

**T.C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POMZA KATKILI NORMAL VE HAFİF BETONLARIN KİMYASAL**  
**DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ**

**TAHA SALAH WAHHAB AL ANTAKI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Dr.Öğr. Üyesi ANIL NİŞ**

**İSTANBUL, 2020**

**TAHA SALAH WAHHAB AL ANTAKI** tarafından hazırlanan “**POMZA KATKILI NORMAL VE HAFİF BETONLARIN KİMYASAL DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Anıl Niş**

İnşaat Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

**Başkan : Doç. Dr. Savaş EREDEM**

İnşaat Mühendisliği, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yücel ÜRÜŞAN**

İnşaat Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: ...../...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. İzzet Gümüş

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu Tez sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

TAHA SALAH WAHHAB AL ANTAKI

...../...../2020

POMZA KATKILI NORMAL VE HAFİF BETONLARIN KİMYASAL  
DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

TAHA SALAH WAHHAB AL ANTAKI

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Aralık 2020

ÖZET

Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemelerin arasında beton gelmektedir. Betonun ülkemizde üretilmesi, ucuz olması, yangına karşı dayanıklı olması ve istenilen şekli rahatlıkla alabilmesi betonu vazgeçilemez bir yapı malzemesi yapmaktadır. Fakat günümüzde özellikle betonda kullanılan agregaların temininde sıkıntıların çıkması, mevcut agrega ocaklarının kapanması, betonda agrega olarak pomza kullanımını teşvik etmektedir. Yapılan bu çalışmada, betonda iri agrega yerine %50 ve %100 oranlarında pomza kullanımının betonun basınç dayanımına olan etkisi ve kimyasal durabilite performansları araştırılacaktır. Son zamanlarda beton üretiminde kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve F-tipi uçucu kül gibi malzemelerle farklı tipte betonlar üretilerek mineral katkılı betonlarda pomza kullanımının dayanım ve durabiliteye olan etkisi de incelenecektir. Çalışmada; normal beton (mineral katkısız), cüruf katkılı, uçucu kül katkılı ve ucucu kül+cüruf katkılı betonlar kullanılarak üretilen betonların 28., 120., ve 150. günlerde su ortamında kürlenmesi sonucu basınç dayanımlarının zamanla değişimi incelenmiştir. Ayrıca üretilen betonların %5 sülfürik asit etkisinde durabilite performansları incelenerek numuneler üzerinde görsel inceleme, ağırlık değişimi ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, pomzalı ile pomzasız betonlar benzer sülfürik asit performansları göstermiştir. Sülfürik asite karşı en iyi durabilite performansını uçucu kül+cüruf içeren betonlar göstermiştir. Pomzasız ve %50 pomzalı betonlarda en yüksek dayanım normal betonlarda, %100 pomza içeren numunelerde

ise en yüksek basınç dayanımı uçucu külle üretilen betonlarda elde edilmiştir. Yapılarda kullanım için iri agrega yerine %50 pomza kullanılması tavsiye edilmiştir.



Anahtar Kelimeler : Pomza, Hafif Beton, F-tipi uçucu kül, Sülfürik Asit, Yüksek Fırın Cürufu

Sayfa Adedi : 85

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Anıl NİŞ

ANALYSIS OF THE CHEMICAL STABILITY OF NORMAL AND LIGHTWEIGHT  
CONCRETES THAT PRODUCED WITH PUMICE AGGREGATE

(M.Sc. Thesis)

TAHA SALAH WAHHAB AL ANTAKI

GELİŞİM UNIVERSITY  
GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

December 2020

ABSTRACT

The most common structure available today is concrete. The production of concrete in our country, being cheap, resistant to fire and taking the desired shape easily makes concrete an indispensable building material. But today, problems occur especially in the supply of aggregates used in concrete, closure of existing aggregate quarries, and the use of pumice as aggregate in concrete encourages. In this study, the effect of using 50% and 100% pumice instead of coarse aggregate on the compressive strength and chemical durability performance of concrete will be investigated. Different types of concretes will be produced with materials such as ground blast furnace slag and F-type fly ash recently used in concrete production, and the effect of pumice use on strength and durability in mineral-added concretes will also be examined. In this Study; The change in compressive strength over time was investigated as a result of curing in water environment on the 28th, 120th and 150th days of the concrete produced by using normal concrete (without mineral additive), slag added, fly ash added, and fly ash + slag added concretes. In addition, the durability performances of the concrete produced under the effect of 5% sulfuric acid were examined and visual inspection, weight change and compressive strength tests were performed on the samples. According to the results, pumice and non-pumice concretes showed similar sulfuric acid performances. Concretes containing fly ash + slag showed the best durability performance against sulfuric acid. The highest strength in concretes without pumice and with 50% pumice was obtained in normal concretes (without mineral additive), and in concretes containing 100% pumice, the highest compressive strength

was obtained in concretes produced with fly ash. It is recommended to use 50% pumice instead of coarse aggregate for use in buildings.



Key Words : Pumice, Lightweight Concrete, F-type fly ash, Sulfuric Acid, Blast Furnace Slag

Page Number : 85

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Anıl NİŞ

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her sayfasında değerli yardım ve ilgisini esirgemeyen, bilimsel araştırma projesi kapsamında yürütülmesini sağlayan, yönlendirici ve bilgilendirici desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Anıl NIŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan bölümün başkanı: Prof.Dr. Mustafa Kardeşahin, Dr.Öğr.Üyesi Mukhallad Mohammed, Dr.Öğr.Üyesi Ahmet Ürüşan ve inşaat bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mahmood Hashim'e Murtadha Jabbar'a Alhussein Jawad'a Murtadha Kazım'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim





## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. HAFİF BETON.....	3
2.1 Hafif Beton Tanımı .....	3
2.2 Hafif Agrega Kullanımı .....	3
2.3 Hafif Beton Avantaj ve Dezavantajları:.....	4
2.3.1 Hafif beton avantajları:.....	4
2.3.2 Hafif beton dezavantajları .....	4
2.4 Hafif Betonlarda Sınıflandırma.....	5
2.4.1. Basınç Mukavemetlerine Göre Sınıflandırma.....	5
2.4.2 Yoğunluklara Göre Hafif Betonların Sınıflandırılması.....	6
2.5 Portland çimentosu (CEM I 42.5 R) .....	7
2.6 Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu.....	7
2.6.1 Öğütülmüş Granüle Yüksek fırın cürufu genel kimyasal analizi.....	7
2.6.2 Betonlarda yüksek fırın cürufu kullanılması .....	8
2.7 UÇUCU KÜL .....	8
2.7.1 Uçucu kül sınıfları.....	9
2.7.2 Uçucu külün özellikleri .....	10
2.8. Pomza.....	17
2.8.1. Pomza Tanımı .....	17
2.8.2 Pomza Kullanım Alanları.....	20
2.8.3 Pomza agregasının kullanımı ile ilgili çalışmalar .....	21
2.8.4 Pomza agreganın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri .....	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
3.1 Giriş.....	25
3.2 Pomza katkılı hafif agregalı betonların Malzemeleri ve Özellikleri.....	25
3.2.1 Çimento .....	25

3.2.2 Pomza .....	26
3.2.3 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu .....	27
3.2.4 Uçucu Kül .....	28
3.2.5 Süperakışkanlaştırıcı .....	29
3.2.6 Agregalar .....	30
3.3 Deneysel Çalışma.....	31
3.3.1 Beton Dökümü Hazırlıkları .....	31
3.3.2 Pomzalı-Pomzasız beton karışım miktarları .....	32
3.3.3 Beton döküm aşaması.....	34
3.3.4 Numune ağırlıklarının değişimi .....	37
3.3.5 Basınç dayanımı testi .....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	38
4.1 Görsel İnceleme .....	38
4.2 Ağırlık değişimi .....	47
4.3 Basınç dayanımı .....	51
5. SONUÇLAR .....	65
KAYNAKLAR .....	67

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1 Hafif betonların TS EN 206 standardına göre basınç dayanım sınıfları.....	6
Çizelge 2. 2 Hafif betonların yoğunluklarına göre TS EN 206 standardına göre sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2. 3 Yüksek fırın cürufu kimyasal analizi .....	8
Çizelge 2. 4 Türkiye’de üretilen uçucu küllün mineralojik kompozisyonu .....	10
Çizelge 2. 5 Uçucu Küllerin Yaklaşık Kimyasal Bileşiklerinin Yüzdesi .....	12
Çizelge 2. 6 Uçucu küllü çimentoların sınır değerleri.....	15
Çizelge 2. 7 Pomza kullanılma alanları.....	20
Çizelge 3. 1 Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi (%).....	25
Çizelge 3. 2 Pomza agregasının kimyasal bileşimi .....	26
Çizelge 3. 3 Pomza agregasının fiziksel özellikleri .....	27
Çizelge 3. 4 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	28
Çizelge 3. 5 Uçucu küllün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	29
Çizelge 3. 6 Kimyasal katkının özellikleri .....	29
Çizelge 3. 7 Normal betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m <sup>3</sup> ).....	32
Çizelge 3. 8 Cürufllu betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m <sup>3</sup> ) .....	33
Çizelge 3. 9 Uçucu küllü betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m <sup>3</sup> ).....	33
Çizelge 3. 10 Uçucu küllü ve cürufllu betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m <sup>3</sup> ).....	34
Çizelge 4. 1 %50 ve %100 pomzalı betonların pomzasız betonlara göre basınç dayanımı (%).....	61
Çizelge 4. 2 Numunelerin 120. ve 150.günlerde asit ortamı/su ortamı basınç dayanımı oranı (%).....	62

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1 Çimentodaki uçucu kül miktarı- hidrasyon ısısı değişimi.....	16
Şekil 2. 2 Volkanik malzeme potansiyeli bakımından önemli bölgeler.....	18
Şekil 2. 3 Ülkemizde volkan ve volkanik bölgelerin isimlendirilmeleri.....	19
Şekil 2. 4 İllerimizdeki Pomza Rezervleri Dağılımı .....	19
Şekil 2. 5 Bazik pomzanın görünümü .....	24
Şekil 2. 6 Asidik pomzanın görünümü .....	24
Şekil 3. 1 Kullanılan pomza agregası.....	26
Şekil 3. 2 Öğütülmüş yüksek fırın cürufu .....	27
Şekil 3. 3 Çalışmada kullanılan F tipi uçucu kül .....	28
Şekil 3. 4 Çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı .....	29
Şekil 3. 5 Çalışmada kullanılan agregalar .....	30
Şekil 3. 6 Deneyde kullanılan kalıplar ve uygulaması .....	31
Şekil 3. 7 Pomzalı betonların üretilmesi ve kürlenmesi.....	36
Şekil 3. 8 Basınç dayanım testleri .....	37
Şekil 4. 1 120. günde sülfürik asit ortamında bekletilen ve su ortamında kürlenmiş numuneler.....	42
Şekil 4. 2 Numunelerin 120. ve 150.günlerde asit ortamı/su ortamı basınç dayanımı oranı (%).....	46
Şekil 4. 3 Katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları .....	47
Şekil 4. 4 Uçucu kül katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları.....	48
Şekil 4. 5 Cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları.....	49
Şekil 4. 6 Uçucu kül ve cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları .....	50
Şekil 4. 7 Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 28 günlük basınç dayanımı sonuçları .....	52
Şekil 4. 8 Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 120 günlük basınç dayanımı sonuçları .....	53
Şekil 4. 9 Sülfürik asite maruz kalan farklı betonların 120. gündeki basınç dayanımı sonuçları .....	54

Şekil 4. 10 Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 150 günlük basınç dayanımı sonuçları .....	55
Şekil 4. 11 Sülfürik asite maruz farklı betonların 150. gündeki basınç dayanımı sonuçları....	56
Şekil 4. 12 Katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımları ...	57
Şekil 4. 13 Uçucu kül katkıli betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları .....	58
Şekil 4. 14 Cüruf katkıli betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları .....	59
Şekil 4. 15 Uçucu kül ve cüruf katkıli betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları .....	60
Şekil 4. 16 Pomzasız betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları .....	62
Şekil 4. 17 %50 pomza katkıli betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları .....	63
Şekil 4. 18 %100 pomza katkıli betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları ...	63



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda belirtilmiştir.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
°C	Santigrad
MPa	Megapaskal
mm	Milimetre
gr	Gram
NaOH	Sodyum Hidroksit
KOH	Potasyum Hidroksit
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Sodyum Silikat
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CaO	Kalsiyum oksit(Sönmemiş Kireç)
SO <sub>3</sub>	Kükürt trioksit
K <sub>2</sub> O	Potasyumoksit
Cl	Klor
S	Kükürt
TiO <sub>2</sub>	Titanyumdioksit
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Manganik oksit
SiO <sub>2</sub>	Silisyum Dioksit
Na <sub>2</sub> O	Sodyum Oksit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alüminyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir (II) Oksit

<b>Ca</b>	Kalsiyum
<b>Si</b>	Silisyum
<b>Si-Al</b>	Silisyum-Alüminyum
<b>Ca(OH)2</b>	Kalsiyum Hidroksit
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	gram/santimetreküp
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	kilogram/metreküp
<b>kg</b>	kilogram

**Kısaltmalar****OPC****S****FA****ACI****TS EN****Açıklamalar**

Normal Portland Çimento

Yüksek Fırın Cürufu

Uçucu Kül

American Concrete Institute

Türk Standardları Enstitüsü

## 1. GİRİŞ

Hafif beton, normal beton üretiminde kullanılan agregaların yerine hafif agrega kullanılarak elde edilir. Hafif betonların birim hacim ağırlıkları geleneksel betonların birim hacim ağırlıklarından daha azdır. Taşıyıcı sistem ağırlıklarının azalmasından ötürü hafif betonların taşıyıcı sistem olarak kullanımı günümüzde özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemiz için oldukça önemlidir. Hafif beton kullanımı binalardaki ağırlıkları azaltarak taşıyıcı sistemlere daha az deprem yükü gelmesini sağlamaktadır. Bu sebepten özellikle deprem bölgelerinde ileriki yıllarda hafif betonlarla üretilen kolon, kiriş ve döşeme elemanlarının nispeten hafiflemesi ve daha az betonarme donatı gerektirmesiyle hem inşaat maliyetini azaltmada hem de depreme dayanıklı bina tasarımı açısından hayati önem arz etmektedir.

