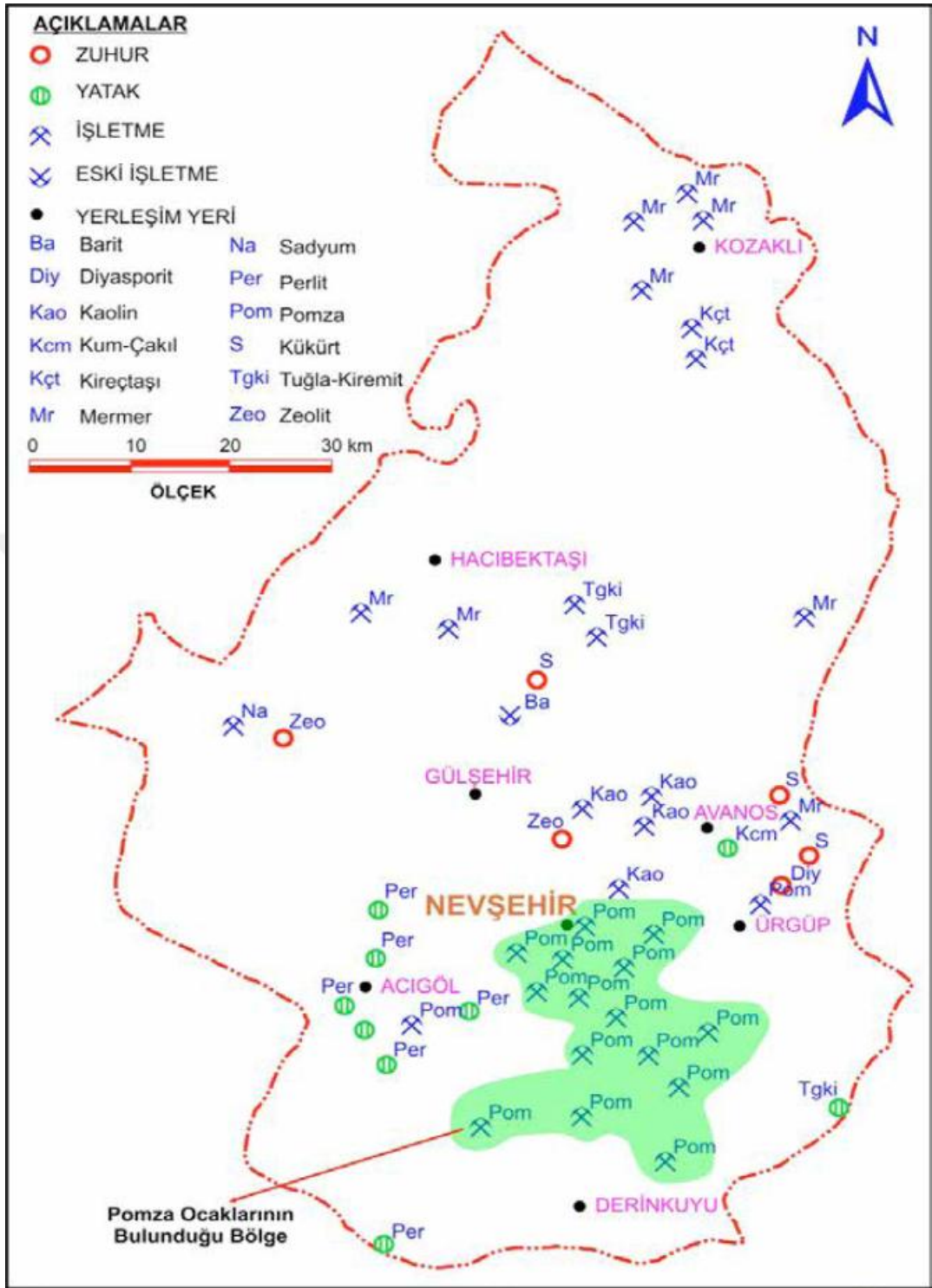
Karışımlarda ince agregata olarak 0-4 mm aralığında doğal kum kullanılmıştır. Doğal kumun fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Doğal kumun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikleri	
Özgöl Ağırlık	2,67
Su Emme (%)	1,50

2.1.1.2. Pomza Agregalar

Çalışmada, Nevşehir ili Merkez ilçesi Çardak köyünde bulunan Metaş Madencilik Ltd. Şti’ye ait ocaktan alınan pomza agregası kullanılmıştır. Nevşehir ilinin maden haritası Şekil 2.1’de ve Nevşehir bölgesi pomza seviyelerinin genel kesit görünümü Şekil 2.2’de verilmiştir [18]. M.T.A tarafından yapılan çalışmalarda Çardak köyünde bulunan pomzanın, görünür rezervinin 82,612.500 m³, muhtemel rezervinin 87,592.000 m³, mümkün rezervinin 68,445.000 m³ ve iyi kalitede olduğu belirtilmiştir [3], [34].



Şekil 2.1. Nevşehir iline ait pomza ocakları ve maden haritasının dağılımı [18].



Şekil 2.2. Nevşehir bölgesi pomza seviyelerinin genel kesit görünümü [18].

Agrega deneyleri ve beton karışımı için tane boyutu 8-16 mm ve 4-8 mm elek aralığında gruplandırılan, Metaş Madencilikten temin edilen pomzaların kimyasal özellikleri [35], [34] Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Pomza agregasının kimyasal analizi (%) [35].

Kimyasal Özellikleri	
Bileşenler (%)	Oran (%)
SiO ₂	74,10
Al ₂ O ₃	13,45
Fe ₂ O ₃	1,40
CaO	1,17
MgO	0,35
K ₂ O	4,10
Na ₂ O	3,70
SO ₃	-
Kızdırma Kaybı	1,54

Bu çalışmada, iri agregalar olarak 4-8 mm ve 8-16 mm elek aralığında polyester ile kaplanan agregalar kullanılmıştır. Kaplama hakkında geniş bilgi 2.1.6’da verilecektir.

2.1.2. Çimento

Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak

tanımlanabilir. Bu çalışmada, CEM-I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik analizi çimento fabrikasından temin edilmiş olup, çimentonun kimyasal analizi Çizelge 2.3'te, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.4'te verilmiştir [36].

Çizelge 2.3. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal analizi (%) [36].

Kimyasal Özellikleri		
Bileşenler (%)	CEM	EN 197-1 [82]
CaO	62,85	C+S≥%50
SiO ₂	19,7	
Al ₂ O ₃	5,25	-
Fe ₂ O ₃	3,46	-
MgO	1,27	Lim≤%5
SO ₃	3,35	Lim≤%4
Na ₂ O	0,29	-
Ca ₂ O	0,71	-
Kızdırma Kaybı	2,14	Lim≤%5
Klorür (Cl ⁻)	0,0478	Lim≤%0.10
S (Sülfür)	-	Lim≤%5
Çöz. Kalıntı	0,45	Lim≤%5

Çizelge 2.4. CEM-I 42.5 R fiziksel ve mekanik özellikleri [36].

Fiziksel ve Mekanik Özellikleri			
	Birim	CEM	EN 197-1
Özgül Ağırlık		3,10	-
Özgül Yüzey (blain)	cm ² /g	3780	-
(W/C: 0.45) Flow Test	%	28,5	-
Priz Başlangıcı	dk.	105	Min.60
Priz Sonu	dk.	152	-
Hacim Sabitliği	mm	1	Mak.10

Çizelge 2.4. (devam). CEM-I 42.5 R fiziksel ve mekanik özellikleri.

Fiziksel ve Mekanik Özellikleri			
	Birim	CEM	EN 197-1
42 µm Elekte Kalıntı		3,3	-
90 µm Elekte Kalıntı	%	0,2	-
2 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	26,0	Min. 20
7 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	43,5	-
28 Günlük Basınç Dayanımı	MPa	55,8	Min.42.5 Max:62,50

2.1.3. Su

Beton üretimi için kullanılacak olan suyun kalitesi, suyun miktarı betonun özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Suyun içerisinde istenmeyen yabancı maddelerin bulunması halinde, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızını ve hidrasyonunu etkiler. Buna bağlı olarak taze betonun priz süresi ve sertleşmiş betonun dayanımı etkiler. Bu çalışmada Düzce şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4. Mermer Tozu

Genelde kireç taşı olarak da bilinen kalsiyum karbonat diğer bir deyişle mermer taşı, fazlaca kullanılan bir kimyasal bileşiktir. Mermer işletim fabrikalarında imalat sonrası önemli miktarda mermer atıkları adı verilen havuz çökeltileri (mermer tozu) birirmektedir. Fabrikalarda blok ve plakaları halindeki mermerlerin kesilmesi veya yüzeylerinin parlatılması sırasında önemli miktarda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Elde edilen mermer tozu inşaat alanında çimento üretimi, sıva katkı malzemesi ve kireç üretimi gibi alanlarda değerlendirilmektedir. Ayrıca, mermer tozu çeşitli sanayi sektörlerinde katkı veya dolgu malzemesi olarak da kullanılır. Çalışmada, agrega üzerine polyester kaplama işlemi sonrasında agregaların birbirinden ayrılması ve agreganın yüzeyinde pürüzlülük oluşturmak amacıyla mermer tozu kullanılmıştır. Kullanılan mermer tozunun kimyasal bileşimi Çizelge 2.5'te ve genel görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Mermer tozunun kimyasal analizi (%) [36].

Bileşenler (%)	
CaO	31,16
SiO ₂	-
Al ₂ O ₃	-
Fe ₂ O ₃	0,02
MgO	23,31
SO ₃	-
Na ₂ O	0,51
K ₂ O	0,01
Kızdırma Kaybı	44,89



Şekil 2.3. Çalışmada kullanılan mermer tozu.

2.1.5. Polyester

Agregaların kaplanması için kullanılan polyester, İstanbul ili Bağcılar ilçesinde bulunan poliya fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan polyester, polipol 3455 olup döküm esaslı, doymamış polyester reçinedir. İyi seviyedeki dolgu kabul ve düşük çekme özellikleriyle genelde suni mermer gibi dolgulu döküm uygulamalarında kullanılması yanı sıra, hızlı kurlenme ve yüksek ısı dayanıma ihtiyaç duymayan uygulamalarda da kullanmak mümkündür. Malzemenin teknik özellikleri Çizelge 2.6’da verilmiştir [37].

Çizelge 2.6. Kullanılan polyesterin teknik özellikleri [37].

Malzeme Yapısı	Test Metodu	Bitüm Modifiye Polyester
Çekme mukavemeti	ISO 0527	66 MPa
Kopmadaki uzama, Çekme	ISO 0178	%2,50
Kopmadaki uzama, Eğilme	ISO 0178	%5,94
Eğilme dayanımı	ISO 0178	138 MPa
Su Absorbsiyunu	ISO 0062	%0,16
Renk	max. 100 Hazen	
Sıvı Haldeki Yoğunluk	1,125 gr/cm ³	

2.1.6. Polyester Kaplı Pomza Agregaları

Beton üretiminde kullanılacak pomza agregaları polyester kaplama işlemi için hazır hale getirilmek amacıyla, 4-8 mm ve 8-16 mm tane boyutlarında elenerek 60 °C’de 24 saat kurutulmuştur.

Kaplama işlemi için, 35 cm çapında, 25 cm yüksekliğinde alüminyum kaplar kullanılmıştır (Şekil 2.4). Püskürtme yöntemi ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Püskürtme yönteminde yaklaşık 8-10 bar hava basınçlı, 0,8 - 2,8 mm çaplı alttan hazneli boya tabancalı sistem kullanılmıştır (Şekil 2.5).