Hafif betonların taşıyıcı beton olarak kullanılmasında genellikle betonlardan beklenen iki önemli parametre bulunmaktadır. Birincisi yeterli basınç dayanımına sahip olması diğeri de kimyasal etkilere karşı dayanıklılık göstermesidir. Hafif betonların taşıyıcı sistem elemanı olarak kullanılması genelde bu iki önemli özelliğin beraber sağlanmasıyla mümkün olabilecektir. Bu sebeple üretilen hafif betonlardan beklenmesi gereken özellikler; mümkün mertebe hafif beton üretimi, yüksek basınç dayanımı ve yüksek kimyasal durabilitedir. Nispeten yüksek basınç dayanımı, düşük su/çimento oranı ve yüksek çimento içeriği ile mümkün olmaktadır. Ayrıca günümüzde belirli kimyasal katkıların kullanımı da betonların basınç dayanımını belirli ölçülerde iyileştirmektedir. Hafif beton üretimi ise, geleneksel betonda kullanılan agregaların hafif agregalarla yer değiştirmesiyle mümkün olmaktadır. Günümüzdeki hafif agregalar, doğal ve yapay agregalar olarak kullanılmaktadır. İleriki bölümlerde betonda kullanılan hafif agregaların çeşitleri ve özelliklerinden detaylıca bahsedilecektir. Bu hafif agregaların betonlarında kullanılma yüzdelerine bağlı olarak betonların ağırlıkları azalmaktadır. Fakat beton ağırlıklarını azaltmak için kullanılan hafif agregalar üretilen betonların boşluklu olmasına neden olmaktadır. Bu da hafif betonlardan beklenen en önemli parametrelerden biri olan basınç dayanımının azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple genelde %100 hafif agrega yerine betonlarda %10-%50 aralarında hafif agrega kullanımı da hafif betonlarda beklenen yüksek basınç dayanımını karşılayacaktır.

Hafif betonlardan beklenen diğeri en önemli parametrelerden birisi de kimyasal etkilere karşı bozulmadan direnç gösterme kabiliyetidir. Kimyasal durabilite olarak isimlendirilen bu



etki, zararlı kimyasal maddelerin betona nüfus etmesinden ötürü betondaki boşluklardan beton içine nüfus etmesinden dolayı beton hacminde öncelikle beton hacminde artma (şişme) ve daha sonra da çekme dayanımının aşılmasından dolayı betonda oluşan çatlaklar ve parça dökülmesinden kaynaklanan bozulmayı temsil etmektedir. Kimyasal etkilerin betonun içyapısını nasıl etkilediği ileri bölümde etraflıca açıklanacaktır. Kimyasal etkilere dayanıklı beton üretmenin en önemli yolu betonda su/çimento oranı azaltılmasıyla ve geçirimliliğin azalmasıyla mümkün olmaktadır. Betonda en çok karşılaşılan kimyasal etkiler, sülfürik asit, magnezyum sülfat ve sodyum sülfat türü kimyasallardır. Bu tür kimyasalların betona olan zararını minimum düzeye indirmek amacıyla çimentonun yerine mineral katkıları kullanılmaktadır. Çimentodan daha ince olan mineral katkıları betonun geçirimliliğini azaltmaktadır. Böylece betonda meydana gelecek bozulma ya gecikmektedir ya da sınırlı miktarda kalmaktadır. Özellikle hafif betonda hafif agrega kullanımı nedeniyle betonda oluşan boşlukların öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi mineral katkılarıyla daha az olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek fırın cürufu ve uçucu kül malzemeleri atık malzemeler olmasından ötürü hafif betonlarda kullanımı durabilite iyileştirmesinin yanı sıra sürdürülebilir çevreci ve nispeten ekonomik beton olmasından ötürü ülkemiz açısından da oldukça önemlidir.

Yapılan çalışmada, iri agrega yerine % 0, % 50 ve % 100 oranlarında pomza kullanılarak normal, yarı hafif ve hafif betonlar üretilmiştir. Beton tipi olarak ise farklı bağlayıcı malzemeler kullanarak 4 farklı beton tipi kullanılmıştır. Bağlayıcı malzemeler olarak; mineral katkısız Portland çimentolu (OPC), uçucu kül ve Portland çimentolu (OPC + FA), yüksek fırın cürufu ve Portland çimentolu (OPC + S), ve uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve Portland çimentolu (OPC + S + FA) betonlar üretilmiştir. Aynı eşdeğer su/bağlayıcı oranı seçilerek üretilen pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların % 5 sülfürik asit etkisi altında mekanik ve durabilite performansları incelenmiştir.

## 2. HAFİF BETON

Bu bölümde hafif betonlarda kullanılan agregaların tanımı, tipleri, özellikleri, avantajları ve dezavantajlarından bahsedilecektir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan pomzalar, bağlayıcı malzemeler ve özellikleri, ve betonda mineral katkı kullanımını ve durabilitesi ile daha önce yapılan çalışmalar ele alınıp incelenecektir.

### 2.1 Hafif Beton Tanımı

ACI 213R-03 standardına göre taşıyıcı hafif beton, 28. gündeki basınç dayanımı 17 MPa değerinden daha fazla ve ayrıca birim hacim ağırlığı  $1120 \text{ kg/m}^3$  ile  $1960 \text{ kg/m}^3$  değerleri arasındaki betonlara taşıyıcı hafif beton denilmektedir.

TS EN 206-1 standardında ise hafif beton olarak birim hacim ağırlığı  $800 \text{ kg/m}^3$  ile  $2000 \text{ kg/m}^3$  değerleri arasındaki betonlara hafif beton denilmektedir. Hafif betonlar, üretiminde kullanılacak olan hafif agregaların bir kısmı veya tamamen hafif agrega olarak kullanılmasıyla elde edilebilmektedir.

TS 2511 standardında 28. gündeki basınç mukavemeti 16 MPa değerinden daha fazla ve ayrıca birim hacim ağırlığı  $1900 \text{ kg/m}^3$  değerinden daha az olan betonlara taşıyıcı hafif beton denilmektedir.

### 2.2 Hafif Agreganın Kullanımı

Hafif betonların üretilmesindeki en büyük hedef, elde edilecek hafif beton birim hacim ağırlığı hedeflenen değere indirmektir. Bu da hafif agrega kullanılarak mümkün hale gelmektedir. Hafif agrega kökenine, kaynağına ve birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılmaktadır. Kaynak üretim yerine göre hafif agregalar 4 farklı aşamada sınıflandırılabilir [1]:

- Doğal Hafif Agreganın Kaynakları: Volkanik tüf, cüruf ve pomza.

- Doğal Yapay Hafif Agregalar: Genleştirilmiş şist, kil, perlit ve arduaz benzeri polimer bazlı malzemelerle üretilen agregalardır.
- Endüstri bazlı atıklar ile üretilmiş hafif agregalar: Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (GGBFS) ve düşük kalsiyum içeren uçucu kül (FA).
- Endüstri bazlı atıkların işlenmesi sonucunda üretilmiş hafif Agregalar: Genleştirilmiş GGBFS ve kızdırılmış FA.

## 2.3 Hafif Beton Avantaj ve Dezavantajları:

### 2.3.1 Hafif beton avantajları:

1. Yapı ağırlıklarının azalmasında büyük miktarda katkı sağlar. Böylece kolon, kiriş gibi eleman boyutlarında azalma ve dolayısıyla gerekli beton dayanımının daha düşük olmasını sağlar. Sonuç olarak hem betondan hem de minimum donatı kuralından dolayı donatı miktarından tasarruf edilmiş olunur.
2. Kalıp payandası mesnet ve temel benzeri taşıyıcı elemanlarda üzerindeki yüklerin azalmasına paralel olarak boyutlarda azalma gerçekleşir.
3. Yangına karşı dayanıklıdır.
4. Isı iletkenlik katsayılarının düşük olması dolayısıyla ısı yalıtım özelliği yüksek bir malzeme olarak karşımıza çıkar.
5. Hafif olmalarından ötürü taşınım yerleştirilmeleri daha kolaydır.
6. Homojen özelliklere sahiptirler [2].

### 2.3.2 Hafif beton dezavantajları

Hafif betonların dezavantajları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Boşluklu yapısı dolayısıyla basınç mukavemetleri ve aşınma dayanımları geleneksel betonlara nispeten daha azdır.
2. Elastisite modülü değerlerinin daha az olması dolayısıyla sehim ve dönme miktarlarının daha fazla olması beklenmektedir.
3. Sünme ve rötre geleneksel betonlara göre yüksektir.
4. Geleneksel betonlarla kıyaslandıklarında yeterli dayanım değerleri elde etmek amacıyla yüksek çimento dozajlarına sahiptir. Bu da maliyeti artırır.
5. Geleneksel betonlara nispeten düşük kesme/kayma dayanımları vardır.

6. Hafif agregaların temin edilmesi bazen zor olabilir ve bu da nakliye gibi giderlerden ötürü ek maliyete sebep olabilir.
7. İmalat ve kalıp işçiliği özen gerektirir. [2].

## 2.4 Hafif Betonlarda Sınıflandırma

Genel olarak birim hacim ağırlığı geleneksel betondan daha düşük olan betonlar hafif beton olarak isimlendirilir. Birim hacim ağırlık değerleri genelde  $1800 \text{ kg/m}^3$  değerinden daha az değerdedir. Hafif betonlar birim hacim ağırlık, dayanım, ve kullanım amacı gibi sınıflandırılmalarına tabii tutulurlar. Hafif betonların birim hacim ağırlık ve basınç mukavemetlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar:

- i. Yalıtım betonu: Birim hacim ağırlık değerleri  $0.2 \text{ kg/dm}^3$  ile  $0.6 \text{ kg/dm}^3$  arasında ve basınç mukavemetleri  $0.2 \text{ MPa}$  ile  $2.5 \text{ MPa}$  değerleri arasında olan betonlardır.
- ii. Yalıtım ve yarı taşıyıcı betonlar: Birim hacim ağırlıkları  $0.6 \text{ kg/dm}^3$  ile  $1.2 \text{ kg/dm}^3$  arasında ve basınç mukavemeti  $2.5 \text{ MPa}$  ile  $10 \text{ MPa}$  değerleri arasında olan hafif betonlardır.
- iii. Taşıyıcı betonlar: Birim hacim ağırlıkları  $1.2 \text{ kg/dm}^3$  ile  $2.0 \text{ kg/dm}^3$  arasında ve basınç mukavemeti  $15 \text{ MPa}$  ile  $60 \text{ MPa}$  arasında olan hafif betonlardır [3].

Genel olarak geleneksel ve hafif betonlarla yapılmış çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda agregaların beton hacminin yaklaşık % 45 ile %70 arasında bir değer olduğu ortaya çıkmıştır. [4].

### 2.4.1. Basınç Mukavemetlerine Göre Sınıflandırma

Çizelge 2.1'de TS EN 206-1 standardına göre hafif betonların basınç dayanım sınıflandırmalarını göstermektedir. Burada hafif betonun İngilizcesi olan lightweight concrete (LC) ile gösterilmektedir. 8/9 terimi ise sırasıyla silindir ve küp numune dayanımlarını göstermektedir.

**Çizelge (2.1)** Hafif betonların TS EN 206 standardına göre basınç dayanım sınıfları

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik Küp dayanımı, $f_{ck}$ , MPa
LC 8/9	9
LC 12/13	13
LC 16/18	18
LC 20/22	22
LC 25/28	28
LC 30/33	33
LC 35/38	38
LC 40/44	44
LC 45/50	50
LC 50/55	55
LC 55/60	60
LC 60/66	66
LC 70/77	77
LC 80/88	88

#### 2.4.2 Yoğunluklara Göre Hafif Betonların Sınıflandırılması

Çizelge 2.2’de ise TS EN 206-1 standardına göre hafif betonların yoğunluklarına göre sınıflandırılması elde alınmıştır. Standarda göre yoğunluklar  $800 \text{ kg/m}^3$  ile  $2000 \text{ kg/m}^3$  arasında değişmektedir.

**Çizelge (2.2)** Hafif betonların yoğunluklarına göre TS EN 206 standardına göre sınıflandırılması

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk Aralıkları $\text{kg/m}^3$	$\geq 800$ ile $\leq 1000$	$>1000$ ile $\leq 1200$	$> 1200$ ile $\leq 1400$	$> 1400$ ile $\leq 1600$	$> 1600$ ile $\leq 1800$	$> 1800$ ile $\leq 2000$

## 2.5 Portland Çimentosu (CEM I 42.5 R)

Genellikle betonda bağlayıcı malzeme olarak Portland çimentosu kullanılmaktadır. Portland çimentosu kil, kireçtaşı, marl, pirinç külü, demir cevheri gibi hammaddelerin 1500°C sıcaklıklara kadar belirli oranlarda pişirilerek üretilmiş klinker ile alçıtaşının da priz geciktirici olarak eklenmesiyle meydana gelir ve suyla reaksiyona girerek önce şekil verilebilir hale gelir ve daha sonra da zamanla mukavemet kazanırlar. Portland çimentolu beton, genellikle yüksek basınç mukavemeti gerektiren işlerde ve çoğunlukla kolon, kiriş, döşeme gibi yapı elemanlarında, prefabrik yapılarda, tünel inşaatlarında ve çoğu yapıların temellerinde kullanılırlar.

## 2.6 Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, demir cevherleri içindeki demir oksit bileşimlerinde ve ayrıca mangan, silis alümin ve fosfor gibi elementlerde vardır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun (GGBFS) kimyasal içeriği, demirin kimyasal içeriği ile benzer olmasına rağmen, GGBFS içeriğindeki kireç, silis ve alüminyum oksitlerin % oran bakımından farklılıkları mevcuttur ve bu farklılık sadece demirin kimyasal yapısı ile alakası olmayıp, ayrıca kok kömüründeki demir cevher yardımıyla ekonomik fayda sağlaması nedeniyle üretilen karışımlardan ve yüksek sıcaklıklardan kaynaklanmaktadır [5].

Geleneksel Portland çimentosunun yüksek fırın cüruf ile yer değiştirmesi, taze betondaki işlenebilirliği artırır ve betonun maliyetini düşürür. Daha önce yapılan çalışmalarda geleneksel Portland çimentosunun yerine kullanılan yüksek fırın cürufun dayanım ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, yüksek fırın cürufu ile üretilen geopolimer betonların kimyasal maruzlara (%5 sülfürik asit etkisi) karşı çok daha iyi durabilite performansı gösterdiği ve asit etkisinden sonra kalan dayanımlarında hayli yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır [6].