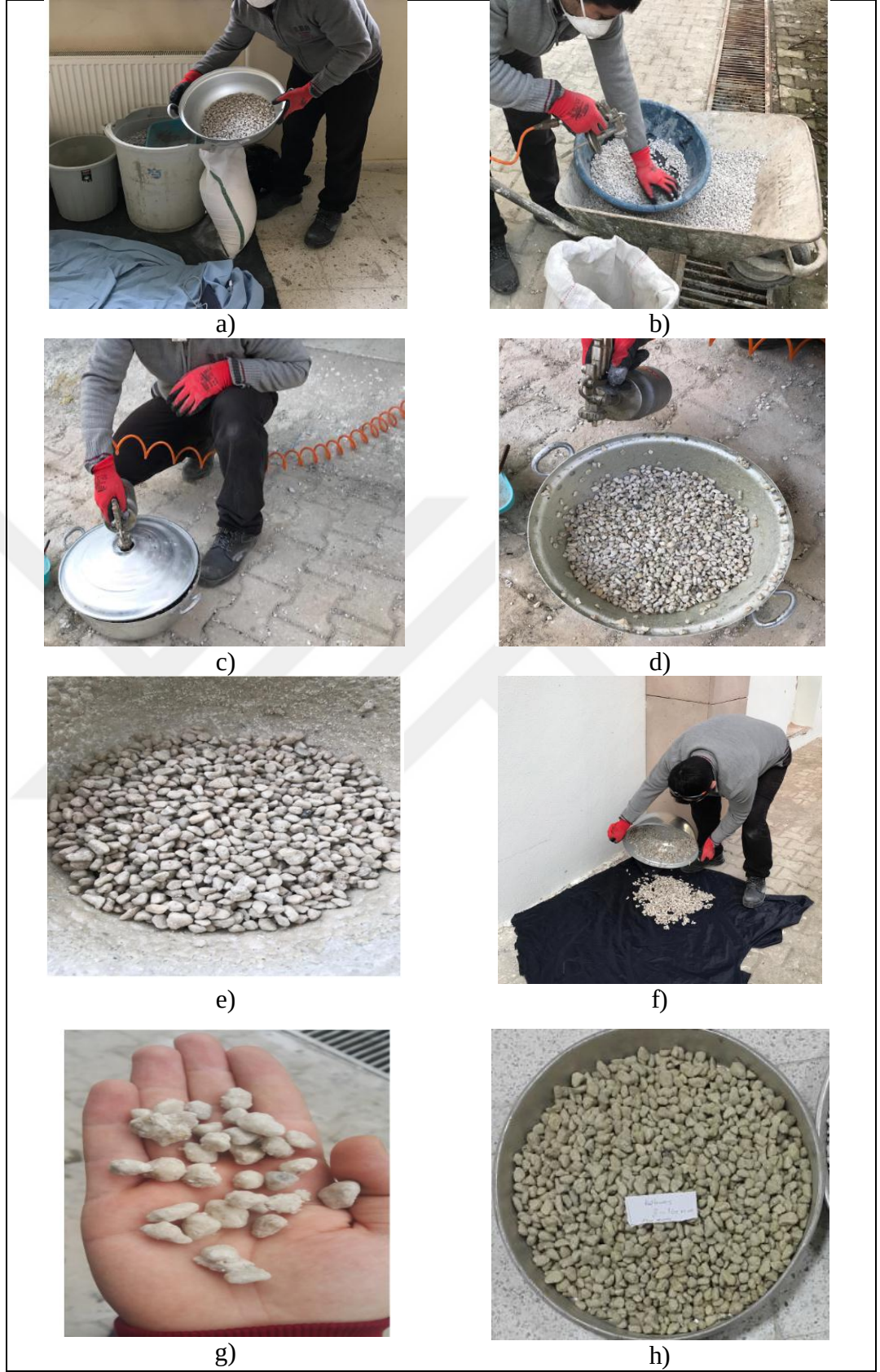


Şekil 2.4. Kaplama işleminde kullanılan kap.



Şekil 2.5. Alttan hazneli boya tabancalı sistem.

Boya tabancasından yoğun kıvamı nedeniyle püskürtülemeyen polyester selülozik tiner ile inceltilmiştir. Polyestere katılan selülozik tiner oranı ağırlıkça % 8’dir.



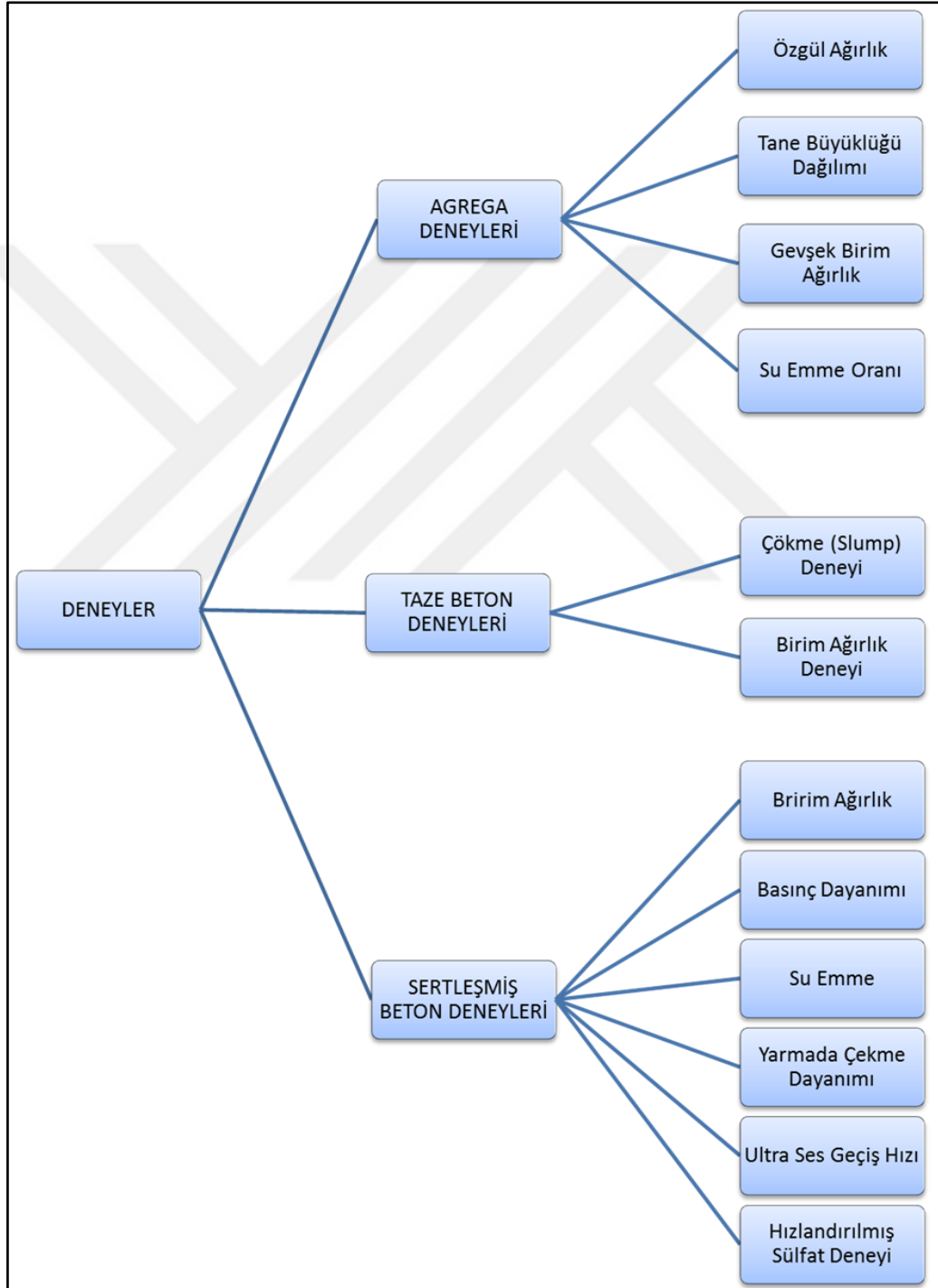
Şekil 2.6. Agrega kaplama aşamalarına ait resimler (a-h).

Agregalar 3 kat polyester ile kaplanmış ve kaplama işlem sırası şu şekildedir:

- Kaplama işlemine tabi tutulacak agregalar 4-8 mm ve 8-16 mm tane gruplarına ayrıldıktan sonra 60 °C’de 24 saat etüvde bekletilmiştir.
- Her kaplama serisi için yaklaşık 2,5 kg agrega kullanılmıştır (a).
- Agrega kaplanmadan önce agregaya basınçlı hava vererek yüzeydeki tozlar uzaklaştırılmıştır (b).
- Kabın üst kısmında açılan delikten boya tabancası ile püskürtme işlemi yapılmıştır (c).
- Agregaların görünen yüzeyleri polyester kaplandığında kap el ile sarsılmış ve kaplanmayan yüzeylerin meydana çıkması sağlanmıştır (d).
- Agrega yüzeylerin tamamen polyester ile kaplandığından emin olduktan sonra, agrega tanelerinin birbirine yapışmaması için üzerlerine mermer tozu serpilmiştir. Her kaplama serisi için ortalama 700 g mermer tozu kullanılmıştır (e).
- Kaplanan agregalar bir bez üzerine serilerek kurumaya bırakılmıştır (f).
- Her bir kaplama tabakasının kuruma süresi farklılık göstermiştir. 1. Kat kaplamanın ardından 24 saat, ikinci kat kaplamanın ardından 48 saat ve üçüncü kat kaplamanın ardından yaklaşık 72 saat kurumaya bırakılmıştır.
- 72 saat sonra tamamen kuruyan agreganın görünümü (g-h).

2.2. METOT

Bu başlık altında, Beton karışım hesabı, polyester kaplanmış ve kaplanmamış agregalar, bu agregalardan elde edilen taze ve sertleşmiş hafif beton numunelerine uygulanan deney yöntemleri açıklanmıştır. Yapılan deneyler şema şeklinde Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Yapılan deneyler.

Söz konusu deneysel çalışma için üretilen her bir beton serisi için karışım malzemesine göre farklı kodlamalar verilmiştir. Kullanılan kodlama ve açıklamaları Çizelge 2.7’de verilmiştir. Tüm deney sonuçlarına ait grafikler ve çizelgeler bu kodlamalara göre hazırlanmıştır.

Çizelge 2.7. Beton numunelerine verilen kodlamalar.

KARIŞIM	KOD ADI
400 doz çimento + %50 kaplanmamış pomza agregası (4-8, 8-16 mm) + %50 doğal kum agregası (0-4mm) karışımı	NCP-400
400 doz çimento + %50 kaplanmış pomza agregası (4-8, 8-16mm) + %50 doğal kum agregası(0-4mm) karışımı	PCP-400
500 doz çimento + %50 kaplanmamış pomza agregası (4-8, 8-16 mm) + %50 doğal kum agregası (0-4mm) karışımı	NCP-500
500 doz çimento + %50 kaplanmış pomza agregası (4-8, 8-16mm) + %50 doğal kum agregası (0-4mm) karışımı	PCP-500

2.2.1. Karışım Oranlarının Belirlenmesi

TS 2511 taşıyıcı hafif beton standardında belirtilen esaslar dikkate alınarak beton karışım hesabı yapılmıştır (1m³ beton imali için 1.15 m³ kuru gevşek agregası) [38]. Buna göre toplam agregası hacmindeki doğal kum oranı %50, 4-8 mm elek aralığındaki agregası oranı %30 ve 8-16 mm elek aralığındaki agregası oranı %20 olarak belirlenmiştir. Deney serilerinin karışım oranları Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Beton karışım oranları.

Bileşenler		Birimi	400 Doz		500 Doz	
			NCP-400	PCP-400	NCP-500	PCP-500
Agregası Elek Aralığı (mm)	8 - 16	kg	91.56	131.50	91.56	131.42
	4 - 8	kg	149.02	225.45	149.02	225.53
	0 - 4	kg	1006.24	1006.24	1006.24	1006.24
Su		kg	241.00	206.00	208.34	180.00
Çimento		kg	400.00	400.00	500.00	500.00

Betonun karışımı için yatay eksenli laboratuvar tipi pan mikser kullanılmıştır. Karışım da iri ve ince agrega mikser konularak 2 dakika, çimento eklendikten sonra 2 dakika, karışım suyunun 2/3'ü karışım a ilave edildikten sonra 2 dakika ve geri kalan suyun tamamı karışım a eklendikten sonrada 3 dakika daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma süresi toplam 9 dakikadır. Taze beton homojenliğini kaybetmemesi ve segregasyona uğramaması için kalıplara dikkatlice yerleştirilmiştir. Kalıplara iki aşamada yerleştirilen numuneler, vibrasyon makinesinde yaklaşık olarak 40 saniye süreyle titreşime maruz bırakılarak sıkıştırılmıştır. Numunelerin prizini tamamlaması için sıcaklığı 20°C ve nemi %70 olan laboratuvar ortamında üzeri nemli bez ile örtülerek 24 saat bekletilmiştir. Prizini alan numuneler su sıcaklığı 20±2°C olan kür havuzuna bırakılmıştır.

2.2.2. Agrega Deneyleri

2.2.2.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Agregalar, etüvde 60 °C'de 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Etüv kurusu agregalar TS EN 933–1 standartlarına uygun bir şekilde elek analizi gerçekleştirilmiştir [39]. Polyester kaplı agregaların kaplama tabakası kalınlığı nedeniyle tane çapı değışikliğı ihtimali göz önüne alınarak kaplama işleminden sonra tekrar elek analizi yapılmıştır.

2.2.2.2. Özgöl Ağırlık

Agregalarda özgöl ağırlık, gerçek birim hacmine karşılık gelen ağırlık olarak tanımlanır. Kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalarının özgöl ağırlıkları agrega ve suyun hacimce yer değıştirmesiyle bulunmuştur. 500 ml'lik piknometre kabı suyla doldurularak hava kabarcığı kalmaması için cam levha ile piknometre üzeri kapatılmıştır. Su dolu kap tartılarak ağırlığı (A) belirlenmiştir. Su dolu kaptan bir miktar su boşaltılmış, yerine hava kurusu ağırlığı (P_a) belirlenen agrega konmuştur ve kapta boş kalan kısım su ile tamamlanmıştır. Agrega ve su dolu kap ağırlığı (A₁) belirlenmiştir. Agregaların özgöl ağırlığı Eş. 2.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = P_a / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$V = P_a + (A - A_1) \text{cm}^3 \quad (2.1)$$

Burada;

δ: Özgöl ağırlık (g/cm³)

V: Agregâ hacmi (cm³)

P_a: Agregâ hava kuru ağırlığı (g)

A: Su dolu kap ağırlığı (g)

A₁: Agregâ ve su dolu kap ağırlığı (g)

2.2.2.3. Gevşek Birim Ağırlık

Etüv kuru haline getirilen deney numuneleri, belirli bir ağırlığa sahip silindirik biçimli ölçü kabı içine toz küreği ile 5 cm yükseklikten, yüzeyinde hasar oluşmamasına dikkat edilerek ölçü kabı taşıyacak şekilde doldurulmuştur. Ölçü kabının üst yüzeyi düzeltilmesi için yüzeyindeki fazla olan agregalar çelik levha ile sıyrılarak alınmıştır. İçi gevşek agregalarla dolu olan ölçü kabı tartılmıştır. Agregaların gevşek birim ağırlık tayini Şekil 2.8’de verilmiştir. TS EN 1097-3’e göre yapılan gevşek birim ağırlık deneyi aşağıdaki Eş. 2.2’ye göre hesaplanmıştır [40].

$$B_g = (W_2 - W_1) / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.2)$$

Burada;

B_g: Gevşek birim ağırlık (kg/m³)

W₂: Gevşek agregâ ile dolu ölçü kabı ağırlığı (g)

W₁: Ölçü kabı boş ağırlığı (g)

V: Ölçü kabının iç hacmi (dm)



Şekil 2.8. Agregaların gevşek birim ağırlık tayini.

2.2.2.4. Su Emme Oranı

Kaplanmış ve kaplanmamış agregaların su emme oranları TS EN 1097-6 standardına göre belirlenmiştir [41]. Agregalarsa su emme muhtevası tayini deney numunesinin yaş halindeki ağırlığı ile kuru halindeki ağırlığın arasındaki farkın belirlenmesidir. Deney numuneleri 110 ± 5 °C’de 24 saat sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur (Şekil 2.9, Şekil 2.10). Agregatanelerinden bir miktar alınarak 24 saat su içinde bırakılmıştır. Daha sonra agregalar sudan çıkartılmış ve pamuklu bir bez ile agregatanelerinin yüzeyindeki sudan kurulanıp doygun kuru yüzey hale getirilmiştir (Şekil 2.11). Kurutulan agregaların ağırlığı belirlenmiştir. Su emme oranı aşağıdaki Eş.2.3’e göre hesaplanmıştır.

$$W (\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (2.3)$$

Burada;

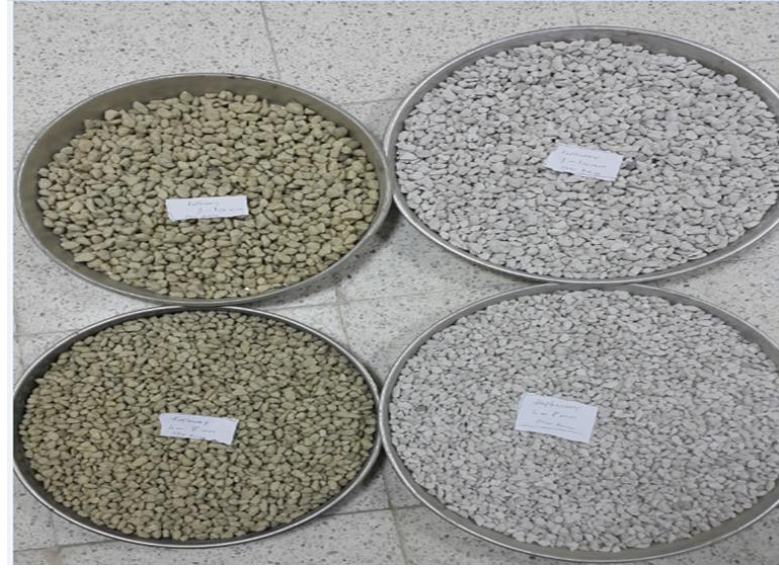
W: Su emme oranı (%)

M_2 : Doygun kuru yüzey ağırlık (g)

M_1 : Etüv kurusu ağırlık (g)



Şekil 2.9. Agregaların etüvde bekletilmesi.



Şekil 2.10. Agregaların etüv kurusu hali.



Şekil 2.11. Agregaların doygun kuru yüzey hale getirilmesi.

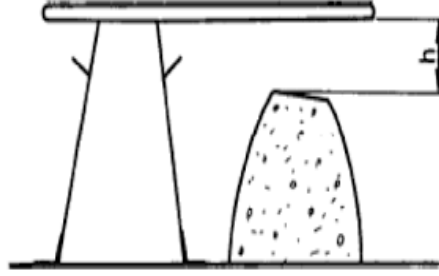
Pomza agregalarında 24 saatlik su emme yüzdeleri, ince agregada %20, iri agregada %30 civarında bir değer olması arzu edilir. Ancak bu oranlar agreganın alındığı yere, granülometrisine ve tane çapına göre değişiklik gösterebilir [11].

2.2.3. Taze Beton Deneyleri

2.2.3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze betonun işlenebilirliğini belirlenmesi amacıyla TS EN 12350-2'ye uygun bir şekilde çökme hunisi metodu ile kıvam deneyi gerçekleştirilmiştir [42]. Çökme hunisi temiz ve düz bir zemine konulmuştur. Standart çökme hunisi üç eşit tabakada doldurulup, her tabaka şişleme çubuğuyla 25 kez şişlenmiştir. Huni tamamen dolunca

üst yüzeyi çelik levha ile düzlenmiş ve huni yukarı doğru kaldıracak şekilde yavaşça çekilmiştir. Huni tamamen betondan ayırdıktan sonara taze beton kendi ağırlığıyla çökmesi sağlanmıştır. Şişleme çubuğu huninin üzerine konularak çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülmüştür. Ölçülen bu uzunluk, taze betonun çökme miktarı olarak adlandırılır. Deneyde kullanılan çökme hunisi Şekil 2.12’de ve TS EN 206-1’e göre çökme sınıfları Çizelge 2.9’da verilmiştir [43].



Şekil 2.12. Çökme hunisi [44].

Çizelge 2.9. Taze beton çökme sınıfları [43].

Sınıf	Slump (Çökme) (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥ 220

2.2.3.2. Birim Ağırlık Deneyi

TS EN 12350-6 standına uygun olarak birim ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir [45]. Beton kalıba sıkıştırma yöntemine göre iki tabaka halinde doldurulmuştur. Beton içerisinde var olan hapsolmuş havanın uzaklaştırılması için her tabakanın sıkıştırılma işlemi vibrasyon tablası yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Sıkıştırma işleminden sonra kalan beton içerisinde boşluk kalmaması için her sıkıştırma işleminde sonar kalıbın dış kısmı 10–15 kez tokmaklanmıştır. Ölçü kabına beton doldurup üzerindeki fazla beton, sıyırma levhası ile yüzeyi tesviye edilmiş (Şekil 2.13) ve dolu kap tartılmıştır (m_2). Daha sonra boş kap ölçülmüş (m_1). Taze betonun yoğunluğu Eş.2.4’e göre hesaplanmıştır.

$$D = (m_2 - m_1) / V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.4)$$

Burada;

D: Taze betonun yoğunluğu (kg/m³)

m₁: Kabın kütlesi (kg)

m₂: Kabın içerisindeki beton numune ile birlikte toplam kütlesi (kg)

V: Kabın hacmi (m³)



Şekil 2.13. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi.

2.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.2.4.1. Kuru Birim Ağırlık

Birim ağırlık deneyi TS EN 12390-7'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir [46]. Birim ağırlık deneyi için 100x100x100 mm boyutlarında toplam 12 adet küp numune hazırlanmıştır. Numuneler etüvde ±110°C'de 24 saat kurutulmuştur (Şekil 2.14). Etüv kurusu numuneler hassas terazide tartılmış ve boyutları kumpasla ölçülerek (Şekil 2.15) birim hacim ağırlıkları Eş.2.5'e göre hesaplanmıştır.

$$S_k: W/V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.5)$$

Burada;

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

W: Etüv kurusu numune ağırlığı (kg)

V: Numune hacmi (m³)



Şekil 2.14. Numunelerin etüve bırakılması.



Şekil 2.15. Etüv kurusu numunelerin boyutların belirlenmesi.

2.2.4.2. Su Emme Deneyi

Hazırlanan numunelerin su emme deneyi TS EN 1097-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [47]. Su emme deneyi için 100x100x100 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Deney için hazırlanan numuneler, 24 saat su küründe bekletildikten sonra tartılmış sonrasında etüv de 105±2°C'de 24 saat kurutulmuştur. Hesaplamasında Eş. 2.6 kullanılmıştır.

$$m_1 = (B_s - A_s) / A_s \times 100 \quad (2.6)$$

Burada;

m_1 : Ağırlıkça su emme oranı (%)

A_s : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (g)

B_s : Doygun kuru yüzeyli numune ağırlığı (g)

2.2.4.3. Basınç Dayanımı

Beton üretiminde kullanılan hafif agregaların yoğunluğu, bu agregalarla üretilen betonların yoğunluğunu dolayısıyla dayanım özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardına uygun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir [48]. Deney için 100x100x100 mm boyutlarında 2, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere toplam 36 adet küp numune üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları Eş.2.7' ye göre, 3000 kN yükleme kapasiteli tek eksenli beton basınç test cihazı ile belirlenmiştir (Şekil 2.16).

$$F_c = F/A_c \quad (2.7)$$

Burada;

F_c : Basınç dayanımı (MPa)

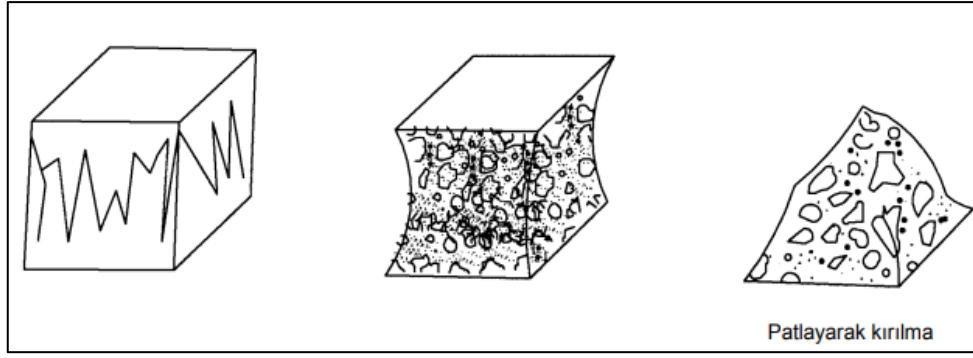
F: Kırılma anındaki maksimum yük (N)

A_c : Numunenin en kesit alanı (mm²)



Şekil 2.16. Basınç dayanımı test cihazı.

TS EN 206-1'e göre, hafif betonların basınç dayanımları silindir numunelerde 8–80 MPa ve küp numunelerde 9–88 MPa arasında değer almaktadır [43]. TS EN 12390-3 standardında küp numunelerin kırılma tipine ait örnekler Şekil 2.17'de belirtilmiştir [48]. Yapılan basınç deneyinde, numunelerin kırılma şekillerine ait bir örneği Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.17. TS EN 12390-3 standardına göre küp numunelerin tatmin edici kırılma şekilleri [48].



Şekil 2.18. Deneyde elde edilen kırılma örneği.