### 2.6.1 Öğütülmüş Granüle Yüksek fırın cürufu genel kimyasal analizi

Daha önce yapılan bir çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufunun genel olarak kimyasal analizleri çizelge 2.3'de gösterilmiştir [7]. Çizelge 2.3'den de görüleceği üzere cüruf içerisindeki SiO<sub>2</sub> ve CaO bileşenleri çok yüksektir. CaO yüzdesinin yüksek olması sebebiyle yüksek fırın cürufu içeren betonların basınç dayanımları yüksek olmaktadır.

**Çizelge (2.3)** Yüksek fırın cürufu kimyasal analizi

<b>Bileşen</b>	<b>% Oranı</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	38.54
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14.90
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1.50
<b>CaO</b>	33.50
<b>MgO</b>	8.20
<b>S</b>	0.90
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0.22
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.50
<b>Cl</b>	-
<b>Kızdırma Kaybı</b>	1.0

### 2.6.2 Betonlarda Yüksek Fırın Cürufu Kullanılması

Normal laboratuvar şartlarında Portland çimentosunun yerine belirli oranlarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanımı, sadece Portland çimentosunun kullanılmasıyla üretilen betonlara göre düşük beton dayanımı gösterirler. Basınç dayanımının azalması yüksek fırın cürufun aktivitesi ile cüruf inceliğine bağlıdır. Geleneksel Portland çimentosunun suyla tepkimesi esnasında hidrasyon reaksiyonları başlar ve sonuç olarak kalsiyum-silikat-hidrat (CSH) ile kalsiyum hidroksit (CH) oluşur. Kalsiyum-silikat-hidrat oluşumuyla beraber beton basınç mukavemetinde artış görülür. Diğer tarafta kalsiyum hidroksit (CH), hidrasyon reaksiyonları sonucu olarak oluşmakla beraber basınç dayanımını çok fazla etkilemez. Yüksek fırın cürufundaki silikatlar, ek olarak CSH oluşması amacıyla CH ile birleşir. Geleneksel Portland çimentosuyla üretilmiş betonlarla karşılaştırıldığında, nihai dayanımı yükseltebilecek daha güçlü bağlayıcı türü ve yoğunluğuna sebep olabilir. Cüruf metalurjik sanayinin yan ürünü olarak oluştuğu, magnezyum alüminosilikat ve kalsiyum içermektedir. Yüksek fırın cürufunun en fazla temin edildiği yerler çelik ve demir enstitüleridir [6].

## 2.7 UÇUCU KÜL

Termik santrallerin elektrik üretimi esnasında gereken enerjiyi üretmek maksadıyla pulverize kömür yakıt olarak kullanılır. Bu sebepten buradaki kül atıkları atık malzeme olarak

elde edilir. Kömürlerin yanması sonucu oluşan atık küllerin belirli miktarı taban kısmında toplanırken, %75 ile %80 arasındaki miktar gazlar ile beraber baca kısmından dışarıya atılmaktadır. Bu küller uçucu kül veya pulverize kül olarak isimlendirilmektedir [8].

Modern termik santrallerin değerli atık malzemeleri, toz kömür yanması sonucu oluşan, bacalardaki gazların sürüklenmesiyle biriken çok ince kül parçacıklarıdır. Bu ince parçacıklar elektrostatik yöntemle elektro-filtrelerde ve siklonlarda tutulmakta, baca gazlarıyla atmosfer çıkışı engellenmektedir. Uçucu kül daneleri genel olarak küre şeklinde olup büyüklüğü  $\mu\text{m}$  ile 200 $\mu\text{m}$  boyutlarındadır. Bu uçucu kül dane boyutu termik santralde kül toplama yöntem ve ekipmanına göre değişir. Siklonlarda toparlanan kül tanecikleri, elektro-filtre kısmında toplanandan kül danelerinden daha büyük boyuttadır. Uçucu kül parçacıklarının rengi açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar farklı renkte olabilir. İçeriğindeki yanmamış karbon oranı yükseldikçe uçucu küllerin rengi koyulaşır. [9].

### 2.7.1 Uçucu kül sınıfları

Uçucu kül kimyasal içeriğe göre farklı biçimlerde sınıflanmaktadır. Günümüzde genellikle uçucu kül sınıflandırması uçucu küllerin içeriğindeki analitik kalsiyum oksit miktarı ile sınıflandırılmaktadır. Eğer, CaO miktarı %10 ve daha az ise, bu uçucu kül düşük kireçli ya da düşük kalsiyumlu, %10 ve üzerinde olanlarsa yüksek kireçli ya da yüksek kalsiyumlu uçucu kül diye tabir edilmektedir. ASTM C618 standardına göre uçucu kül iki farklı kategoride farklılık gösterir.

- F-sınıfı uçucu kül; bitüm içeren kömürden elde edilmekte olup içeriğindeki bileşenlerle  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$  şartını sağlayan küllerdir,
- C-sınıfı kül ise genellikle linyit ve yarı-bitümlü kömürden elde edilmekte olup içeriğindeki bileşenlerle  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$  şartını sağlayan kül çeşididir.

Siliko-aluminöz küllerse ASTM standardına göre F-sınıfına dahil edilirler. Siliko-kalsik uçucu külün bir kısmı F-sınıfı diğer kısmı C-sınıfına, sülfö-kalsik uçucu küllerin ise bir çoğu C-sınıfı olarak kabul edilirler. [9].

Aşağıdaki çizelge 2.4'de Türkiye'deki termik santrallerde üretilen uçucu küllerin mineralojisi gösterilmiştir [10].



**Çizelge (2.4)** Türkiye’de üretilen uçucu külün mineralojik kompozisyonu

Mineral %	Uçucu kül					
	Afşin elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma	Tunçbilek	Yatağan
<b>Mullit</b>	1	18.1	1.2	4.3	8.8	6
<b>kuvartz</b>	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
<b>manyetit</b>	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
<b>hematit</b>	4	0.1	6	2	3	7
<b>anhidrit</b>	12.2	/	9.3	7.4	/	/
<b>Serbest CaO</b>	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1
<b>Plajiyoklaz</b>	28	/	15	20	/	25
<b>Camsı ve amrof faz</b>	30	70	50	50	70	35

## 2.7.2 Uçucu külün özellikleri

### 2.7.2.1 Fiziksel özellikler

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri detaylıca aşağıda belirtilmiştir [11].

1. **Tanecik şekli ve boyutu:** Uçucu küller genel olarak küre şeklinde olup boşluklu yapıya sahip parçacıklardır. Boşluklu daneler cenosphere olarak isimlendirilir ve oran olarak %5 - %20 arasında bulunmaktadır. Parçacık dane ebatlarıysa 1 µm ile 150 µm arasında değişmektedir. 45 µ no’lu elekten %75 ve üzeri uçucu kül parçacıkları geçmektedir.
2. **Kül İnceliği:** Uçucu küllerin ince olması bağlayıcılık aktivitesini ve taze betonların işlenebilirliğini etkiler.
3. **Kül Yoğunluğu:** Uçucu kül parçacıklarının yoğunlukları genelde 2.1 gr/cm<sup>3</sup> – 2.7 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Uçucu kül yoğunluklarının fazla olması kullanılan küllerin inceliği ile alakalıdır. İnce uçucu küllerin yoğunlukları daha yüksektir.

4. **Kül Rengi:** Uçucu küllerin farklı renklerinin bulunmasıyla beraber çoğunlukla gri renge sahiptirler. Uçucu külün rengi, kullanılan kömür kalitesi ve fırın işletmesi ile alakalıdır. Uçucu küllerin içeriğindeki yanmamış karbon miktarı fazla olursa uçucu kül renk olarak daha koyu renge dönüşmektedir. Ayrıca uçucu kül içeriğindeki demir oksit miktarı da uçucu küllerin renklerini etkilemektedir. Eğer uçucu kül yüksek demir oksit oranına sahipse uçucu küllerin rengi siyaha yakın olmaktadır.
5. **Dayanım aktivite indisi:** Uçucu küllerin puzolanik reaksiyonlarını ve mukavemet kapasitesini göstermektedir. Uçucu kül dayanım aktivite indisi ASTM C311 standardınca hesaplanmaktadır. Dayanım aktivite indisi değerleri 28 gün sonunda %75'ten daha fazla olmalıdır.
6. **Su gereksinimi:** Uçucu küllerin su gereksinimleri uçucu kül inceliğinden etkilenir. Çok ince uçucu külle elde edilen hamurun su gereksinimi daha kalın külle elde edilen hamurun su ihtiyacından daha fazladır.
7. **Genleşme:** Uçucu külden hacim genleşme ve büzülmesi uçucu külden istenmez. ASTM C618 standardına göre hacim genleşmesi ve büzülmesi yüzde 0.8 olacak şekilde sınırlandırmıştır. Ayrıca gerçekleştirilecek deneylerin ASTM C311 standardına uygun olacak şekilde yapılması gerektiği bildirilmiştir.
8. **Üniformluluk:** Uçucu küllerin dane boyut ve dağılımları homojen olması gerekmektedir ve bu özellik yoğunlukla kontrol edilmektedir.

### 2.7.2.2 Uçucu Kül Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal mineralojisinin %85 ve daha fazla miktarı  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$ , ve  $Fe_2O_3$  içeriğinden oluşmaktadır. Ayrıca bu oksitlerin yanında az miktarda  $SO_3$  ile  $MgO$  bulunmaktadır. Uçucu küller bacalardan toplandıkları zaman içerisindeki yanmamış karbon parçacıkları da uçucu küllerin içerisinde yer almaktadır. Çizelge 2.5'de F-sınıfı ve C-sınıfı uçucu küllerin genel olarak kimyasal bileşen yüzdece miktarlarının nasıl değiştiği görülmektedir. Uçucu küllerin kimyasal bileşenleri kullanılan kömürlerin cinsi ile kömürlerin içerisindeki yanıcı olmayan madde miktarlarına, yanma derecesinin hangi oranda etkili olmasına ve sürekliliğe bağlıdır. Genellikle linyit kömürlerinin yanması sonucu ortaya çıkan

uçucu küllerin kalsiyum oksit miktarı daha yüksek ve  $Fe_2O_3$  miktarıysa daha azdır. Ayrıca linyit kömürlerinin yanmasıyla oluşan uçucu küllerde yanmamış karbon miktarı taş kömürü ile oluşan uçucu küllere nazaran daha azdır. Elde edilen Uçucu küllerdeki kimyasal bileşenler, kullandıkları betonların basınç mukavemetini ve ayrıca kimyasal durabilite özelliklerini etkilediği bilinmektedir. [12].

#### Uçucu kül bileşenleri:

- $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  muhtevası
- Kalsiyum oksit muhtevası
- Magnezyum oksit muhtevası
- Kükürt trioksit muhtevası
- Alkali muhtevası
- Su içeriği
- Karbon içeriği ve kızdırma kaybı

**Çizelge (2.5)** Uçucu Küllerin Yaklaşık Kimyasal Bileşiklerinin Yüzdesi [12].

Kimyasal Özellik	F Sınıfı	C Sınıfı
$SiO_2$	43.6 – 64.4	23.1 – 50.5
$Al_2O_3$	19.6 – 30.1	13.3 – 21.8
$Fe_2O_3$	3.8 – 30.1	3.7 – 22.5
CaO	0.7 – 6.7	11.5 – 29.0
MgO	0.9 – 1.7	1.5 – 7.5
$Na_2O$	0 – 2.8	0.4 – 1.9
Kızdırma Kaybı	0.4 – 7.2	0.3 – 1.9

#### 2.7.2.3 Uçucu Külün Beton Durabilitesine Etkileri

Geleneksel betonlarda dayanıklılık, basınç mukavemetlerinin yüksek olmasının yanısıra kimyasal ataklara karşı gösterebileceği dirence de bağlıdır. Betondan istenen kimyasal ataklar neticesinde bozulmaması ve dayanım gereksinimi korumasıdır. Betonda bozulmalar arasında en çok görülen bozulmalar donatı korozyon, sülfat saldırıları, alkali silika reaksiyonları,

sülfürik asit saldırıları, termal değişimler ve benzeri sebepler ile bozulmaktadır. Bu saldırılar veya reaksiyonlardan dolayı betonda çatlaklar, parça dökülmeleri gibi hasarlara sebep olarak betonarme taşıyıcı sistemlerin geri dönülemez (plastik) hasar almalarına sebep olmaktadır. Durabiliteden meydana gelen bozulmalar genellikle sıvı ve/veya iyonların beton içerisine nüfus etmesi ile meydana gelmektedir. Betondaki durabilite bu sebeplerden dolayı difüzyon, su emilimi ve geçirimsizliğe bağlıdır. Betonda kullanılan uçucu kül daneleri çimento danelerinden daha ince olduğundan dolayı, uçucu küller kullanıldıkları betonların boşluk miktarını azaltarak beton geçirimsizliğini düşük seviyede tutmaktadır. Bu da uçucu kül katkılı betonların servis ömrünü artırmaktadır.

Uçucu küllerin geçirgenliği azaltmasının yanı sıra uçucu külün diğer bir özelliği de düşük hidrasyon ısısına sahip olmasıdır. Uçucu külün bu özelliği özellikle kütle betonlardaki çatlama riskini azaltarak betonun geçirimsizliğini azaltmada büyük rol oynarlar. Betonun pH değeri normal şartlar altında 12.5 ile 13.5 değerleri arasındadır ve bu pH değeri boşluk çözeltisindeki kalsiyum, sodyum, potasyum ve hidroksil iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Uçucu küllerin hidrasyon reaksiyonları devam ederken, boşluk çözeltisinin alkali miktarı düşmektedir ve buna bağlı olarak beton kimyasal ataklara maruz kaldığında savunmasız hale gelmektedir. Dolayısıyla betonda uçucu kül kullanımı kimyasal ataklara karşı önemlidir. Ayrıca uçucu külün dış ortamdan gelen zararlı iyonları geçirimsizliğin az olmasından ötürü betona daha uzun sürede geçireceğinden uçucu küle üretilmiş betonların geleneksel betonlara göre bozulma hızı daha düşük olacağı açıktır. Fakat uçucu kül kullanıldığında hidrasyon reaksiyonları yavaş gelişmektedir. Bunun sonucu olarak uçucu küllü betonların içyapısı uzun sürede boşluksuz hale gelmektedir. Dolayısıyla uçucu küllü betonlar geleneksel Portland çimentolu betonlara göre daha uzun kür süresine ihtiyaç duymaktadır. Burada kür süresi, betonun dayanımı, geçirgenliğin azalması gibi faktörler genellikle kullanılan uçucu külün dane şekline, incelik oranına ve kullanılma miktarına (çimentonun yerine % kaç kullanılacağına) bağlı olarak değişmektedir [13].