2.2.4.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Hazırlanan numunelerin yarmada çekme dayanımı TS EN 12390–6 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [49]. Her bir deney serisi için 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda kırılmak üzere 100x200mm boyutlarında toplam 24 adet silindir numuneler üretilmiştir. Numunelerin yük uygulama yerlerini belirlemek için, numune boyunca, eksenel düzlemde, çapın her iki tarafına karşılıklı olarak, silindirin yan yüzlerine iki çizgi çizilmiştir. Bu çizgilerin uçları yükleme yerlerinin belirlenebilmesi için, alt ve üst tabanda birleştirilmiştir. Deney numunesi, sabitleme cihazı kullanılarak, makineye tam merkezlenmek suretiyle, sıkıştırma şeritleriyle numunenin yükleme düzleminde üst ve alt kısmı boyunca dikkatlice yerleştirilmiştir (Şekil 2.19). Makinenin alt ve üst yükleme başlıklarının, yükleme esnasında birbirine paralel olması sağlanmıştır. Yarmada çekme dayanımı deyinde kırılan numunelere ait görüntüler Şekil 2.20’de verilmiştir. Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında Eş.2.8 kullanılmıştır.

$$f_{ct} = 2 \times F / (3.14 \times L \times d) \quad (2.8)$$

Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F: En büyük yük (N)

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm),

D: Numunenin seçilen en kesit boyutu (mm)



Şekil 2.19. Yarmada çekme deneylerinin yapılması.



Şekil 2.20. Yarmada çekme dayanımı deyinde kırılan numunelere ait görüntüler.

2.2.4.5. *Ultrases Geçiş Hızı*

Ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C 597 standardına uygun olarak 7 ve 28 günlük 100x200 mm silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir [50]. Ölçümlerde direkt iletim yöntemi kullanılmıştır.

Ultrases deney yönteminde, ses dalgaları, cisme, boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen piezoelektrik transduser ile gönderilir ve aynı özellikteki transduser yardımı ile alınır. Alıcı ve verici probalar arasındaki ses dalgalarının iletim süresini ve iletim hızını zaman ölçer devre aleti ile ölçülür. Cismin yoğunluğu düşük olması veya cismin bünyesinde çatlaklar ve boşluklar mevcut olması, ses dalgalarının yayılımı ve dolayısı ile ses geçiş hızı bu etkenlere bağlı olarak düşer [51].

Yoğunluğu düşük olan bir betonda, diğer bir deyişle, bünyesinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, ses üstü dalgaının betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine ulaşabilme süresi de uzundur. Yani, betonun içerisindeki boşluk-çatlak oranı arttıkça, ses üstü dalgaının hızı daha düşük olmaktadır. Bilindiği üzere, betonun yoğunluğu ile beton basınç dayanımı arasında orantılı bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan bir betonun basınç dayanımları da genelde yüksek olur. Su/çimento oranı yüksek olan betonlarda kapiler boşluk oranı fazla olması nedeniyle bu betonların yoğunluğu ve basınçları da düşüktür [52]. Ultrases geçiş hızı deneyi Şekil 2.21’de verilmiştir. Ultrases geçiş hızı, Eş. 2.9 kullanılmıştır.

$$V = L/U \quad (2.9)$$

Burada;

V: Ultrases geçiş hızı, km/sn

L: Geçiş uzunluğu, mm

U: Geçiş zamanı, μ s



Şekil 2.21. Ultrases geçiş hızı deneyi.

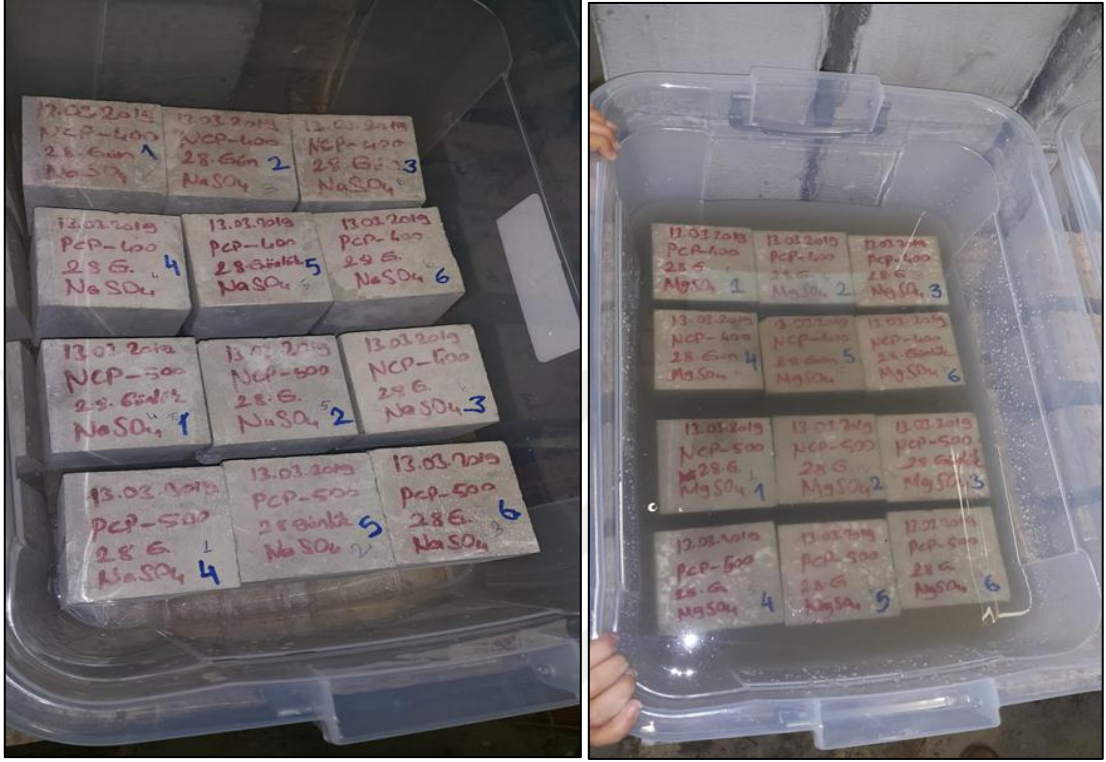
2.2.4.6. Hızlandırılmış Sülfat Deneyi

Çalışmada 100x100x100 mm boyutlarında toplamda 28 adet küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 günlük kür süresi sonunda 2 gün süreyle 60 °C sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur.

Na₂SO₄ Çözeltisi: katı haldeki Na₂SO₄ ağırlıkça %1.17 olacak şekilde saf ılık su içerisinde çözdürülmesiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan hafif beton numunelerin etüv kurusu ağırlıkları belirtildikten sonra Na₂SO₄ çözeltisine bırakılmıştır (Şekil 2.22). Deneyde numunelerin konulduğu kaplar üzerleri kapakları ile kapatılmıştır. Homojenliği korunması için çözeltiler belirli sürelerde karıştırılmıştır. Numuneler 12 saat Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilmiştir. 12 saat sonrasında numuneler çözeltiden çıkartılıp temiz suyla yıkanmış ve 105°C de 12 saat boyunca etüvde kurutulmuştur (Şekil 9.23). Etüvde çıkartılan numuneler tekrar tartılmıştır. Bu işlem 20 çevrim olacak şekilde tekrarlanmıştır. 20. Çevrim sonrasında numunelerde oluşan yüzde kütle kaybına ve numune basınç dayanımlarına bakılmıştır.

MgSO₄ Çözeltisi: katı haldeki MgSO₄ ağırlıkça %1.29 olacak şekilde saf ılık su içerisinde çözdürülmesiyle hazırlanmıştır. Hazırlanan hafifi beton numunelerin etüv kurusu ağırlıkları belirlendikten sonra hazırlanan MgSO₄ çözeltisine bırakılmıştır. Deneyde numunelerin konulduğu kaplar üzerleri kapak ile kapatılmıştır. Çözeltiler belirli sürelerde karıştırılarak homojenliği korunmuştur. Numuneler 24 saat MgSO₄ çözeltisinde bekletilmiştir. 24 saat sonra numuneler çözeltiden çıkartılıp temiz suyla

yıkanmış ve 105°C de 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Etüvde çıkartılan numuneler tekrar tartılmıştır. Bu işlem 20 çevrim olacak şekilde tekrarlanmıştır. 20. Çevrim sonrasında numunelerde oluşan yüzde kütle kaybına ve numune basınç dayanımlarına bakılmıştır.



Şekil 2.22. Numunelerin çözelti içine bırakılması.



Şekil 2.23. Sülfat deneyinden sonra numunelerin etüve bırakılması.

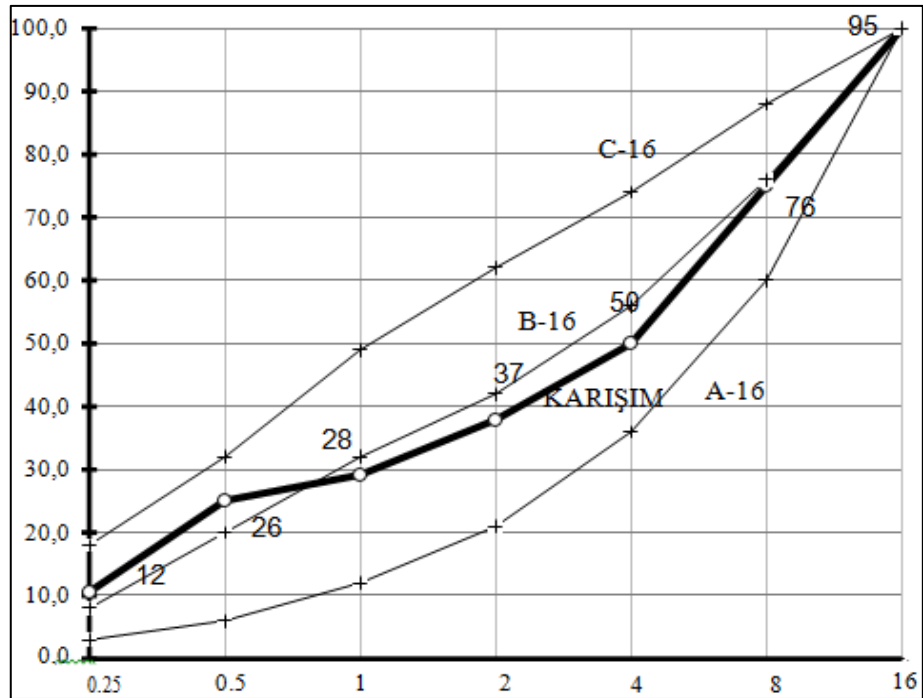
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. AGREGA DENEY SONUÇLARI

3.1.1. Tane Büyüklüğü Dağılımı

Agrega tane büyüklüğü dağılımı, beton karışımının homojenliği, kolay işlenebilmesini, istenilen kalitede ve dayanımında beton üretimi için daha az miktarlarda çimento sarfını gerektirdiğinden büyük önem arz etmektedir [53].

Deney esnasında kullanılan pomza agregası firma tarafından yıkanarak gönderildiği için tekrardan yıkama işlemine tabi tutulmamıştır. Agregalar etüvde 60 °C’de 24 saat kurutulmuştur. Etüv kurusu haline getirilen agregalar TS 3530 EN 933-1 [39] standardına uygun olarak elek analizi yapılmıştır. Polyester ile kaplanan agregaların boyut değiştirme ihtimaline karşı, kaplandıktan sonra tekrar elek analizi yapılarak karışım granülometri eğrisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Karışım granülometri eğrisi.

Tane büyüklüğü dağılımı deneyi sonucunda çalışmada kullanılan agregaların TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun olduğu belirlenmiştir [54].

3.1.2. Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık deneyi, agregaya ile suyun hacimce yer değiştirme esasına göre gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Özgül ağırlık değerleri (g/cm³).

Göz açıklığı (mm)	Özgül ağırlık değerleri (g/cm ³)	
	Kaplanmamış Agregalar	Polyester Kaplanmış Agregalar
0-4 (Kum)	2,67	--
4-8 (Pomza)	1,02	1,35
8-16 (Pomza)	0,94	1,18

Çizelge 3.1’re göre pomza agregaların özgül ağırlık değerleri, kaplanmamış agregalarda 4-8 mm elek aralında 1,02 g/cm³ ve 8-16 mm elek aralında ise 0,94 g/cm³ olduğu görülmüştür. Agregaların polyester ile kaplanmasıyla özgül ağırlık değerlerinin artarak 4-8 mm elek aralında 1,35 g/cm³ ve 8-16 mm elek aralında ise 1,18 g/cm³’e yükseldiği tespit edilmiştir. Agregalar polyester ile kaplandıktan sonra 4-8 ve 8-16 mm elek aralındaki agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla %32,3 ve %25,5 oranda artış olduğu gözlemlenmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde; polyester kaplanmış pomza agregasının polyester kaplanmamış pomza agregalarına göre özgül ağırlık değerlerinin arttığı, ancak literatürde belirtilen minimum agregaya özgül ağırlık değerinin (2,1 g/cm³) altında kaldığı belirlenmiştir.

3.1.3. Gevşek Birim Ağırlık

Etüv kurusu durumundaki agregalar üzerinde gerçekleştirilen gevşek birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Gevşek birim ağırlık (kg/m^3).

Göz açıklığı (mm)	Gevşek birim ağırlık değerleri (kg/m^3)	
	Kaplanmamış Agregalar	Polyester Kaplanmış Agregalar
0-4 (Kum)	1750	--
4-8 (Pomza)	440	635
8-16 (Pomza)	390	595

Çizelge 3.3 değerlendirildiğinde; gevşek birim ağırlığı 4-8 mm göz açıklığına sahip agregalarda $440\text{--}635 \text{ kg/m}^3$ aralığında ve 8-16 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise $390\text{--}595 \text{ kg/m}^3$ aralığında olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre polyester kaplanmamış 4-8 mm ve 8-16 mm göz açıklığına sahip pomza agregalarının Chandra ve Berntsson'un yapmış oldukları çalışmalarında belirttikleri $480\text{--}880 \text{ kg/m}^3$ [55] değerler arasında olmadığı, pomzanın polyester kaplanmasıyla gevşek birim ağırlığın arttığı ve böylece literatürde belirtilen aralıkta kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, polyester kaplı agregaların özgül ağırlık değerlerinin artışıyla gevşek birim ağırlık değerlerinin de doğal olarak arttığı görülmüştür.

3.1.4. Su Emme Oranı

Polyester kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalarının etüv kurusu haldeki ağırlığına göre su emme oranları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Agregas su emme oranı (%).

Göz açıklığı (mm)	Su emme oranı değerleri (%)	
	Kaplanmamış Agregalar	Polyester Kaplanmış Agregalar
0-4 (kum)	1,50	--
4-8 (pomza)	19,8	1,35
8-16 (pomza)	25,2	1,95

Su emme deney sonuçlarına bakıldığında, polyester kaplanmamış pomza agregaların su emme oranının 4-8 mm göz açıklığına sahip agregalarda %20 ve 8-16 mm göz açıklığına sahip agregalarda %25 civarında olduğu görülmektedir. Kaplanmış pomza agregaların su emme oranının 4-8 mm göz açıklığına sahip agregalarda %1,35 ve 8-16 mm'de %1,65 olduğu belirlenmiştir. Agregaların polyester kaplanmasıyla su emme

oranları, 4–8 mm göz açıklığına sahip agregalarda %93 ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise %92 oranında azalmıştır. Ayrıca, hem kaplanmamış agregaların hem de polyester kaplı agregaların tane çapları arttıkça su emme yüzdelerinin de arttığı görülmüştür. Normalde agregaların tane çapı büyüdükçe su emme oranının azalması ve özgül ağırlığının ise artması gerektiği bilinmektedir. Fakat pomzanın süngerimsi yapısı nedeniyle su emmesi tane çapı arttıkça yüksek, özgül ağırlığı da düşük çıkmasına neden olmuştur.

Agregaların su emme oranın literatürde belirtilen 24 saatlik su emme oranları ile kıyaslandığında, ince agregalarda istenilen %20’yi ve iri agregalarda ise istenilen %30’u geçmediği belirlenmiştir [4]. Yanık (2007), çalışmasında dere kumunun su emme oranını %1,54, bazalt kum ve ince bazalt su emme değerini %11,36, orta bazalt su emme değerini %15,56 ve iri bazalt su emme değerini ise %17,31 olarak tespit etmiştir. Ayrıca pomzanın gözenekli yapısından dolayı tane boyu arttıkça su emme oranının da arttığını tespit belirtmiştir [56]. Yapılan çalışma sonuçları literatürle ([56], [4]) uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

3.2. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

3.2.1. Çökme (Slump) Deneyi

Çökme deneyi yöntemi ile ilgili standartların bazıları şunlardır: TS EN 12350-2, ISO 4109, ASTM C 143 ve BS1881. Hazırlanan taze beton üzerinde TS EN 12350-2 “Taze beton kıvam deneyi – çökme hunisi metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak çökme deneyi yapılmıştır [42]. Çökme hunisi metodu ile yapılan kıvam deney sonuçları Çizelge 3.4’ te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Beton numunelerin çökme sonuçları.

Numuneler	Çökme (mm)
NCP-400	80
PCP-400	57
NCP-500	60
PCP-500	51

Çökme (Slump) deneyinden elde edilen sonuçlar ile beton karışımlarının akma sınıfları TS EN 206-1'e göre [43] S2 (51-80 mm) olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Birim Ağırlık Deneyi

Hazırlanan taze betonların birim ağırlık değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Taze betonda birim ağırlık deneyi TS EN 12350-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [45].

Çizelge 3.5. Taze betonların birim ağırlık deney sonuçları.

Numuneler	Taze birim ağırlık (kg/m ³)
NCP-400	1847
PCP-400	1920
NCP-500	1890
PCP-500	1965

Hazırlanan taze betonların birim ağırlıkları 1847 kg/m³ ile 1965 kg/m³ aralığında olduğu görülmüştür. Taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, NCP numunelerinde 500 doz numunelerin 400 doz numunelere göre birim ağırlıklarının %2.3 oranda arttığı, PCP numunelerinde ise 500 doz numunelerin 400 doz numunelere göre birim ağırlıklarının %2,4 oranında arttığı belirlenmiştir. Taze betonların birim ağırlıkları dozajlara göre kendi aralarında karşılaştırıldığında, 400 dozlu ve 500 dozlu numunelerde, PCP numunelerinin NCP numunelerine göre aynı oranda (%3,95) arttığı tespit edilmiştir. Bideci (2011), yapmış olduğu çalışmasında Nevşehir pomzasını kullanarak ürettiği hafif betonların birim ağırlıklarının 1660 kg/m³-1940 kg/m³ aralığında olduğunu belirtmiştir [4].

3.3. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ

3.3.1. Kuru Birim Ağırlık

Hazırlanan deney numunelerine ait kuru birim ağırlıkları hesaplanarak sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Numunelerin kuru birim ağırlık sonuçları.

Numuneler	Birim Ağırlık (kg/m ³)
NCP-400	1707
PCP-400	1780
NCP-500	1800
PCP-500	1840

Çizelge 3.6’da belirtilen sonuçlara göre, üretilen hafif beton numunelerin birim ağırlıklarının, 400 doz numunelerde; PCP numunelerin NCP numunelere göre %4,28 ve 500 doz numunelerde ise %2,22 oranda arttığı gözlemlenmiştir. Dozajlara göre hafif betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, 500 doz NCP numunelerin 400 doz NCP numunelere göre; %5,45 arttığını, 500 doz PCP numunelerin 400 doz PCP numunelere göre; %3,37 oranında arttığı belirlenmiştir.

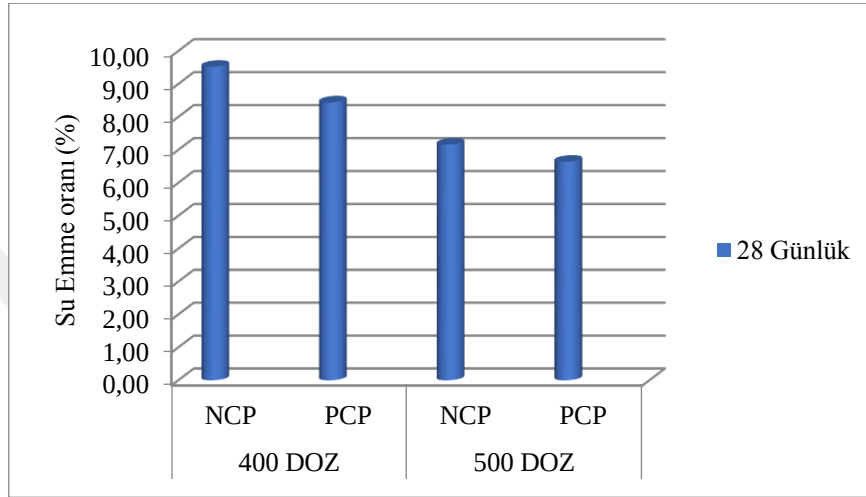
Çizelge 3.6’da verilen birim ağırlık değerleri incelendiğinde, polyester kaplanmış ve kaplanmamış agregalarla üretilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri 1707-1840 kg/m³ aralığında olduğu görülmüştür. Bu değerlerin literatürde verilen üst sınırı (2000 kg/m³) geçmediği tespit edilmiştir. Sallı Bideci (2013), Kaplanmamış, çimento ve çimento + kolemanit kaplanmış agregalardan elde edilen beton numunelerine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerin 1664 ile 1898 kg/cm³ arasında olduğunu [3], başka bir çalışma olan Bideci (2011), polimer kaplanmış ve kaplanmamış agregalardan elde edilen beton numunelerin birim ağırlık değerleri 1660 ile 1940 kg/m³ arasında olduğunu belirtmiştir [4]. Buna göre üretilen numunelerin birim ağırlıklarının TS EN 206-1 standardına [43] ve literatür çalışmalarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

3.3.2. Su Emme Deneyi

Hazırlanan 100x100x100 mm küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olan 28 günlük su emme deneyi ile ilgili değerler Çizelge 3.7’de ve grafiksel gösterimi ise Şekil 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Beton numunelerin su emme deney sonuçları.

Numuneler	Su Emme (%)
NCP-400	9,2
PCP-400	8,44
NCP-500	7,16
PCP-500	6,64



Şekil 3.2. Beton numunelerin su emme grafiği (%).

Üretilen numunelerin çimento dozajlarına göre su emme deney sonuçları incelendiğinde, 500 doz NCP numunelerin su emme oranı 400 doz NCP numunelere göre %24,79, 500 doz PCP numunelerin 400 doz PCP numunelere göre %21,33 oranında azaldığı görülmüştür. Elde edilen bu sonuca göre; çimento oranı artışına bağlı olarak hafif beton numunelerin su emme oranları azalmıştır. Ayrıca, kaplanmış agregalarla üretilen beton numunelerin su emme oranı her iki dozajda da azalmıştır. En yüksek su emme oranı NCP-400 (%9,5), en düşük su emme oranı PCP-500 (%6,6) numunelerde elde edilmiştir. Dozajlarına göre üretilen numunelerin su emme deney sonuçları kendi aralarında karşılaştırıldığında, kaplanmış agregalarla üretilen numunelerin NCP numunelerine göre su emme oranının 400 dozda %11,3, 500 dozda ise %7,3 azaldığı görülmüştür. Polyester kaplı pomzalarla üretilen hafif betonların su emme oranlarının kaplanmayan pomzalarla üretilen hafif betonlara göre oldukça azaldığı, bu durumun pomzaları kaplayan polyesterin agregalara su geçişini engellemesinin sonucu olduğunu ayrıca, çimento oranı artışına bağlı olarak hafif beton numunelerin su emme

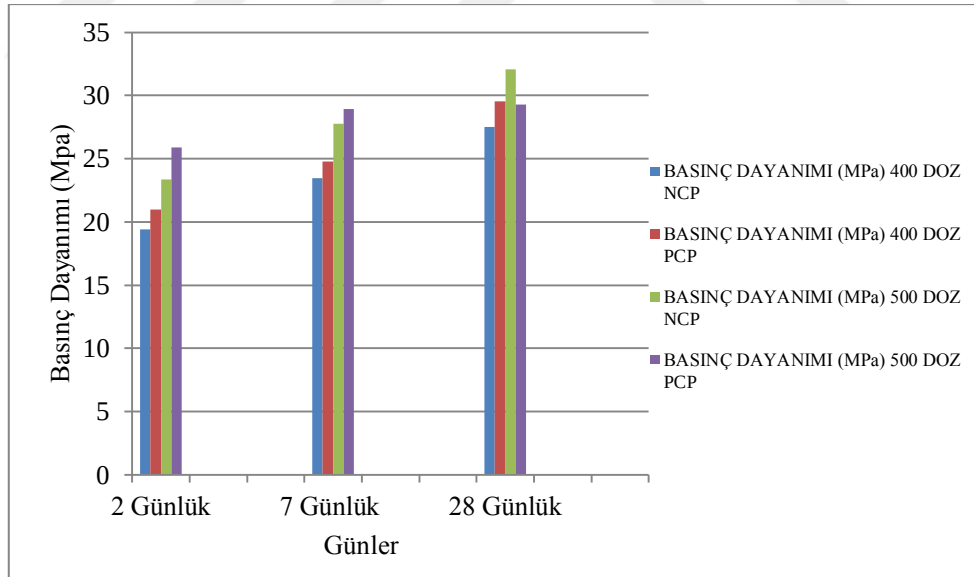
oranlarının azaldığı belirtilmiştir [4]. Ceylan (2005), farklı bölgelerde temin etmiş olduğu pomzalar ile ürettiği hafif beton numunelerin su emme değerlerinin %12 ile %40 arasında değişim gösterdiğini belirtmiştir [7].