Betonda Portland çimentosu yerine belirli oranlarda uçucu kül ikamesinin betonun içyapısındaki gözenekliliği düşürmesi açısından önemlidir. Bu da betonun magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sülfürik asit gibi kimyasal saldırılardan betonun geçirimsizliğinin düşük olması dolayısıyla daha az etkilenmektedir veya uçucu kül ikameli betonlar daha uzun sürede bozulmaktadır. Ayrıca uçucu küller genel olarak düşük kalsiyumlu ve yüksek kalsiyumlu olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Düşük kalsiyumlu uçucu küller F-tipi olarak adlandırılmakta, yüksek kalsiyumlu uçucu küller ise C-tipi olarak isimlendirilmektedir. Düşük kalsiyum içeren F-tipi

uçucu küllerin CaO oranı genelde %1 ile %3 arasında değişmektedir ve bu oran çok düşüktür. CaO oranının düşük olmasından ötürü uçucu kül ikame oranı arttıkça betonun basınç dayanımı düşmektedir. Bu sebepten ötürü uçucu kül ikamesinin belirli oranlarda kullanılması gerekmektedir. Yüksek kalsiyum içeren C-tipi uçucu küllerin ise CaO miktarı F-tipine göre daha yüksek olmasından ötürü aynı oranda uçucu kül ikame edilen betonlardan C-tipi uçucu küle sahip olanların daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu bilinmektedir. Fakat düşük kalsiyum içeren uçucu küllü betonlar ise yüksek kalsiyum içeren betonlara nazaran daha iyi sülfat direncine sahip olduğu bilinmektedir. Bu da uçucu külün kimyasal içeriğinin (düşük ya da yüksek CaO oranına sahip olması) fiziksel özelliğe göre kimyasal ataklara karşı daha belirgin rol oynadığı görülmektedir. Yapılan bir çalışma kapsamında yüksek kalsiyum içeren C-tipi uçucu küllerin F-tipi uçucu küllere kıyasla alkali-silika reaksiyonlarına karşı daha düşük dirençli olduğu bildirilmiştir. Bunun nedeni olarak ise C-tipi uçucu küldeki kalsiyum alüminat miktarının artmasından dolayı sülfat hasarının artması olduğu rapor edilmiştir. Erken yaşlarda çok miktarda kalsiyumun tüketilmesi alüminatların hidratasyonunu hızlandırdığı ve ortaya çıkan kalsiyum eksikliği sebebiyle silikat hidratasyonlarının ya gecikeceği ya da duracağı rapor edilmiştir. Bunun yanı sıra sülfat eksikliğinin silikatların çözünürlüğünü azalttığı ve bununda daha yavaş silikat hidratasyonuna sebep olduğu bildirilmiştir [13].

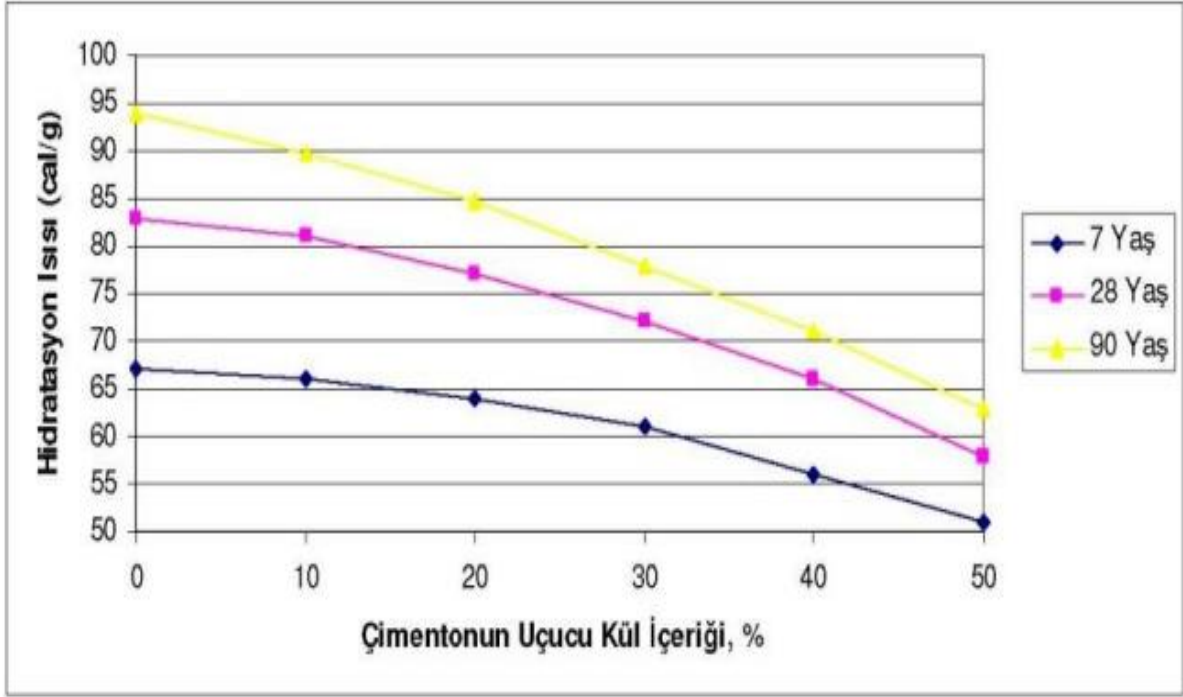
#### **2.7.2.4 Uçucu küllü çimento**

Uçucu kül hakkında yapılan bilimsel çalışmalar ve uçucu küllerin diğer alanlarda kullanımını hakkındaki çalışmaların yaklaşık olarak 75 yıldır olduğu bilinmektedir. Ancak uçucu küllerin çimento üretimi ya da çimentonun belirli kısmında ikame edilebileceği, enerji maliyetleri, çevre dostu olması ve kalite optimizasyonu gibi kriterlerin ağırlık kazandığı 1970 senesinden sonra uçucu külün değeri anlaşılmaya başlanmıştır. Uçucu küller çimentonun içerisine belirli oranlarda katılarak çimentoların üretiminde kullanılmasının yanı sıra, uçucu küller betonda ince agrega olarak da kullanılabilirler. Uçucu küllerin çimentoların üretiminde aktif bir şekilde kullanılması, kullanılan uçucu külün inceliğine,  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  açısından fazla olması, düşük alkali içeriğine sahip olması ve yanmamış karbon miktarının % 3'den daha az olması gerekmektedir. Uçucu küllerin çimentoda kullanımına yönelik farklı standartlar vardır. Çizelge 2.6'da uçucu kül kimyasal mineralojisinin TS 639 ve ASTM C 618 standartlardaki sınır değerleri gösterilmiştir.

**Çizelge (2.6)** Uçucu küllü çimentoların sınır değerleri

	TS 639	ASTM C 618	
		F Sınıfı	C Sınıfı
<b>SiO<sub>2</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	70	70	50
<b>SO<sub>3</sub>, maks. %</b>	5	5	5
<b>Nemlilik, maks. %</b>	3	3	3
<b>KK, maks. %</b>	10	6	6
<b>MgO, maks. %</b>	5	-	-
<b>Alkaliler, maks. %</b>	1.5	1.5	1.5

Uçucu küllerin çimentolarda bir katkı olarak kullanımının hem ekonomi hem de çevreye vereceği katkıların yanı sıra, uygulanacağı yere bağlı olarak, betondaki bazı teknik özelliklerin artmasını sağlar. Uçucu kül dane parçacıklarının küresel şeklinde olması yağlama etkisi yarattığından, betonda uçucu kül kullanımı neticesinde işlenebilirlik artacağı için betonun su gereksinimi düşer. Devam eden hidrasyon reaksiyonları sonucunda oluşan Ca(OH)<sub>2</sub>, uçucu küllerdeki SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile reaksiyona girerek ayrıca C-A-H ve C-S-H oluşur, bu da dayanım ve durabiliteyi artırır. Geleneksel Portland çimentosunda devam eden hidrasyon reaksiyonları sonucu oluşan ısı, beton içerişindeki sıcaklığın artışına neden olmaktadır. Çimentonun içine uçucu kül katılması betonda hidrasyon ısısını düşürürken, beton iç sıcaklığının da düşmesine sebep olmaktadır. Bu sayede betonda termal çatlaklar azalmaktadır. Özellikle betonarme perde ve baraj gibi kütle betonların uygulanması sırasında günümüzde düşük hidrasyon ısısına sahip olmasından ötürü uçucu kül içeren çimentolar kullanılmaktadır.



Şekil (2.1) Çimentodaki uçucu kül miktarı- hidrasyon ısısı değişimi

Şekil 2.1’de çimentodaki uçucu kül ikame oranının artışıyla hidrasyon ısısındaki değişim grafiği verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere artan uçucu kül ikamesiyle beraber hidrasyon ısısında azalma meydana gelmiştir. Özellikle %30 uçucu kül ikamesinden sonra hidrasyon ısısındaki azalma belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır [14].

Uçucu kül kullanılmasında en büyük problemlerden birisi de erken dönemde basınç dayanımının düşük olmasıdır. Eğer erken dayanımın önemli olduğu bir taşıyıcı eleman uygulaması varsa uçucu kül oranının belirli bir miktarının üzerinde kullanılmaması tavsiye edilebilir. Uçucu kül malzemesi termik santrallerden alındığı gibi kullanımı betonda boşluk oranının artmasına ve hidrasyon reaksiyonlarının yavaşlamasına neden olabilir. Bu sebepten dolayı termik santralden çıkan uçucu küller elenerek belirli incelikteki uçucu küllerin kullanılması tavsiye edilmektedir.

[15], yapmış oldukları bir araştırmada, sınıflandırılmış uçucu küllerin iri kısımlarının amorf silika ve alümina içeriğinin ince kısımlarına nazaran daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Bağlayıcılık özelliği gösteren esas kısımların amorf silika ve alüminat olduğundan

iri kısmı eleyerek ince hale getirmişler ve çimentoya ince haliyle katmışlardır. Sonuç olarak ise basınç dayanımı değerlerinin erken yaşlarda bile iyileştiğini ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar [16] elde ettikleri sonuçlar ile desteklenmiştir. Araştırmacılar 5 değişik uçucu kül kullanarak yapmış oldukları çalışmada uçucu külün sınıflandırılarak elde edilen ince kısmı ile sonradan öğütülerek aynı incelik değerine öğütülerek getirilmiş kaba kısım ile yaptıkları çalışmada, basınç dayanımının belirgin bir şekilde değişmediğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak ise uçucu kül katkılı çimentoların basınç dayanımına etki eden faktörün uçucu külün kimyasal özellikleri olmadığını, incelik olduğunu vurgulamışlardır.

Çimento sektörü teknolojinin gelişmesiyle beraber enerji maliyetlerini düşürmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu sebepten ötürü, ön ısıtıcı, ön kalsinasyonlu fırın sistemlerinden sonra en çok gelişim öğütme sisteminde meydana gelmiştir. Günümüzde çimentonun üretimi esnasında kullanılmakta olan toplam enerji miktarının % 40 ve daha fazlası öğütme esnasında kullanılmaktadır. Bu sebeple, öğütücü konusunda teknolojik gelişmeler devam etmektedir. Ayrıca literatürde çimento kadar ve hatta daha fazla mineral katkıları kullanılması açısından artan eğilimi vardır. Uçucu küllerin çimento üretimi esnasında kullanılmasıyla;

1. Klinkerizasyon enerjisi tasarrufu,
2. Öğütme enerjisi tasarrufu,
3. Kurutma enerjisi tasarrufu,
4. Çevre dostu olması ve atık malzemelerin kullanılıyor olması,
5. Ürün çeşitliliğinin sağlanması,
6. Üretilen malzemelerin daha üstün bir performans göstermesi bakımından faydalı olacaktır. [14].

## **2.8. Pomza**

### **2.8.1. Pomza Tanımı**

**Pomzanın genel özellikleri :**

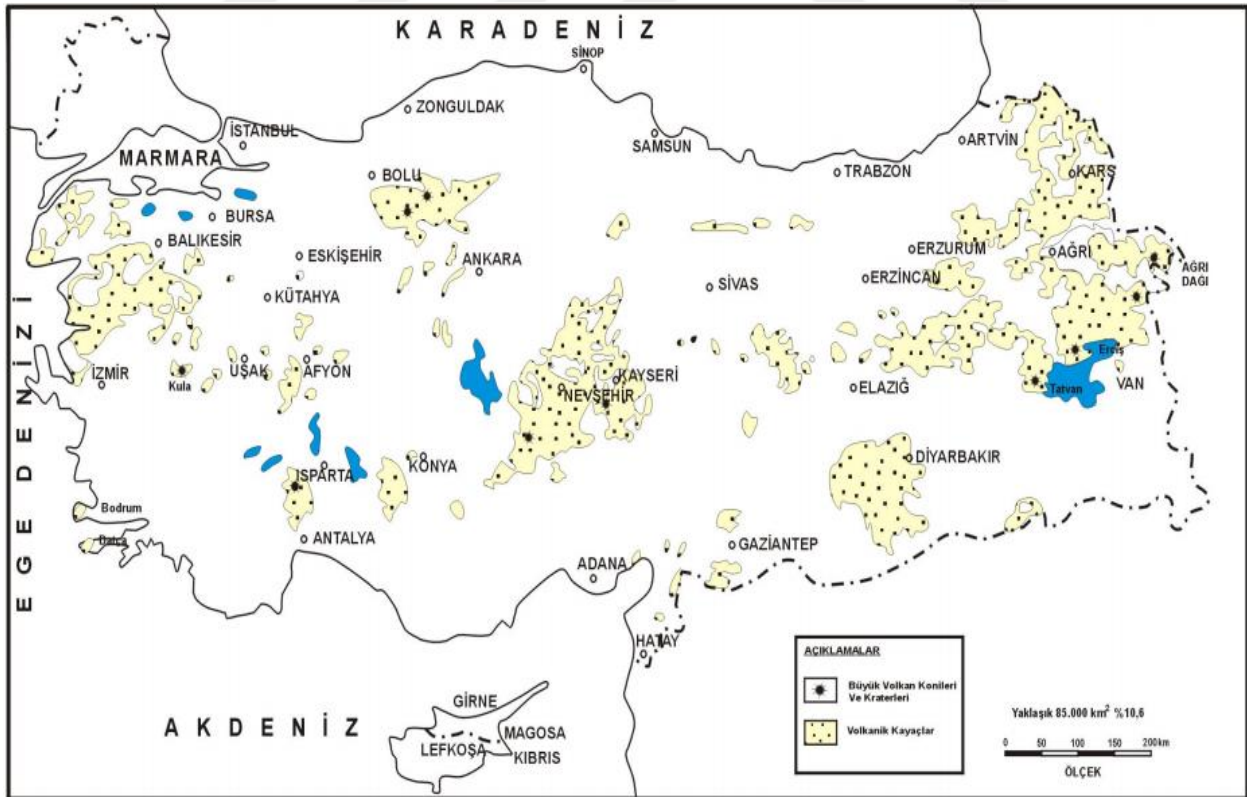
1. boşluklu,
2. süngerimsi,
3. volkanik olaylar neticesinde meydana gelmiş,
4. kimyasal ve fiziksel durabilitesi iyi,
5. boşluklu yapıya sahip ve camsı bir kayadır.



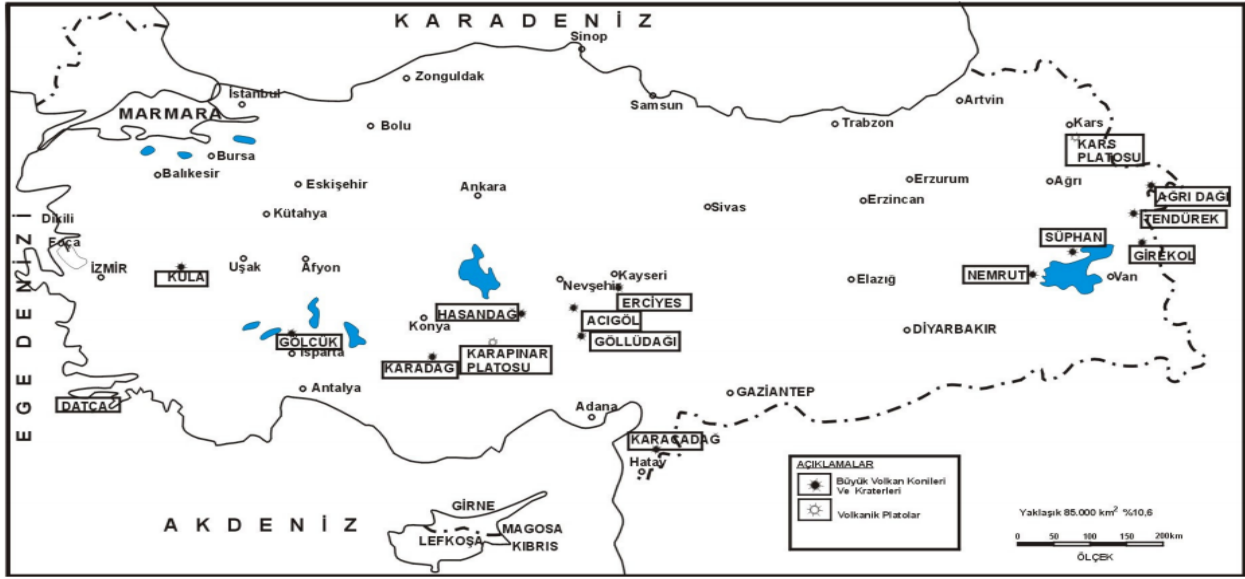
Pomzanın oluşması anında içerisinde gaz kabarcıkları hızlıca bünyesinden ayrılarak soğur ve bunun sonucunda pomza çok miktarda gözeneğe sahip olur. Pomzadaki gözenek yapısının birbiriyle bağlantısının olmaması ve boşluk sayısının çok olmasından ötürü, pomzaların hem geçirimsizliği düşüktür hem de yalıtkanlık derecesi yüksektir. Pomza sahip olduğu bu özellikler sayesinde kış aylarında soğuğa karşı, yazları ise sıcağa karşı izolasyon vazifesi görür [17].

Yeraltı zenginliği bakımından zengin bir ülke olan Türkiye’de pomza malzemesi çok fazla miktarda mevcuttur. Dünyada rezerv olarak pomzanın 18 milyar ton olduğu düşünülmekte ve bunun da %40 civarı (yaklaşık 7 milyar ton) ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizde pomza en çok İç Anadolu bölgesinde, daha sonra da Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yüksek oranlarda mevcuttur [18].

Pomza agregası volkanik kökenli olduğundan dolayı, volkanik faaliyetlerin olduğu yerlerde bulunmaktadır. Betonda kullanımı bu bölgelerde ekonomik olabilir fakat bu bölgelere uzak bölgelerde nakliyat maliyetlerinden ötürü kullanılması ekonomik olmayabilir. Ülkemizde volkanik malzemelerin potansiyel dağılımı Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de belirtilmiş alanlarda mevcuttur [19].

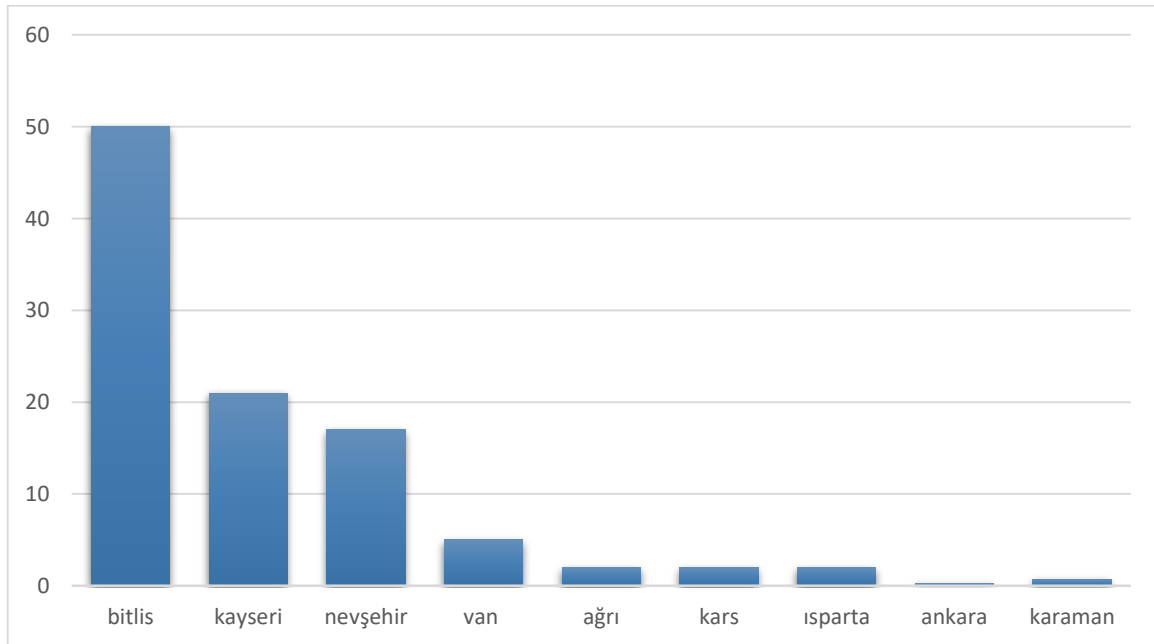


Şekil (2.2) Volkanik malzeme potansiyeli bakımından önemli bölgeler



Şekil (2.3) Ülkemizde volkan ve volkanik bölgelerin isimlendirilmeleri

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de mevcut yerleşim bölgelerinin tamamında, ekonomik olarak pomzaların oluşumu belirgin değildir. Çoğunlukla Marmara ve Ege bölgelerindeki oluşumların bir çoğu volkanik cüruf, bazalt cüruf, ve zeolitik oluşumlardır. Ayrıca Diyarbakır ve Güney Anadolu bölgesindeki görülen volkanik malzemeler, bazalt kökenine sahip volkanik kayalardır. Günümüzde pomza kategorisindeki mevcut rezervlerin ülkemiz genelinde dağılımı Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil (2.4) İllerimizdeki Pomza Rezervleri Dağılımı [19].

### 2.8.2 Pomza Kullanım Alanları

Pomza ülkemizde ve dünyada çoğunlukla inşaat sanayide kullanılır. Ülkemizdeki mevcut pomzaların %90 ve hatta daha fazlası ülkemizde inşaatların yapılmasında kullanılır. Pomza genelde perlitin kullanıldığı tüm alanlarda kullanılabilir. Pomza perlitte olduğu gibi enerji ve yatırım istememesinden ötürü günümüzde kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşmanın sebepleri şu şekilde açıklanabilir. Pomza doğal kum ve çakıl agregaların yoğunluklarının 1/3 ile 2/3 arasında değişmektedir. Pomza ile üretilen betonların da yoğunluklarının düşük olduğu bilinmektedir. Bu hafif beton olması sebebiyle hem zamandan hem de maliyetten tasarruf edilmektedir. Bunun yanı sıra bina ağırlığının azalmasından ötürü kolonlara, kirişlere ve temellere gelecek basınç, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri azalacağından dolayı hem beton alanından hem de donatı alanından tasarruf sağlanacaktır. Ayrıca pomza ısı geçirgenlik katsayısının normal betona nazaran 6 kat daha üstün olmasından ötürü daha fazla yalıtım sağlamasından dolayı büyük miktarda ısı ve enerji tasarrufu sağlayarak ekonomik anlamda da çok önemli fayda sağlar. Çizelge 2.7 pomzaların kullanılma alanlarını göstermektedir [20].

**Çizelge (2.7) Pomza kullanılma alanları**

<b>Kullanılma Alanları</b>	<b>Kullanılma Amaçları</b>
<b>İnşaat Sektöründe</b>	Ülkemizin pomza kaynaklarının yaklaşık % 80 kadarı inşaat uygulamalarında hafif betonların üretiminde agrega olarak, çimentoların üretiminde katkı malzemesi olarak, asmolen, tuğla, blok gibi hafif malzemelerin üretiminde ve ayrıca yalıtım malzemeleri olarak da kullanılırlar.
<b>Tekstil Sektöründe</b>	Tekstil sektörlerinde bilhassa kot taşlamalarında kullanılırlar.
<b>Tarım Sektöründe</b>	Pomzalar su emme kapasitelerinden ötürü emdikleri suları bünyesinde uzunca bir süre tutmalarından ötürü kuraklıkla mücadele açısından önem arz etmektedir.

<b>Kimya Sektöründe</b>	Kibrit sanayi, gübre sanayi, tarım ilacı, temizlik endüstrisinde, dişçilik ve diş macununun üretiminde kullanılabilirler.
<b>Diğer Endüstriyel ve Teknolojik Alanlarda</b>	Cam sanayi, metal endüstrisi, asfalt kaplama, otomobil lastikleri üretimi kaplamasında ve kuyumculukta kullanılırlar.

### 2.8.3 Pomza agregasının kullanımı ile ilgili çalışmalar

Sülfat etkisine maruz yapı elamanlarının betonlarında yapılan çalışmalarda, %2.1 sodyum sülfat çözeltisi içinde ıslanma-kuruma çevrimlerine maruz kalan betonların hizmet ömrünü belirlemek amacıyla çalışma yapılmıştır. Çimento tipi olarak sülfata dayanıklı ASTM Tip V çimento ve tip II çimento ile yaptıkları araştırmada, 19 beton içinden 16 adedi ömür olarak 50 seneden daha aşağıda bir hizmet ömrüne sahip olacağı belirtilmiştir. Farklı puzolan türlerinin yer aldığı değişik betonlar üretilmiş ve sülfat dirençleri bakımından kötüden iyiye doğru sıralanmıştır. 33 puzolanlı betonlardan yalnızca 6 beton 50 seneden daha az bir hizmet ömrü beklenmiştir. Pomza, uçucu kül ve iki kalsine ürünün sülfat direncini artırdığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda, betonların sülfat direncine ilişkin mevcut şartnamelerin/standartların revize edilmesi gerektiği belirtilmiştir. [21].

Pomza ile yapılan çalışmada ACI standartlarına göre hafif beton üretmek amacıyla deneysel çalışma yapılmıştır. Yapılan araştırmada A16-C16 dane dağılımı eğrileriyle beton üretmişlerdir. Süperakışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici kullanarak üretilen betonların taze halde işlenebilirliğinin yüksek ve sertleşmiş haldeki basınç dayanımının 6.56 MPa ve yoğunluğu 1.3 ton/m<sup>3</sup> olan hafif beton bloklar üretmişlerdir [21].

Yapılan başka bir çalışmada volkanik pomzanın hafif beton ve çimento bakımından özelliği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında volkanik pomzayı toz halde bağlayıcı olarak, iri agrega bakımından da hafif beton üretimi amacıyla kullanmışlardır. Çalışmada çimento ikamesi olarak çimento dozajının %0 - %25 oranları olacak şekilde pomza tozu, hafif beton üretilmesinde iri agrega hacminin %0 - %100 farklı oranlarında pomza agrega kullanmıştır. Volkanik pomza kimyasal ve fiziksel özellikleri de göz önüne alınarak betonun teze ve

sertleşmiş haldeki özellikleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı Portland çimentoları ile volkanik tozu ikamelerinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde %15 oranında volkanik pomza tozu ikamesine kadar volkanik pomza çimento olarak kullanılabilirliği ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra belirli oranlarda pomza katılarak üretilmiş pomzalı betonlarda işlenebilirlik, basınç dayanımı, rötre, su emme ve su geçirgenlik gibi özellikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre volkanik pomzayla üretilmiş betonlarda hem dayanım hem de yoğunluk bakımından yeterli bulunmuştur [22].

Yapılan başka bir araştırmada ise, volkanik pomza ile volkanik kül kullanılarak katkılı çimentonun üretilip üretilmeyeceği konusunda araştırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında geleneksel çimentonun %0 ile %50 arasında farklı oranlarında volkanik pomza tozu ile volkanik kül katılmıştır. Bu üretilen betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş halde testler yapılmıştır. Volkanik pomza tozu ve kül kullanılarak elde edilen karışımlar, uçucu kül ile üretilen karışımlara nazaran daha iyi performans göstermiş ve %20 ikame oranına kadar daha uzun priz süresi ve daha düşük hidratasyon ısısına sahip karışımlar elde edilmiştir [23].