3.3.3. Basınç Dayanımı

Üretilen deney numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları deney sonuçları çizelge 3.8’de ve deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.8. Beton numunelerin basınç dayanım sonuçları.

Numuneler	Basınç Dayanımları (MPa)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
NCP-400	19.42	23.46	27.52
PCP-400	20.95	24.77	29.53
NCP-500	23.35	27.76	32.08
PCP-500	25.86	28.93	29.26



Şekil 3.3. Beton numunelerin basınç dayanımları grafiği (MPa).

TS EN 206-1’e göre, hafif betonların basınç dayanımları silindir numunelerde 8–80 MPa ve küp numunelerde 9–88 MPa arasında değer almaktadır [43]. Çizelge 3.9’da verilen basınç dayanım değerleri incelendiğinde; PCP ve NCP beton numunelerin basınç dayanım değerleri, 2 günlüklerde 19.42 MPa ile 25.86 MPa, 7 günlüklerde 23.46

MPa ile 28,93 MPa ve 28 günlüklerde 27,52 MPa ile 32,08 MPa arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen sınır (8–80 MPa) aralığında olduğu görülmüştür.

Polyester kaplanmış agregalardan elde edilen hafif beton numunelerin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değer 28 günlük PCP-500 (29,26 MPa) ve en düşük değer ise 2 günlük PCP-400 (20,95MPa) numunelerinden elde edilmiştir.

400 doz çimento ile üretilen PCP numunelerin 400 dozlu NCP numunelerine göre basınç dayanımları karşılaştırıldığında; 2 günlük numunelerde %7,88, 7 günlük numunelerde %5,58 ve 28 günlük numunelerde %7,30 oranda arttığını, 500 doz numunelerde ise 2 günlük numunelerde %10,75 ve 7 günlük numunelerde %4,21 oranda artmış olduğu görülmüştür. Ancak, 28 günlük numunelerde %8,79 oranda azalma olduğu görülmüştür. 28 günlük PCP-500 numunelerinde basınç dayanımların, 28 günlük NCP-500 numunelere göre azalması, agrega etrafını kaplayan polyesterin agrega ile aderansının düşük olması nedeniyle kırılmanın polyester ile agrega yüzeyi arasında gerçekleşmesi sonucu olduğu tespit edilmiştir.

Dozajlara göre, NCP numuneleri ile PCP beton numunelerin basınç dayanım değerleri bakıldığında, 28 günlük sonuçlar hariç diğer tüm numunelerde çimento dozaj artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Literatür çalışmalarına bakıldığında, Kaldı (2011), yapmış olduğu deneysel çalışma sonucunda taşıyıcı hafif beton küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 23,70 MPa ile 28,30 MPa aralığında olduğunu bildirmiştir [53]. Akçakale (2010), farklı iki yörede almış olduğu pomza agregasını (Osmaniye pomzası ile Nevşehir pomzası) kullanılarak elde ettiği bims tozu ile ürettiği betonların 7 günlük basınç dayanımının en yüksek değerinin 16,3 MPa en düşük değerinin ise 4,9 MPa olduğunu belirtmiştir [57]. Sallı Bideci (2013), Kaplanmamış, çimento ve çimento + kolemanit kaplanmış pomza agregalardan elde edilen beton numunelerin 7 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değer 12,5-CLM (35,5 MPa) ve en düşük değer kontrol (19,5 MPa) numunelerinden elde edilmiş, 28 ve 90 günlük en yüksek basınç dayanım değerleri 17,5-CLM (36,8MPa) ve 12,5-CLM (41,7 MPa) numunelerinden, en düşük basınç dayanım değerleri ise kontrol (23.2 MPa ve 27,1 MPa) numunelerinden elde edildiği tespit etmiştir [3]. Bideci (2011), polimer kaplanmış ve kaplanmamış pomza agregalarla farklı

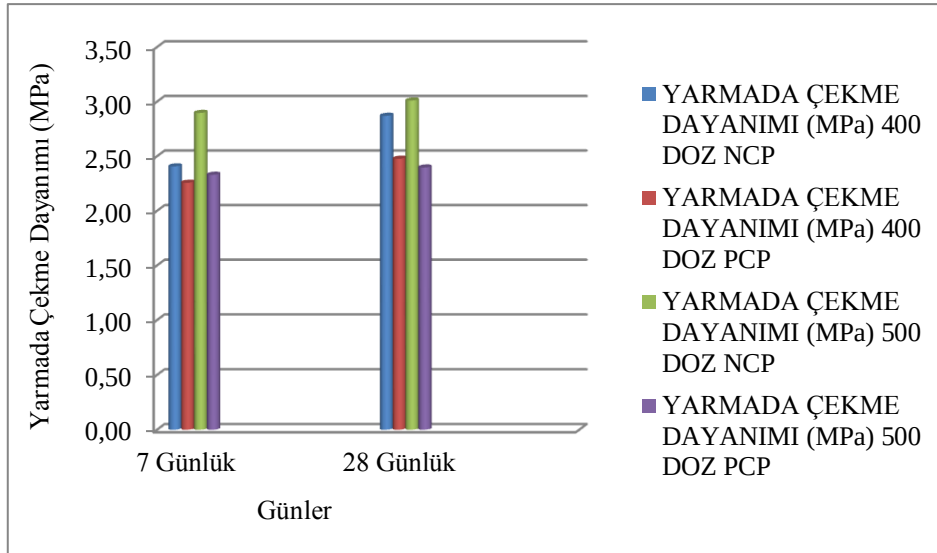
dozajlarda üretmiş olduğu numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirmiştir. Kontrol numunelerinde dozaj artışına bağlı olarak basınç dayanımlarında artış olduğu belirtmiştir. Söz konusu numunelerin basınç dayanımları; 300 dozda 8,5 MPa, 400 dozda 12,3 MPa ve 500 dozda 16,7 MPa olduğu belirtmiştir [4]. Yılmaz (2017), Çalışmada pomza miktarının beton numunelerine etkisini incelemek amacıyla üretmiş olduğu numunelerin 7, 28, 56 günlük basınç dayanımları incelemiştir. İnceleme sonucunda beton numunelerin basınç dayanımlarında pomza miktarının artmasıyla; kalsiyum alüminatlı numunelerde %48, CEM-I 42,5 R çimentolu numunelerde ise %29'a varan azalmalara sebep olduğu belirtmiştir [34]. Öztürk (2012), çeşitli oranlarda hafif agregalarla ve EPS kullanarak üretmiş olduğu numunelere uygulamış olduğu basınç dayanımların en düşük değerin %15 kum ve %85 oranında EPS kullanılan numunelerde, en yüksek değerin ise %15 kum ve %85 oranında pomza kullanılan numunelerde elde ettiğini belirtmiştir [58]. Gökçe ve Can (2009), Üretmiş oldukları hafif beton numuneleri üzerinde yaptığı çalışmada pomza agregasının ilk 10 dakikalık su emme oranın karışım esnasında ilave su olarak eklenildiği numunelerin, kontrol numunesi olarak düşünülen 1 günlük su emme miktarının ilave su olarak eklenildiği numunelerin basınç dayanımlarından %21 arttığını bildirmiştir [59]. Kılıç ve arkadaşları, uçucu kül katkılı betonların 28 günlük basınç dayanımlarının 30 MPa, silis dumanlı katkılı betonların ise 40 MPa olarak elde ederek beton numunelerin iyi sonuçlar vermesi için mineral katkı maddeleri kullanılmasını önermiştir [60].

3.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Üretilen deney numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.9'da ve deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.9. Beton numunelerin yarmada çekme dayanım sonuçları.

Numuneler	Yarmada Çekme Dayanımları (MPa)	
	7 Gün	28 Gün
NCP-400	2,41	2,87
PCP-400	2,26	2,48
NCP-500	2,90	3,01
PCP-500	2,33	2,40



Şekil 3.4. Yarmada çekme dayanım değerlerinde değişim (MPa).

Çizelge 3.9’da verilen yarmada çekme dayanım değerleri incelendiğinde; NCP ve PCP numunelerin 7 günlük yarmada çekme dayanımlarında en yüksek dayanım değeri NCP-500 (2,90 MPa) ve en düşük değerin PCP-400 numunelerinden (2,26 MPa), 28 günlük numunelerde ise en yüksek yarmada çekme dayanımı NCP-500 (3,01 MPa) ve en düşük dayanımı değeri PCP-500 (2,40 MPa) numunelerde elde edilmiştir.

Üretilen hafif beton numunelerin yarmada çekme dayanım değerlerine bakıldığında; NCP numunelerinden 7 ve 28 günlük numunelerde sırasıyla 400 doza göre 500 dozda %20,30 ve %4,90 oranda artarken, PCP numunelerde ise 7 günlük numunelerde %3,10 artış olurken 28 günlüklerde %3,20 oranda azalma görülmüştür. NCP numunelerde çimento dozajı artışına bağlı olarak 7 ve 28 günlük numunelerde artış olduğunu, PCP numunelerinde ise çimento dozaj artışına bağlı olarak 7 günlük numunelerde arttığını 28 günlük numunelerde ise yarmada çekme dayanımında azalma olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç ise agregaların polyester ile kaplanmasıyla dayanım kazandığı ve beton yaşının ilerledikçe çimento hamurun doğal olarak dayanım kazanmıştır. Böylece, kırılmanın zayıf nokta olan polyester ile agrega yüzeyi arasında gerçekleştiği şeklinde açıklanmıştır.

Literatür çalışmaları incelendiğinde, tamamı hafif agrega ile üretilen hafif betonların yarmada çekme dayanımları 2,0–2,2 MPa arasında değişmektedir [61]. Hossain (2004), pomza agregası ile ürettiği hafif betonların üzerinde yapmış olduğu çalışmasında, üretmiş olduğu hafif beton numunelerin yarmada çekme dayanımların 2,2-3,7 MPa

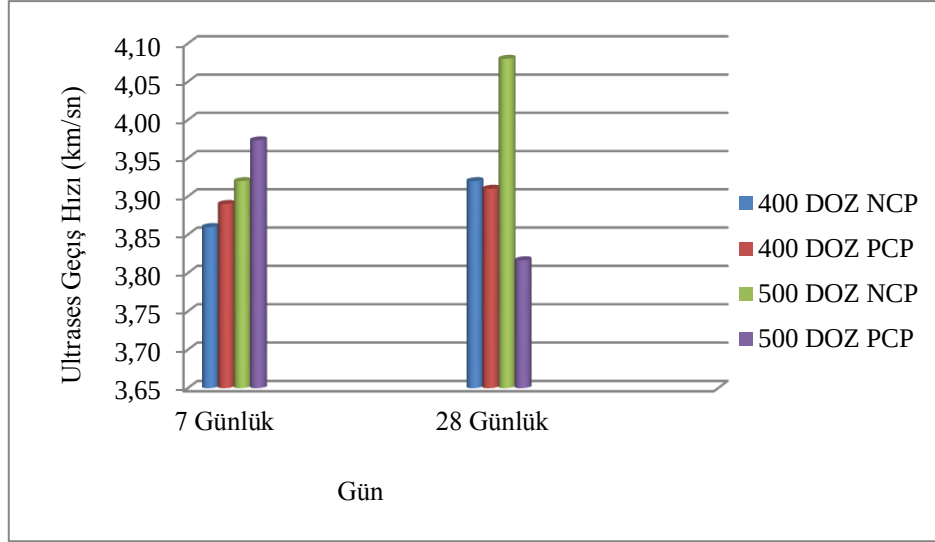
arasında olduğunu bildirmiştir [62]. Bideci (2011), pomza agregasını üç çeşit polimer ile kaplayarak ve üç farklı çimento dozajda ürettiği hafif betonların üzerinde yapmış olduğu çalışmada, üretmiş olduğu hafif beton numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımların 300 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP, %22 ve %67 azalmış, KBP %16 artmıştır. 400 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve PLP numuneleri %11 ve %65 azalmış, KBP %19 artmıştır. 500 doz kontrol numunelerine göre; SNMC ve KBP %36 ve %26 artarken, PLP numuneleri %35 azaldığı bildirmiştir [4]. Sallı Bideci (2013), yapmış olduğu çalışmada, 400 dozlu kaplanmamış, çimento ve çimento + kolemanit kaplanmış pomza agregası kullanarak üretmiş olduğu betonlarda yarmada çekme dayanımları basınç dayanımlarının %5-10'uarasında değiştiğini bildirmiştir [3]. Yapılan çalışmanın literatür ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

3.3.5. Ultrases Geçiş Hızı

Üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları Çizelge 3.10 ve grafiksel gösterimleri ise Şekil 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.10. Beton numunelerinin ultrases geçiş hızları (km/s).