Yapılan diğer bir çalışmada çimento dozajının, çökme değerlerinin ve pomza oranının beton basınç mukavemetine ve yoğunluklarına olan etkisi üzerine araştırma yapılmıştır. Yapılan deneylerde %25, %50, %75 ve %100 oranlarında normal agrega ile pomza agregası yer değiştirmiştir. Dozaj miktarı 200, 250, 350, 400 ve 500 kg/m<sup>3</sup> olacak şekilde seçilmiştir. Çökme değerleri ise 3±1, 5±1 ve 7±1cm olacak şekilde seçilmiştir. Deneylerin sonuçlarına göre, pomza agregası oranının artmasıyla beraber beton yoğunluğu miktarının %41.5 oranında azaldığını rapor etmişlerdir. Karışımda çimento miktarının artmasıyla beraber beton yoğunluğu %3.2, basınç mukavemeti ise 200 kg/m<sup>3</sup> dozaj miktarına göre %265 artmıştır [24].

Bazalt pomza kullanılarak ve mineral katkılarla üretilen yüksek dayanıma sahip hafif betonların üretilmesi amacıyla yapılan deneylerde, geleneksel Portland çimentosu ile bazalt pomza kullanılarak kontrol hafif beton üretilmişlerdir. Bu betonda Portland çimentosunun %20 ve %10 miktarları sırasıyla uçucu kül ve silis dumanı ile ikame edilmiştir. Ayrıca kontrol karışımlarının da üretildiği betonlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda mineral katkı ve bazalt pomza agregası ile yapısal taşıyıcı eleman olarak hafif beton üretilebileceği rapor edilmiştir [25].

Başka bir çalışmada ise pomza agregası ile üretilen betonların yapılarda kullanılması maksadıyla betonda bazı araştırmalar yapmışlardır. Amaç, pomza agregası ile hafif beton üretilip üretilmeyeceğidir. Pomza betonu, genleştirilmiş hafif kil ve kontrol betonları ile 3

değişik donatıya sahip panel duvar inşa etmişlerdir. Yapılan deneylerin sonucuna göre, yapısal betonlarda pomza kullanımının olumsuz bit etkisi olmadığını rapor etmişlerdir [26].

#### 2.8.4 Pomza agreganın fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Volkanik açıdan yüzeyle biriken magma, içeriğindeki fazla miktarda su buharı, klor ve florü bünyesinden dışarı atarak gözeneklere sahip karışık ignimbirit petrografik yapıya sahip pomza şekillenmektedir. Asidik magma çözeltisi şeklindeki pomzanın silis içeriği %62 ve yukarısına çıkmaktadır. Bazik magma çözeltisi şeklindeki pomzanın silis içeriği %62 ve aşağısına düşmektedir. Yapılan deneylerde kullanılmış pomza kimyasal analizleri incelendiğinde magma çözeltisinin asidik karaktere sahip oldukları rapor edilmektedir. Pomza fazla miktarda ve birbiriyle bağlantısız gözeneklere sahip, yaklaşık olarak %50 nem suyunu bünyesinde bulundurabilen ve bünyesindeki nem uzaklaştığında özgül ağırlığı  $0.5 \text{ g/cm}^3$  değerine kadar azabilen bir malzemedir. Bunun yanı sıra toz hale getirildiklerinde mukavemeti yüksek özelliklere sahip, yüksek ses ve ısı yalıtkan özelliğine sahip, kendine has kimyasal bileşimleri olan doğal malzeme türlerinden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Pomzanın bileşimleri asidik veya bazik olması mümkündür. Asidik pomzalar, dünyada en fazla mevcut ve kullanılan pomza cinsidir. Pomza çok kırılmalı bir malzemedir. Öğütülmeleri esnasında camsı yapıya sahiptirler ve kırılma şekli midye kabuğuna benzemektedir.

Pomza agregasının genellikle kimyasal mineralojisi aşağıda verilmiştir.

- % 60 ile %75  $\text{SiO}_2$
- % 13–17  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- % 1–3  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
- % 1–2  $\text{CaO}$
- % 7–8  $\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$
- Değişken miktarda  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{SO}_3$  bulunmaktadır.

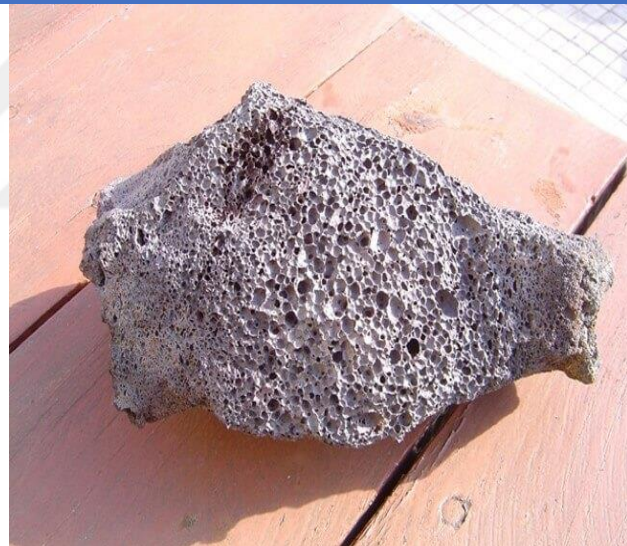
Kayaçların içerdikleri  $\text{SiO}_2$  kayaçlara abrasif özelliği katmaktadır. Bu sebepten ötürü çelikleri kolayca aşındırabilecek kimyasal yapılar sergilerler.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ateş ve ısıya karşı yüksek mukavemet özelliği verir.  $\text{Na}_2\text{O}$  ile  $\text{K}_2\text{O}$  ise reaksiyon özelliği kazandırır. Bazik pomza scoria ya da bazaltik pomza olarak isimlendirilmektedir. Bazaltik pomzalar genelde koyu renge sahip, siyah veya kahverengi renklerinde olabilir. Özgül ağırlıkları  $1 \text{ gr/cm}^3$  ile  $2 \text{ gr/cm}^3$  arasında

değişmektedir. Asidik pomza ise dünyada en fazla miktarda bulunan pomza türüdür ve renk olarak genelde beyaz ve gri renkte olup kirli görünümüne sahiptir. Asidik pomzaların silis oranları çok daha fazla olup, inşaat sektörlerinde daha çok kullanılmaktadır. Ayrıca bazik pomzalarda demir, kalsiyum, magnezyum bileşenlerinin çok fazla bulunması sebebiyle genellikle gübre sanayilerinde ve tarım işlerinde kullanılmaktadır [27].

Her iki farklı türde de pomzaların oluşması anında soğuma ve gazların pomza bünyesini aniden terk etmesinden ötürü gözenekli yapılara sahiptir. Fakat asidik magmaların yoğunluk değeri bazaldik magma yoğunluk değerlerine göre daha düşüktür. En çok kullanılan asidik pomzaların yoğunlukları genellikle  $0.5 \text{ gr/cm}^3$  ile  $1 \text{ gr/cm}^3$  arasındadır. Pomza alüminyum, potasyum ve silisyum içermektedir ve bu sebeple açık renge sahiptir. Pomzaların sertliği mohs ölçeğine göre yaklaşık 6 civarındadır. İçeriğinde kristal su olmayıp, 75% silisyum oksit içeriğine sahiptir. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da bazik ve asidik pomzaların genel görünümü verilmektedir. [27].



**Şekil (2.5)** Bazik pomzanın görünümü



**Şekil (2.6)** Asidik pomzanın görünümü

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1 Giriş

Çalışmada bu kısımda üretmiş olduğumuz pomza katkılı hafif agregalı betonların kimyasal ve fiziksel özellikleri, basınç mukavemeti ve kimyasal durabilite deneylerinden bahsedilecektir.

#### 3.2 Pomza katkılı hafif agregalı betonların Malzemeleri ve Özellikleri

##### 3.2.1 Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1 ile uyumlu normal Portland çimentosu (CEM I 42.5 R) : Portland Çimento klinkerine bir miktar alçıtaşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) katılarak birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilip, nem alarak topaklaşma göstermemesi için de çimento, özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Deneyde kullanılan CEM I 42.5R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler çizelge 3.1' de verilmektedir.

**Çizelge (3.1)** Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi (%)

Oksit	Çimento
$\text{SiO}_2$	4.91
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20.17
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.41
CaO	64.28
MgO	1.18
$\text{SO}_3$	2.84
$\text{K}_2\text{O}$	0.96
$\text{Na}_2\text{O}$	0,13
Kızdırma Kaybı	1.61
Özgül Ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )	3.14



### 3.2.2 Pomza

Çalışmada hafif agrega olarak pomza agregası kullanılmıştır. Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi pomza agregaları yığınların temiz bölgesinden alındıktan sonra çuvallara doldurularak İstanbul Gelişim Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarına getirilerek depolanmıştır. Çalışmada 8-16 mm, 16-22 mm dane büyüklüklerine sahip pomza agregaları iri agrega yerine kullanılmıştır. En büyük pomza agrega dane çapı 22 mm’dir. Kullanılan pomza agregasının kimyasal bileşimi çizelge 3.2’ de, fiziksel özellikleri ise çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Kullanılan pomza agregası

Çizelge (3.2) Pomza agregasının kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	(%)
SiO <sub>2</sub>	72.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.99
MgO	0.01
CaO	0.27
Na <sub>2</sub> O	1.62
K <sub>2</sub> O	5.99
MnO	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.003
TiO <sub>2</sub>	0.03
PF	1.94
Çözünmeyen Kalıntı	0.23

**Çizelge (3.3)** Pomza agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Agrega Boyutu (mm)	
	8-16 mm	16-22 mm
Kuru özgül ağırlık	1.74	1.42
K.Y.D özgül ağırlık	2.05	1.60
Su emme (%)	15	11
Gevşek BHA (kg/l)	1.12	1.05
Sıkışık BHA(kg/l)	1.28	1.17

### 3.2.3 Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu demir-çelik fabrikalarının demir cevheri üretimi sonucu oluşan atık malzemeler arasında yer almaktadır. Cüruf içeriğinde alumina-silikat ve kalsiyum-silikattan oluşur. Atık malzemelerin betonlarda kullanılması, atık malzemelerin yeniden değerlendirilip hem ekonomik anlamda hem de çevre kirlenmesinin önlememesi bakımından çok önemlidir. Çalışmamızda kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.4' de, kullanılan cüruf ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

**Şekil (3.2)** Öğütülmüş yüksek fırın cürufu

**Çizelge (3.4)** Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal yapı	Analiz sonucu
Kalsiyum oksit	% 37.25
Silisyum dioksit	% 38.37
Alüminyum oksit	% 11.89
Demir oksit	% 1.05
Magnezyum oksit	% 8.13
Kükürt trioksit	% 0.38
Potasyum oksit	% 1.28
Sodyum oksit	% 0.38
Kızdırma kaybı	% 0
Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2.93
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	4320

### 3.2.4 Uçucu Kül

Deneylerde kullandığımız uçucu kül malzemesi gri renkte, ince daneli, küre (yuvarlak) biçiminde ve camsı yapıya sahip olan termik santral atığı malzemedir. Çalışmada kullanılan uçucu kül malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.5 ve Şekil 3.3’de verilmiştir. İçerisindeki kalsiyum oksit oranı % 2 civarında olduğundan uçucu külün sınıfı F-tipidir.



**Şekil (3.3)** Çalışmada kullanılan F tipi uçucu kül

**Çizelge (3.5)** Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal yapı	Analiz sonucu
Kalsiyum oksit	% 2.10
Silisyum dioksit	% 54.76
Alüminyum oksit	% 25.26
Demir oksit	% 6.28
Magnezyum oksit	% 2.08
Kükürt trioksit	% 0.02
Potasyum oksit	% 4.04
Sodyum oksit	% 0.38
Kızdırma kaybı	% 3.3
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.13
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3870

### 3.2.5 Süperakışkanlaştırıcı

Çalışmada işlenebilirliğin S4 kıvamda olması için betona süperakışkanlaştırıcı katkıları eklenmiştir, süperakışkanlaştırıcı katkıları çimento taneciklerinin dispersiyonunu iyileştirerek işlenebilirliği yüksek oranda artırır. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcının özellikleri çizelge 3.6'da verilmiştir ve Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

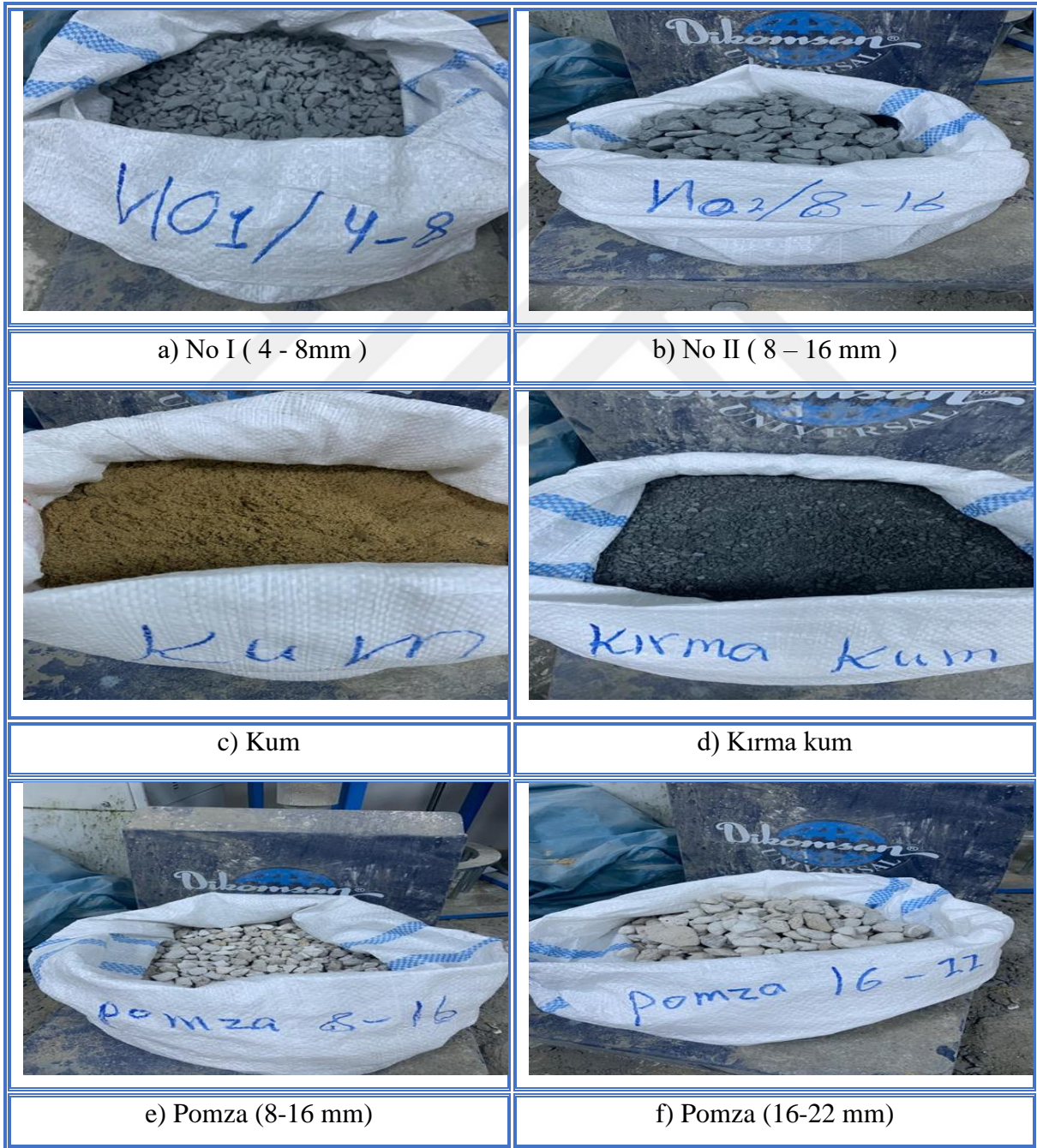
**Çizelge (3.6)** Kimyasal katkının özellikleri

Özellik	Süperakışkanlaştırıcı
Ürün	Chryso
Renk	Opak
Durum	Sıvı
Özgül ağırlık	1.07 g/cm <sup>3</sup>
Alkali muhtevası	≤ 5 %
Klorür muhtevası	≤ 0.1 %

**Şekil (3.4)** Çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı

### 3.2.6 Agregalar

Çalışmada kullandığımız agregalardan ince agrega olarak kum ve kırma kum kullanılmıştır. İri agrega olarak ise No I ( 4 - 8mm ) ve No II ( 8 - 16 mm ) kullanılmıştır. Nevşehir ilimizden temin edilen pomza agregası 8-16 mm ile 16-22 mm boyutlarındadır. Çalışmada ince agrega pomza agregası ile yerdeğiştirmemiştir, sadece iri agrega yerine pomza agregası kullanılmıştır. Pomza agregası kullanılırken iri agrega ile pomza miktarı hacimsel olarak eşit miktarda yer değiştirmiştir. Çalışmada kullandığımız agregaların Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil (3.5) Çalışmada kullanılan agregalar

### 3.3 Deneysel Çalışma

#### 3.3.1 Beton Dökümü Hazırlıkları

Yapılan çalışma kapsamında 150 mm x150 mm x150 mm boyutlarında Şekil 3.6’da gösterilen küp kalıpları kullanılmıştır. Beton dökümü öncesi kalıplar temizlenerek yağlama işlemi yapılmıştır. Beton dökülmeden önce kalıpların alt kısmına kağıtlar konularak betonların kalıp sökümünde kolaylıkla çıkması sağlanmıştır. Şekil 3.6’da deneyde kullanılan kalıpların temizlenmesi ve yağlanması, malzeme hazırlıkları, karışımların 150 mm x150 mm x150 mm küp kalıplarına boşaltılması, beton dökümü sonrası malayla pomzalı beton yüzeyinin düzeltilmesi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil (3.6) Deneyde kullanılan kalıplar ve uygulaması

### 3.3.2 Pomzalı-Pomzasız beton karışım miktarları

Çalışmamızda farklı mineral katkıları kullanılarak hazırlanan pomzalı ve pomzasız betonların basınç dayanımı ve durabilite deneyleri gerçekleştirilecektir. Bu amaçla, pomza taşının iri agreganın yerine (%0, % 50 ve %100) oranlarında kullanılacaktır. Dört farklı tip beton ve üç farklı oranda pomzasız ve pomzalı betonlar olacağı için 12 farklı karışım dökülecektir. Çalışmada kullandığımız agregalar Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

Birinci tipte mineral katkı olmayıp sadece geleneksel Portland çimentolu beton üretilmiştir. Bu tipte pomza iri agreganın yerine üç oranlarında (0%, 50% ve 100%) kullanılacaktır. Portland çimentolu beton isimlendirmesi olarak normal beton kullanılacak ve gösterim için (OPC %0, OPC %50 ve OPC %100) kullanılacaktır. Çalışmada kullandığımız 1m<sup>3</sup> betondaki malzeme miktarları çizelge 3.7’de belirtilmiştir. Normal betonlarda su/çimento oranı 0.45 olarak seçilmiştir.

**Çizelge (3.7)** Normal betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Malzeme	Pomzasız	% 50 pomza	100% pomza
<b>Su</b>	180	180	180
<b>Çimento</b>	400	400	400
<b>Pomza 8-16</b>	0	101	202
<b>Pomza 16-22</b>	0	101	202
<b>No I 4-8</b>	546	273	0
<b>No II 8-16</b>	546	273	0
<b>kum</b>	351	351	351
<b>Kırma kum</b>	351	351	351
<b>akışkanlaştırıcı</b>	8	8	8

İkinci tipte ise cüruflu betonlar üretilmiştir. Benzer şekilde pomza iri agreganın yerine üç oranlarda (0%, 50% ve 100%) kullanılacaktır. Cüruflu beton isimlendirilmesi için OPC-S-0, OPC-S-50 ve OPC-S-100) kullanılacaktır. Çalışmada kullandığımız 1m<sup>3</sup> betondaki malzeme miktarları çizelge 3.8’de belirtilmiştir. Cürufl malzemesinin k eşdeğerlik katsayısı TS EN 13515 standardında 0.8 olarak verilmiştir. Cürufl katkılı betonlarda su/(çimento+kxcürufl) oranı ise 0.45 olarak belirlenmiştir. Bu durumda bağlayıcı miktarı 426 kg/m<sup>3</sup> olmaktadır.

**Çizelge (3.8)** Cürüflü betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Malzeme	Pomzasız	50% pomza	100% pomza
Su	180	180	180
Çimento	294	294	294
Cüruf	132	132	132
Uçucu kül	0	0	0
Pomza 8-16	0	100	200
Pomza 16-22	0	100	200
No I 4-8	538	269	0
No II 8-16	538	269	0
Kum	345	345	345
Kırma kum	345	345	345
Akışkanlaştırıcı	8	8	8

Üçüncü tipte ise F-tipi uçucu küllü betonlar üretilmiştir. Benzer şekilde pomza iri agreganın yerine üç oranlarda (0%, 50% ve 100%) kullanılacaktır. Uçucu küllü beton isimlendirilmesi için OPC-FA-0, OPC-FA-50 ve OPC-FA-100) kullanılacaktır. Çalışmada kullandığımız 1m<sup>3</sup> betondaki malzeme miktarları çizelge 3.9'da belirtilmiştir. Uçucu kül malzemesinin k eşdeğerlik katsayısı TS EN 13515 standardında 0.4 olarak verilmiştir. Uçucu kül katkılı betonlarda su/(çimento+uçucu kül) oranı ise 0.45 olarak belirlenmiştir. Bu durumda bağlayıcı miktarı 470 kg/m<sup>3</sup> olmaktadır.

**Çizelge (3.9)** Uçucu küllü betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Malzeme	Pomzasız	% 50 pomza	% 100 pomza
Su	180	180	180
Çimento	353	353	353
Cüruf	0	0	0
Uçucu kül	117	117	117
Pomza 8-16	0	94,88	94,88
Pomza 16-22	0	94,88	94,88
No I 4-8	512	256	256
No II 8-16	512	256	256
Kum	329	329	329
Kırma kum	329	329	329
Akışkanlaştırıcı	8	8	8

Dördüncü tipte ise hem öğütülmüş yüksek fırın cürüflü hem de F-tipi uçucu küllü betonlar üretilmiştir. Benzer şekilde pomza iri agreganın yerine üç oranlarda (0%, 50% ve



100%) kullanılacaktır. Uçucu küllü ve cürüflu beton isimlendirilmesi için OPC-FA+S-0, OPC-FA+S-50 ve OPC-FA+S-100) kullanılacaktır. Çalışmada kullandığımız 1m<sup>3</sup> betondaki malzeme miktarları çizelge 3.10'da belirtilmiştir. Uçucu kül malzemesinin k eşdeğerlik katsayısı TS EN 13515 standardında 0.4, cürufun k katsayısı ise 0.8 olarak verilmiştir. Uçucu kül ve cüruf katkılı betonlarda su/(çimento+(uçucu kül+cüruf)) oranı da 0.45 olarak belirlenmiştir. Bu durumda bağlayıcı miktarı 473 kg/m<sup>3</sup> olmaktadır.

**Çizelge (3.10)** Uçucu küllü ve cürüflu betonlarda kullanılan malzeme miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

Malzeme	Pomzasız	% 50 pomza	% 100 pomza
<b>Su</b>	180	180	180
<b>Çimento</b>	270	270	270
<b>Cüruf</b>	122	122	122
<b>Uçucu kül</b>	81	81	81
<b>Pomza 8-16</b>	0	95	190
<b>Pomza 16-22</b>	0	95	190
<b>No I 4-8</b>	514	257	0
<b>No II 8-16</b>	514	257	0
<b>Kum</b>	330	330	330
<b>Kırma kum</b>	330	330	330
<b>Akışkanlaştırıcı</b>	8	8	8

Üretmiş olduğumuz 4 farklı tip pomzalı hafif numunelerin hem basınç dayanımı hem de % 5 sülfürik asite maruz bırakılması durumundaki durabilite performansları incelenecektir. Böylece numunelerde sülfürik asit sonrası görsel denetim, ağırlık değişimi ve basınç dayanımının değişimi detaylıca araştırılacaktır. Ayrıca mineral katkılı betonlarında durabilite performansları da incelenecektir.

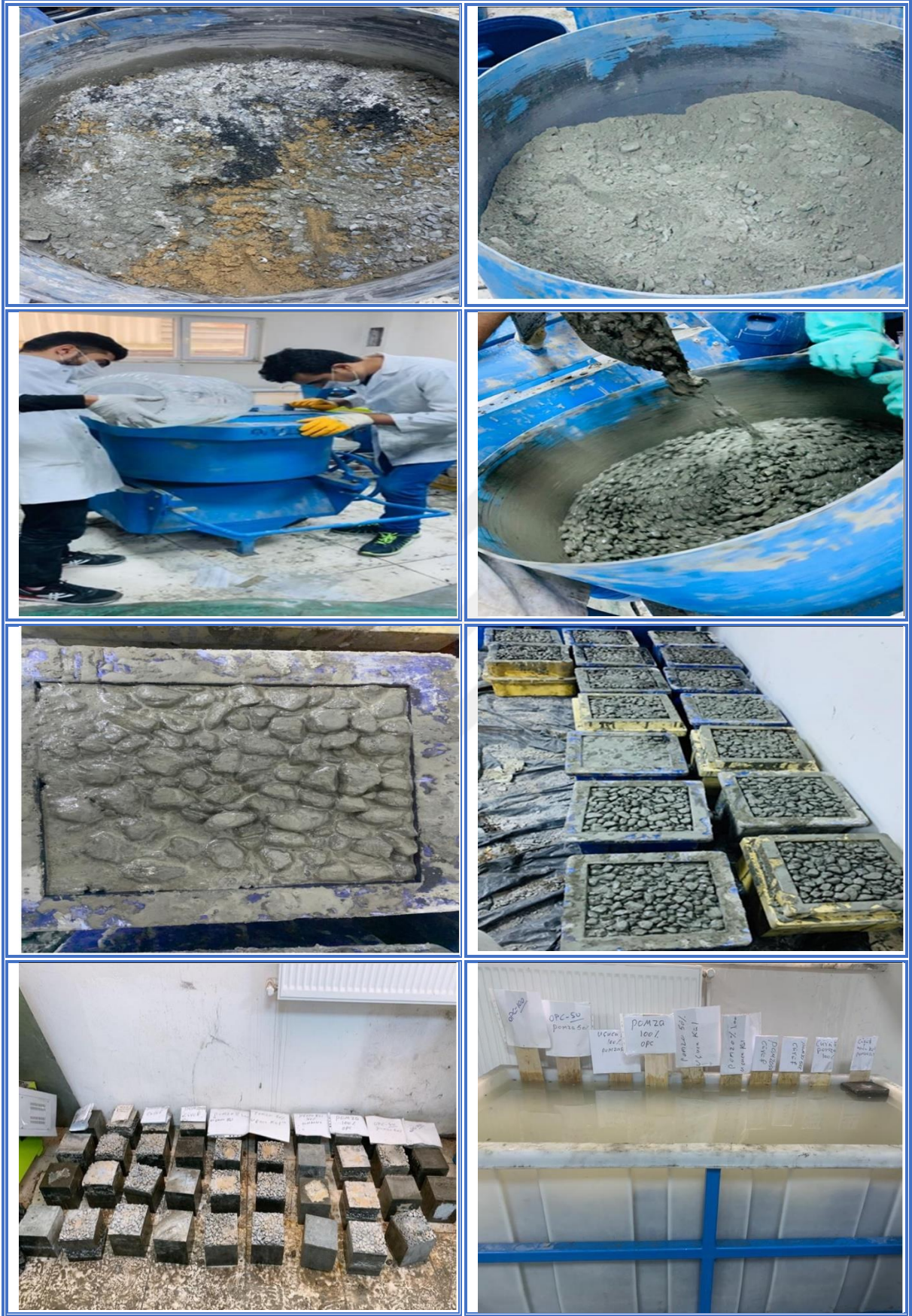
### 3.3.3 Beton döküm aşaması

Pomzalı hafif beton numunelerinin üretimi geleneksel beton üretimi gibi mikserler yardımıyla karıştırılarak laboratuvarında üretilmiştir. Homojen karışımların elde edilmesi amacıyla mikser en altına ilk iri/pomza agregalar daha sonra ince agregalar ve sonra da çimento ve atık malzemeler ( cüruf, uçucu kül) belirlenen miktarlarca miksere koyulacaktır. Mikserdeki bütün kuru malzemelerin ortalama 2 dakika süresince homojen ve boşluk oranı az olması için kendi

içerisinde karıştırılmıştır. Sonra, farklı kaplarda hazırlanan süperakışkanlaştırıcının yarısı ve suyun tamamı mikserde eklenecek ve karışım 2 dakika karıştırılacaktır. Daha sonra süperakışkanlaştırıcının yarısı mikserde ilave edilerek 2 dakika daha karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Betonların dökülmesi 6 dakika sürmüştür.