Numuneler	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)	
	7 Gün	28 Gün
NCP-400	3,86	3,92
PCP-400	3,89	3,91
NCP-500	3,92	4,08
PCP-500	3,97	3,82



Şekil 3.5. Beton numunelerin ultrases geçiş hızları (km/s).

Çizelge 3.10’da belirtilen ultrases geçiş hızı 3.86 ile 4.08 kg/m³ değerler arasında değiştiği görülmüştür.

PCP numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri NCP numunelerine göre incelendiğinde, 7 günlük numunelerde 400 dozda %0,80, 500 dozda %1,27 artarken, 28 günlük numunelerde 400 dozda %0,26, 500 dozda 6,37 oranda azalma olduğu tespit edilmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerden en düşük ultrases geçiş hızı, 400 doz NCP numunelerinden (3,86 km/sn), en yüksek ultrases geçiş hızı ise 500 doz NCP numunelerden (4,08 km/sn) elde edilmiştir.

Beton numunelerin 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı değerlerine bakıldığında, beton numunelerin yaşı ilerledikçe ultrases geçiş hızı değeri 400 ve 500 doz NCP numunelerde artış gözlemlenirken, PCP numunelerinde ise 400 dozda artış olup 500 dozda azalma tespit edilmiştir.

Neville (1990), ses geçiş hızı 4.5 km/s değerinden daha büyük olan betonlar mükemmel, 3,5-4,5 km/s arasında olan betonlar iyi, 3.0-3.5 km/s arasında olanlar şüpheli, 2,0-3,0 km/s arasında olan betonların kötü ve 2,0 km/s değerinden düşük olanlar ise çok kötü kalitededir [62]. Deney sonuçları incelendiğinde numunelerin ultrases geçiş hızları 3,86 km/s ile 4,08 km/s arasında değiştiğini görülmüştür. Üretilen tüm numunelerin “iyi” beton sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Yaltay (2015), kolemanit katkılı çimento ve pomza agregası ile ürettiği hafif betonların üzerinde yapmış olduğu çalışmada, üretmiş olduğu hafif beton numunelerin ultrases geçiş hızı, 28 ve 56 günlük numunelerin basınç dayanımlarının birbirine yakın ve paralel şekilde değiştiği ve %0,4 ve %0,6 oranlarında küçük artışlar gözlemlendiğini belirtmiştir [63]. Gökçe ve Can (2009), Isparta Gölcük yöresinin pomza agregasını kullanarak üretmiş olduğu hafif beton numuneleri üretmiştir. Deney sonucunda pomza agregasının ilk 10 dakikalık su emme miktarının karışım esnasında ilave su olarak eklenildiği numunelerin, kontrol numunesi olarak düşünülen numunelerin ultrases geçiş hızlarından %4 fazla olduğu bildirmiştir [59]. Kaldı (2011), Normal beton yapısındaki boşlukların azalması ile orantılı olarak basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızının arttığını, taşıyıcı hafif betonlarda ise pomza miktarındaki değişim ultrases geçiş hızının değişiminde etkili olduğunu bildirmiştir [53].

3.3.6. Hızlandırılmış Sülfat Deneyi

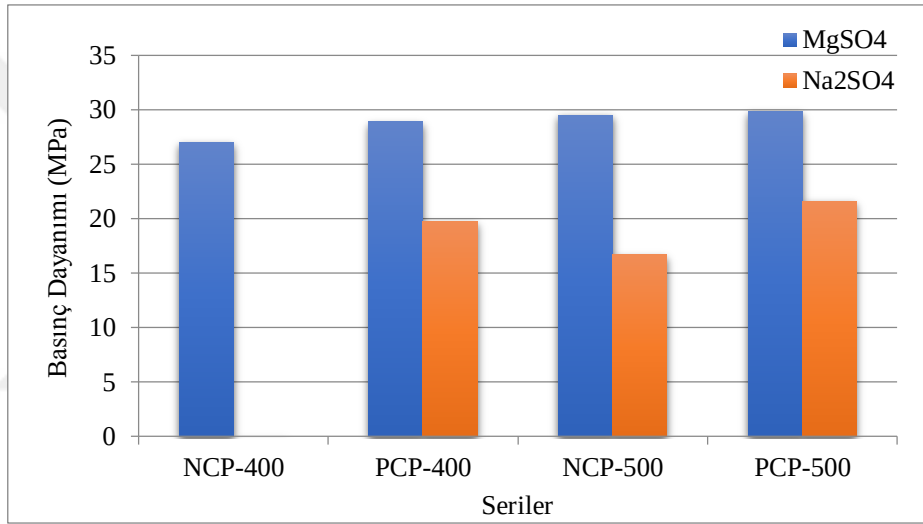
Hafif beton numunelerin üzerinde gerçekleştirilen hızlandırılmış sülfat deneyinin 5, 10,15 ve 20. çevrim sonucunda yüzdelik kütle kaybının $MgSO_4$ için Çizelge 3.11’de Na_2SO_4 için ise Çizelge 3.12’de verilmiştir. 20. Çevrim sonrasında deney sonlandırılarak numunelerin basınç dayanım testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen basınç dayanım değerleri Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.11. $MgSO_4$ çözeltisindeki numunelerin kütle kaybı (%).

Numune	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)
	5.Çevrim Sonrası	10.Çevrim Sonrası	15.Çevrim Sonrası	20.Çevrim Sonrası
NCP-400	1,34	2,31	2,82	--
PCP-400	--	--	-	-
NCP-500	--	--	-	-
PCP-500	--	--	--	-

Çizelge 3.12. Na₂SO₄ çözeltisindeki numunelerin kütle kaybı (%).

Numune	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)	Kütle Kaybı (%)
	5.Çevrim Sonrası	10.Çevrim Sonrası	15.Çevrim Sonrası	20.Çevrim Sonrası
NCP-400	2,34	3,53	37,82	38,20
PCP-400	2,07	2,80	3,51	3,69
NCP-500	2,20	3,20	3,77	4,33
PCP-500	1,66	2,51	2,97	3,12

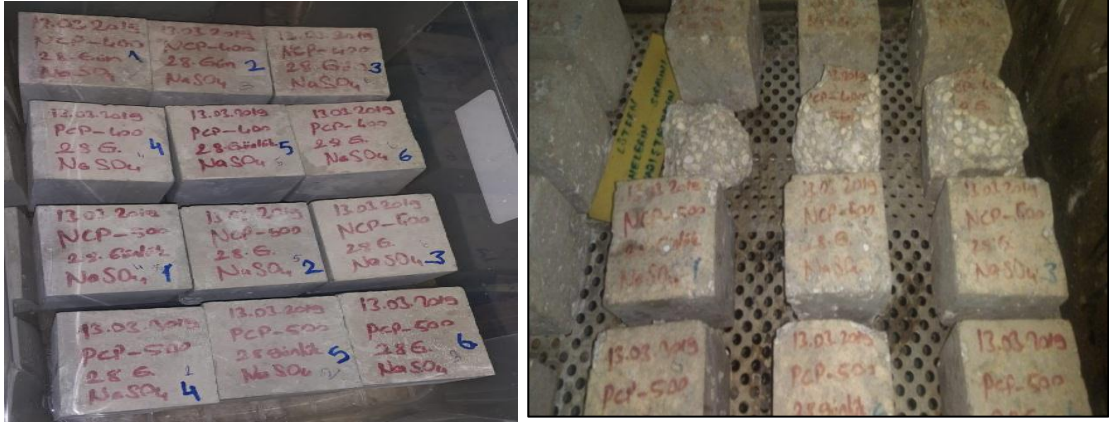


Şekil 3.6. 20. Çevrim sonrası MgSO₄ ve Na₂SO₄ içerisindeki basınç dayanımı.

Sülfat betonun içerine nüfus ettiğinde, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girmektedir. Bu reaksiyon sonucunda betonun zamanla bozulmasına neden olmaktadır. Sülfat saldırısı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki kalsiyumlu ve alüminyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi neticesinde, içyapı da iğnemsî yapı ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşmekte ve içyapıda genleşmeye sebep olarak betonda çatlaklara, dağılmalara ve kütle kayıplarına sebep olmaktadır. Çizelge 3.11 ve 3.12 incelendiğinde, PCP numunelerde kütle kaybının NCP numunelere göre daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Beton numunelerin karakteristik görünüşleri sülfat saldırısı sonrasında, önce özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm alana yayılan beyaz lekeler şeklinde ve daha sonra

çatlaklar ve dökülmeler meydana getirmektedir. Sülfat saldırısına uğrayan numunenin deney öncesi ve deney sonrasındaki genel görünümü Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Numunelerin sülfat deney öncesi ve sonrası görünümü.

Beton üzerindeki sülfat çözeltisinin etkisi uzun süre sonra ortaya çıktığı bilinmektedir. Çizelge 3.11 değerlendirildiğinde, $MgSO_4$ çözeltisindeki numunelerin kütle sadece NCP numunelerinde küçük oranda kütle kaybı olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.12 incelendiğinde, Na_2SO_4 çözeltisindeki numunelerin kütle kaybı genel olarak küçük oranlarda görüldüğü, NCP numunelerin tüm serilerde PCP numunelerine göre daha fazla kütle kaybı olduğu görülmüştür.

Şekil 3.6’da verilen beton basınç dayanımı incelendiğinde; Na_2SO_4 çözeltisindeki numunelerinin basınç dayanımları $MgSO_4$ çözeltisindeki numunelerine göre daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir.

Esmailzadeh (2013), çalışmasında %15 ve %30 silis dumanı, %15 ve %30 uçucu kül ilaveli dört farklı seride hafif beton numuneleri üretmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla mineral katkı içermeyen karışımlar (Kontrol numuneler) da üretmiştir. Üretilen beton numuneleri sırasıyla %5 ve %10 sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisinde ve standart kür havuzunda kirece doymun suda bekletmiştir. Çalışma sonucunda mineral katkıların betonun sülfat ortamında performansını artırdığını bildirmiştir [64].

Hızlandırılmış sülfat etkisine maruz bırakılan numunelerin genel itibarı ile NCP numunelerine göre PCP numunelerde tahribatın daha az olması ve basınç dayanımının daha yüksek olması agreganın polyester kaplanmasıyla betonun sülfat ortamında performansını artırdığını bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; 400 ve 500 dozlu kaplanmamış (NCP) ve polyester ile kaplanmış (PCP) pomza agregaları kullanılarak üretilen hafif betonlar üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Agrega deney sonuçları;

- Kullanılan agregada yapılan tane büyüklüğü dağılımının TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun olduğu belirlenmiştir.
- Kaplanmamış agregalara göre, 4-8 ve 8-16 mm göz açıklığına sahip agregaların özgül ağırlık değerlerinin, polyester kaplaması ile arttığı ve literatürde belirtilen minimum agrega özgül ağırlık değerinin ($2,1 \text{ g/cm}^3$) altında kaldığı belirlenmiştir.
- Kaplanmamış 4-8 mm ve 8-16 mm göz açıklığına sahip pomza agregasının gevşek birim ağırlık deney sonuçları literatürde belirtilen $480\text{--}880 \text{ kg/m}^3$ değerleri arasında olmadığını, pomzanın polyester kaplanmasıyla gevşek birim ağırlığının arttığını ve böylece literatürde belirtilen aralıkta kaldığı belirlenmiştir.
- Agregaların polyester kaplanmasıyla su emme oranları, 4–8 mm göz açıklığına sahip agregalarda kontrol agregalarına göre %94 ve 8–16 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise %92 oranında azalmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış agregaların su emme oranı literatürde arzu edilen 24 saatlik su emme yüzdeleri ile karşılaştırıldığında, ince agregalarda istenilen %20'yi ve iri agregalarda istenilen %30'u geçmediği görülmüştür.

Taze beton deney sonuçları;

- Beton numunelerin çökme değerinin 51-80 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Üretilen taze betonların birim ağırlıkları $1847\text{--}1965 \text{ kg/m}^3$ aralığında olduğu görülmüştür. Taze betonların birim ağırlıkları karşılaştırıldığında, NCP numunelerinde, 500 doz numunelerin 400 doz numunelere göre birim ağırlıklarının %2,2 oranda arttığı, PCP numunelerde ise 500 doz numunelerin 400 doz numunelere göre birim ağırlıkları %2,3 oranda attığını, böylece betonun birim ağırlıkları, çimento miktarı ile doğru orantılı olduğu belirlenmiştir.

Sertleşmiş beton deneyleri;

- PCP ve NCP beton numunelerin birim ağırlık değerleri 1707-1840 kg/m³ arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen üst sınırı (2000 kg/m³) geçmediği görülmüştür.
- Beton numunelerin su emme oranları incelendiğinde; en yüksek su emme oranı NCP-400 (%9,52), en düşük su emme oranı PCP-500 (%6,64) numunelerde elde edilmiştir. PCP numunelerin NCP numunelere göre su emme oranının 400 doz da %11,34, 500 doz da ise %7,26 azaldığı görülmüştür. Agregaların kaplanmasıyla hafif beton numunelerin su emme oranları azaldığı tespit edilmiştir.
- Agreganın etrafını kaplayan polyesterin agrega ile aderansının düşük olması nedeniyle kırılmanın polyester ile agrega yüzeyi arasında gerçekleşmesine neden olup, beton numunelerin basınç dayanımlarında azalmalara sebep olduğu gözlenmiştir.
- TS EN 206-1'e göre, 28 günlük beton numunelerinin NCP-400 LC 25/28, NCP-500 LC 30/33 ve PCP-400 ve PCP-500 ise LC 30/33 dayanım sınıfında olduğu belirlenmiştir.
- Üretilen hafif beton numunelerin yarmada çekme dayanım değerleri incelendiğinde, NCP numunelerde 7 ve 28 günlük numunelerde sırasıyla 400 doza göre 500 dozda %20,3 ve %4,9 oranda artarken, PCP numunelerde ise 7 günlük numunelerde %3,10 artış olurken 7 günlüklerde %3,23 oranda azalma görülmüştür.
- Deney sonuçları incelendiğinde numunelerin ultrases geçiş hızları 3,86 km/s ile 4,08 km/s arasında değişiklik gösterdiği ve üretilen tüm numunelerin "iyi" beton sınıfına girdiği tespit edilmiştir.
- Beton numunelerin karakteristik görünüşleri sülfat saldırısı sonrasında, önce özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm alana yayılan beyaz lekeler şeklinde ve daha sonra çatlaklar ve dökülmeler meydana getirdiği, sonuç olarak agreganın polyester kaplanmasıyla betonun sülfat ortamında performansını artırdığı, araştırma sonucunda tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda; pomza agregasına polyester kaplanarak, su emmeleri azaltılmış, yeni bir agrega ve yüksek taşıyıcı özel hafif beton üretilbileceği gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, beton numunelerin ısı yalıtımı, klor geçirgenliği, yangın ve betonda kullanılan kimyasal katkı maddeleriyle etkileşimleri incelenebilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Ş. G. Özkan ve G. Tuncer, “Pomza madenciliğine genel bir bakış,” *4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2001, ss. 200-207.
- [2] B. Varol, “Pomza sektör raporu,” T.C. Ahiler Kalkınma Ajansı Nevşehir Yatırım Ofisi, Türkiye, 2015.
- [3] Ö. Sallı Bideci, “Bor katkılı hafif agregalı betonların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin araştırılması,” Doktora tezi, Mimarlık Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2013.
- [4] A. Bideci, “Polimer kaplı pomza agregalarla elde edilen betonların özelliklerinin araştırılması,” Doktora tezi, Mimarlık Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye 2011.
- [5] M. Çağlayan, A. Kahriman, “Alternatif beton agregası olarak pomza ve kent mobilyalarında kullanılabilirliği,” *III Ulusal Kırma Taş Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2003, ss. 285-291.
- [6] A.S. Soğancı, “Nevşehir bölgesinde bulunan pomzaların taşıma gücü ve oturma özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2011.
- [7] H. Ceylan, “Farklı pomza agrega türlerinden elde edilen hafif betonun sıcaklık etkisindeki karakteristiği,” Doktora Tezi, Maden Mühendisliği ve Madencilik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2005.
- [8] Anonim, (2019, 20 Şubat). *Pomza araştırma ve uygulama merkezi* [Online]. Erişim: <https://pomzamer.sdu.edu.tr/>.
- [9] G. Ulusoy, “Pomzanın izole monolitik malzeme imalinde kullanılması,” *MTA Dergisi*, s. 129, ss. 89-96, 2004.
- [10] Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, “Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III (Pomza-Perlit-Vermikülit Flogopit Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu,” Türkiye, Rap. DPT: 2617, 2001.
- [11] L. Gündüz, İnşaat Sektöründe Bimsblok, Isparta, Türkiye: Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, 2005.
- [12] Anonim, (2019, 20 Haziran). *Agropomza* [Online]. Erişim: http://www.agropomza.com.tr/uploads/urunler/buyuk/agropomza_620875.jpg.
- [13] Anonim, (2019, 20 Haziran). *Pomza* [Online]. Erişim: <http://www.yetkilisinden.com/details.php?id=20093>
- [14] N. Elmastaş, “Türkiye ekonomisi için önemi giderek artan bir maden: Pomza (sünger taşı),” *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 5, s. 23, ss. 197-206, 2012.

- [15]. Anonim, (2017, 2 Nisan). *Perlit* [Online]. Erişim: <http://www.uzayperlite.com/ponza.html>
- [16] Anonim, (2017, 5 Haziran). *Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi* [Online]. Erişim: <https://pomzamer.sdu.edu.tr/tr/yapi-dunyasi/pomza-dunyasi-1107s.html>.
- [17] L. Gündüz, “Pomza Teknolojisi, Pomza Karakterizasyonu,” Isparta, Türkiye, 1998.
- [18] Ahiler Kalkınma Ajansı, “Pomza Araştırmaları ve Uygulama Merkezi Fizibilite Raporu,” Türkiye, 2015.
- [19] O. Akarsu, “Endüstriyel minerallerin pazarlama ve ekonomisi,” Diploma projesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 1999.
- [20] Anon., Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri, “S.: 3-50, DPT Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu,” Türkiye, 1996.
- [21] W. P. Bolen, “Pumice and pumicite,” *U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook-1999*, Virginia, USA, 2000, pp. 60.1 - 60.2,
- [22] L. Gündüz, A. Rota, A. Hüseyin, “Türkiye ve dünyadaki pomza oluşumlarının malzeme karakteristiği analizi,” *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2001, ss. 175-188.
- [23] C. Özel, “Katkılı betonların reolojik özelliklerinin taze beton deney yöntemlerine göre belirlenmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2007.
- [24] B. Postacıoğlu ve M. A. Taşdemir, “*Depreme dayanıklı yapılarda doğal hafif agregalı betonlardan yararlanılması*,” Yapı Endüstri Merkezi “Deprem” Semineri, 1986.
- [25] O. Ünal, E. Demir, ve T. Uygunoğlu, “Pomza ve diyatomitin hafif blok eleman üretiminde kullanılmasının araştırılması,” *III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 2003.
- [26] İ.B. Topçu, “Hafif beton özelliklerinin kompozit malzeme olarak incelenmesi,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1988.
- [27] T. Dikici, “Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.
- [28] S. Akkurt, *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayıncılık, 2007.
- [29] Anonim, (2019, 7 Şubat). *Polimer kimya kısacası* [Online]. Erişim: <https://tr.redsearch.org/images/6120547>
- [30] S. Yaşlak, *Organik Sanayi Kimya*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Dahi Yayıncılık, 2008.

- [31] L.H. Van Vlack, *Elements of Material Science and Engineering*, Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- [32] O. Soykan, “Polyester esaslı taneli kompozitlerin (mermerit) bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine bileşenlerinin etkisi,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2012.
- [33] B. Baradan, H. Yazıcı, ve S. Aydın, *Beton*, İzmir, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012.
- [34] H. Yılmaz, “Çimento türü ve pomza agregasının beton karakteristiklerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [35] Blokbims, “Pomza analiz raporu,” Blokbims Madencilik Hafif Yapı Elemanları, Nevşehir, Türkiye, 2017.
- [36] Çimsa, “Kırma taş, doğal kum ve çimento analiz raporu,” Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye, 2017.
- [37] Anonim, (2019, 7 Mayıs). *Polipol 3455 teknik bilgi formu* [Online]. Erişim: <https://app.tdsmaker.com/tr/pdf/view/5bf7a4f3383c695d658d345b/tr>.
- [38] *Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 2511, 2017.
- [39] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, tane büyüklüğü dağılımı tayini- eleme yöntemi*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 933–1, 2015.
- [40] *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler, gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-3, 1999.
- [41] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097–6, 2015.
- [42] *Beton –taze beton deneyleri: Çökme (Slump)Deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12350–2, 2010.
- [43] *Beton, özellik, performans, imalat ve uygunluk*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 206-1, 2002.
- [44] Anonim, (2019, 1 Temmuz). *Beton kıvam ve yoğunluk deneyleri* [Online]. Erişim: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRrqbBUEOwKXuOFWT-X-CQYIPAJEzENVNVX3dKumFRjkPuz0NoQ>.
- [45] *Beton, Taze beton deneyleri, yoğunluk*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12350–6, 2010.
- [46] *Beton, Sertleşmiş beton deneyleri, sertleşmiş beton yoğunluğu tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-7, 2010.
- [47] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1097–6, 2013.

- [48] *Beton, Sertleşmiş beton deneyleri, deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-3, 2010.
- [49] *Beton, Sertleşmiş beton deneyleri, deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-6, 2010.
- [50] *Test method for pulse velocity through concrete, annual book of ASTM standarts*, ASTM C 597, 2002.
- [51] B. Postacıoğlu, *Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri-İç Yapı ve Mekanik Özellikler*, 1.baskı, İstanbul, Türkiye: İTÜ Matbaası, 1981.
- [52] T.Y. Erdoğan, *Beton*, Ankara, Türkiye: ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., 2003, ss. 478-512.
- [53] C. Kaldı, “Taşıyıcı hafif beton tasarımı ve çok katlı binalarda kullanımı,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2011.
- [54] *Beton agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 706 EN 12620+A1, 2009.
- [55] S. Chandra, and L. Berntsson, “lightweight aggregate concrete,” *Science, Technology and Application*, USA., 2003, pp.193.
- [56] S. Yanık, “Bazik pomzaların beton agregası olarak kullanılabilirliği,” Yüksek lisans tezi, Jeoloji Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [57] A. H. Akçakale, “Bazaltik pomza ve bims agregalı hafif betonun bazı dayanıklılık karakteristiklerinin araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2010.
- [58] M. Öztürk, “Pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2012.
- [59] H.S. Gökçe ve Ö. Can, “Pomza agregasının farklı zamanlardaki su emmelerinin hafif betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi,” *Politeknik Dergisi*, c.12, sayı 4, ss. 293-298, 2009.
- [60] A. Kılıç, C.D. Atış, E. Yaşar ve F. Özcan, “High strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixture,” *Cement and Concrete Research*, c. 33, s. 10, ss. 1595-1599, 2003.
- [61] *Spesification for lightweight aggregates for structural concrete, annual book of ASTM standarts*, ASTM C 330, 2002.
- [62] K.M.A. Hossain, “Properties of volcanic pumice based cement and lightweigth concrete,” *Cement and Concrete Research*, c.34, ss.283-291, 2004.
- [63] N. Yaltay, “Kolemanit katkılı çimento ile üretilen pomza agregalı hafif betonun fiziksel özelliklerinin araştırılması,” Doktora tezi, Yapı Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2003.

[64] A. Esmailzadeh, “Mineral katkılı hafif betonlarda sülfat etkisi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2013.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İzzet ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.02.1992 Erciş
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : celik-yapi@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İnşaat Müh.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2014
Lise	Düz Lise	Tire Ş.A.İ.K. Lisesi	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2014-2015	Ufuk Mühendislik	Şantiye Şefi
2016-2018	Feza Yapı Mühendislik	Saha Sorumlusu
2018- 2019	Mizan Yapı Mühendislik	Saha Sorumlusu