Hazırlanan pomzalı-pomzasız beton numunelerimiz, 150x150x150mm küp kalıba ilk önce yarısı, sonra sıkıştırılması, daha sonra kalan yarısı dolacak biçimde konulup ikinci kısmın sıkıştırılması gerçekleştirilecektir. Daha sonra beton dolu kalıplar tokmaklanarak beton içerisindeki havanın dışarıya çıkarılması sağlanacaktır ve böylece numunelerin içerisindeki hava boşluklarını minimuma inecektir. Betonlar kalıba konulduktan sonra da mastarlama yapılarak bir naylonla yüzeyler kapatılarak prizini alması amacıyla 1 gün bırakılacaktır. Daha sonra numuneler kalıplardan sökülüp 4 tip pomzalı hafif betonlar 28., 120., ve 150. güne kadar küvetin içinde suda kürlenmiştir. Böylece farklı mineral katkılara sahip pomzalı-pomzasız betonların zamanla dayanım gelişimi incelenmiş olacaktır. 28.gün sonra tüm numuneler su havuzundan çıkarılarak 24 saat kurumaya bırakılması amacıyla laboratuvarda tutulmuştur. Daha sonra tüm numunelerin ağırlıkları ölçülüp kaydedilmiştir. 120. gün ve 150. gün suda kürlenmesi gereken numuneler tekrardan kür havuzu ortamına bırakılmıştır. Üretilen numunelerin bazıları ise 28. günde ağırlık ölçümlerinin ardından %5 sülfürik asit solüsyonuna konulmuştur. Bu numuneler 120. günde (28 gün su kürü + 92 gün asit) ve 150. günde (28 gün su kürü + 132 gün asit) asit kovalarından çıkarılarak 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra numune ağırlıkları ölçülmüş, numune yüzeylerinin fotoğrafları çekilmiş ardından da basınç dayanımı testlerine maruz bırakılmıştır.

Numuneler sülfürik asit çözeltisine konulmadan önce ayrı kaplarda sülfürik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Deney boyunca % 5 konsantrasyonunda sülfürik asit çözeltisi dikkatli bir şekilde laboratuvarda hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan sülfürik asit çözeltileri kovalara dökülmüştür. Kovalara sülfürik asit çözeltisi konulmadan önce numuneler önce kovalara konulmuş, isminin çıkma olasılığı durumu için numunelerin isimleri ve sayıları kovalara da yazılmıştır.



Şekil (3.7) Pomzalı betonların üretilmesi ve kürlenmesi

### 3.3.4 Numune ağırlıklarının değişimi

Üretilen numunelerin 28. gün ağırlıkları (sülfürik asit öncesi) ölçülerek kaydedildi. Daha sonra 120. ve 150. günlerde kür havuzunda kürlenene numunelerle asitteki numune ağırlıkları da ölçülerek kaydedildi. Su ve asit ortamlarından çıkartılan numunelerimiz 24 saat oda sıcaklığında bekledikten sonra ağırlıkları ölçüldü. Betonların sülfürik asit sonrası ile su kürü sonrasında ağırlıklarındaki değişim aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

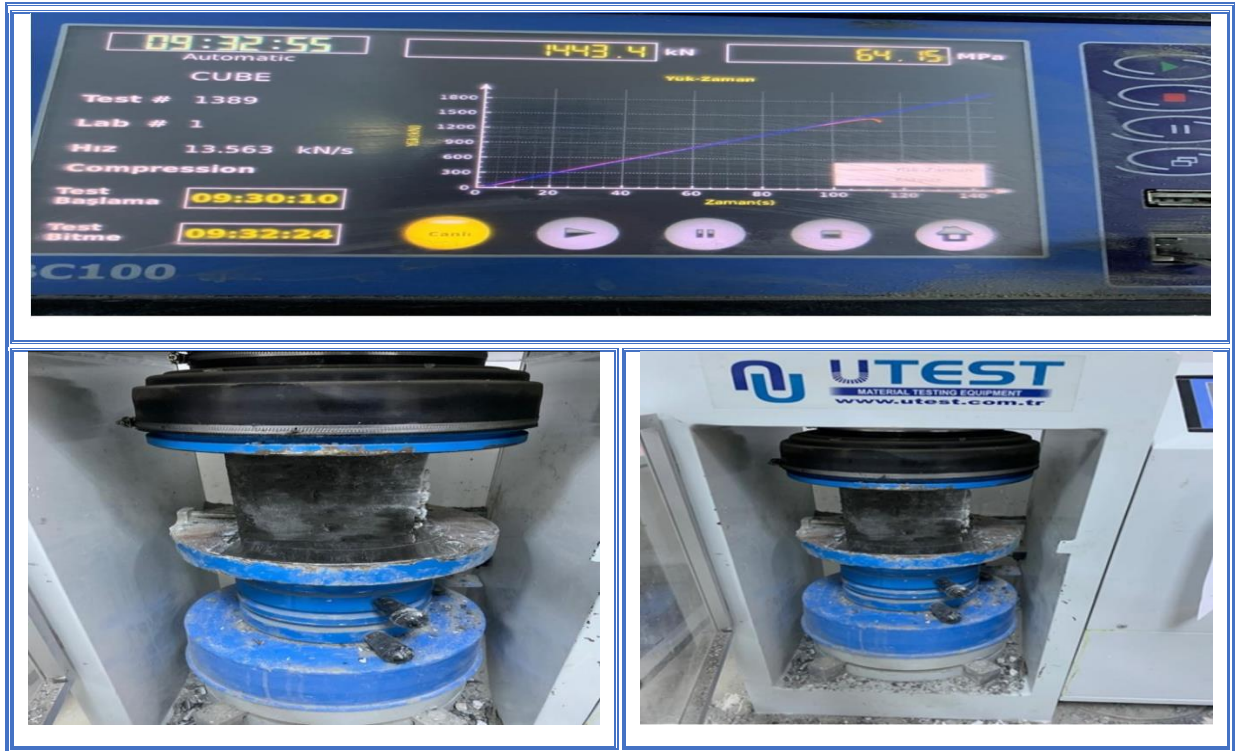
$$\text{Ağırlıkta \% değişim} = [(D-C)/C] \times 100. \quad (3.1)$$

D = Başlangıç Ağırlığı (28.günde su küründen sonra ölçülen ağırlık)

C = Son ağırlık (Su kürü veya asite maruz kaldıktan sonraki ağırlık)

### 3.3.5 Basınç dayanımı testi

Pomzalı-pomzasız beton numunelerin farklı zamanlarda basınç dayanımı testleri ve kimyasal durabilite performanslarını bulmak için tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen numunelerin kuvvet/alan formülünden basınç mukavemeti MPa (N/mm<sup>2</sup>) cinsinden belirlenmiştir. Gerçekleştirilen basınç mukavemeti testleri AS1012.9-1999 standardına göre yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada 28., 120., ve 150. gün basınç mukavemeti testleri hem su ortamında hem de asit ortamında bulunan numunelerde yapılmıştır. Şekil 3.8'de basınç mukavemeti testi gösterilmiştir.



Şekil (3.8) Basınç dayanım testleri


## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonlarda görsel denetim, ağırlık ölçümü ve basınç mukavemet testleri yapılarak betonlarda dayanım ve durabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Pomzasız betonlar normal ağırlıklı betonlar, iri agreganın %50'sinin pomza kullanılarak elde edilen betonlar yarı hafif beton, iri agregaya yerine %100 pomza kullanılarak üretilen betonlar hafif beton olarak düşünülmektedir. Normal beton ağırlıkları 2350-2390 kg/m<sup>3</sup> arasında, %50 pomzalı betonların ağırlıkları 2000-2050 kg/m<sup>3</sup> arasında, ve %100 pomzalı betonların ağırlıkları ise 1700-1715 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Bu kapsamda görsel inceleme, ağırlık değişimi ve basınç dayanımının zamanla gelişimi ve numunelerin %5 sülfürik asit ortamında performansları incelenmiştir.

### 4.1 Görsel İnceleme

Su ortamında kürlenmiş ve sülfürik asite bırakılan betonların 120. ve 150. günde yüzeylerinin değişimi sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Elde edilen yüzey fotoğraflarından da anlaşılacağı gibi sülfürik asit etkisi sonrası numunelerin dış yüzeyinde etrenjit ve alçıtaşı oluşumuna bağlı olarak beyaz leke oluştuğu görülmektedir. Bu numunelerde meydana gelen erezyon, kalsiyum monosülfoalüminat ile kalsiyum hidroksitin kimyasal reaksiyonu neticesinde oluşan beyaz renge sahip bir alçı tabakasıdır. Dış yüzeyden iç yüzeye doğru oluşan bu erezyon ve beyaz tabaka betonda yumuşamaya sebep olmakta ve ne kadar içeriye penetrasyon etmesine bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana gelmektedir. Yani sülfürik asitten numune ne kadar çok etkilenirse numunelerdeki basınç dayanımı kaybı o kadar fazla olmaktadır. 120. ve 150. günlerdeki numune fotoğrafları incelendiğinde numunelerdeki beyaz leke oluşumu ve erozyon miktarının 150. günde 120. güne göre daha fazla olduğu gözükmektedir. Betonlar karşılaştırıldığında ise normal betonlarda (OPC) ve cüruf katkılı betonlarda (OPC+S) daha fazla beyaz leke olduğu görülmektedir. Bu cüruf katkılı ve normal betonlardaki CaO miktarından kaynaklanmaktadır. Uçucu kül katkılı betonlarda bozulma sebebi ise hidrate olmayan uçucu kül parçacıkları nedeniyle geçirimsizliğin daha yüksek olmasına bağlanabilir.

Sülfirik asit ortamında bekletilen	Su ortamında kürlen
	
OPC-FA+S-100	OPC-FA+S-100
	
OPC-FA+S-50	OPC-FA+S-50
	
OPC-FA+S-0	OPC-FA+S-0



**OPC-FA-100**



**OPC-FA-100**



**OPC-FA-50**



**OPC-FA-50**



**OPC-FA-0**



**OPC-FA-0**



**OPC-S-100**



**OPC-S-100**



**OPC-S-50**



**OPC-S-50**

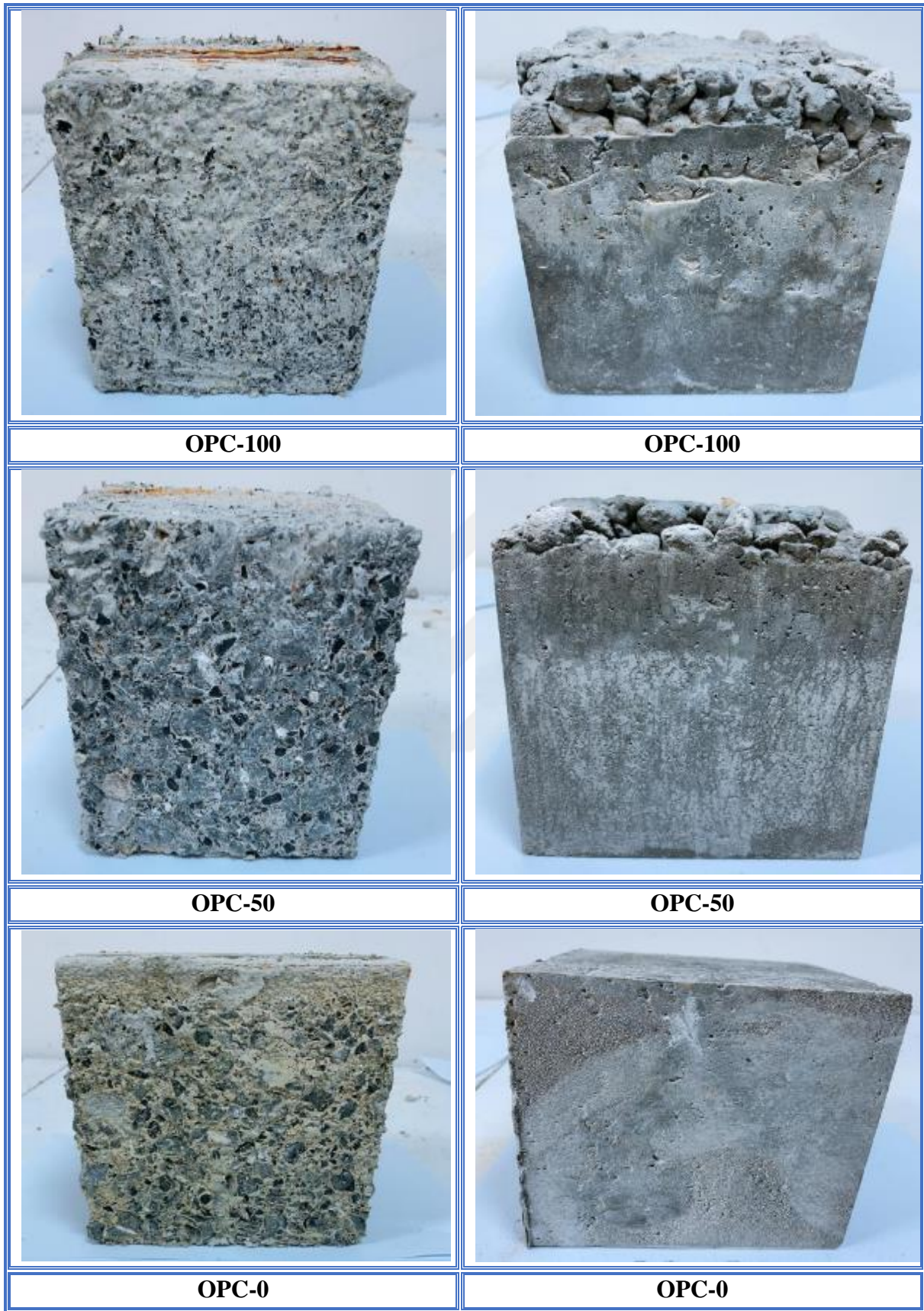


**OPC-S-0**









**OPC-S-0**





Şekil (4.1) 120. günde sülfürik asit ortamında bekletilen ve su ortamında kürlenmiş numuneler

sülfurik asit ortamında bekletilen	Su ortamında kürlenene
	
OPC-FA+S-100	OPC-FA+S-100
	
OPC-FA+S-50	OPC-FA+S-50
	
OPC-FA+S-0	OPC-FA+S-0



**OPC-FA-100**



**OPC-FA-100**



**OPC-FA-50**



**OPC-FA-50**



**OPC-FA-0**



**OPC-FA-0**



**OPC-S-100**



**OPC-S-100**



**OPC-S-50**



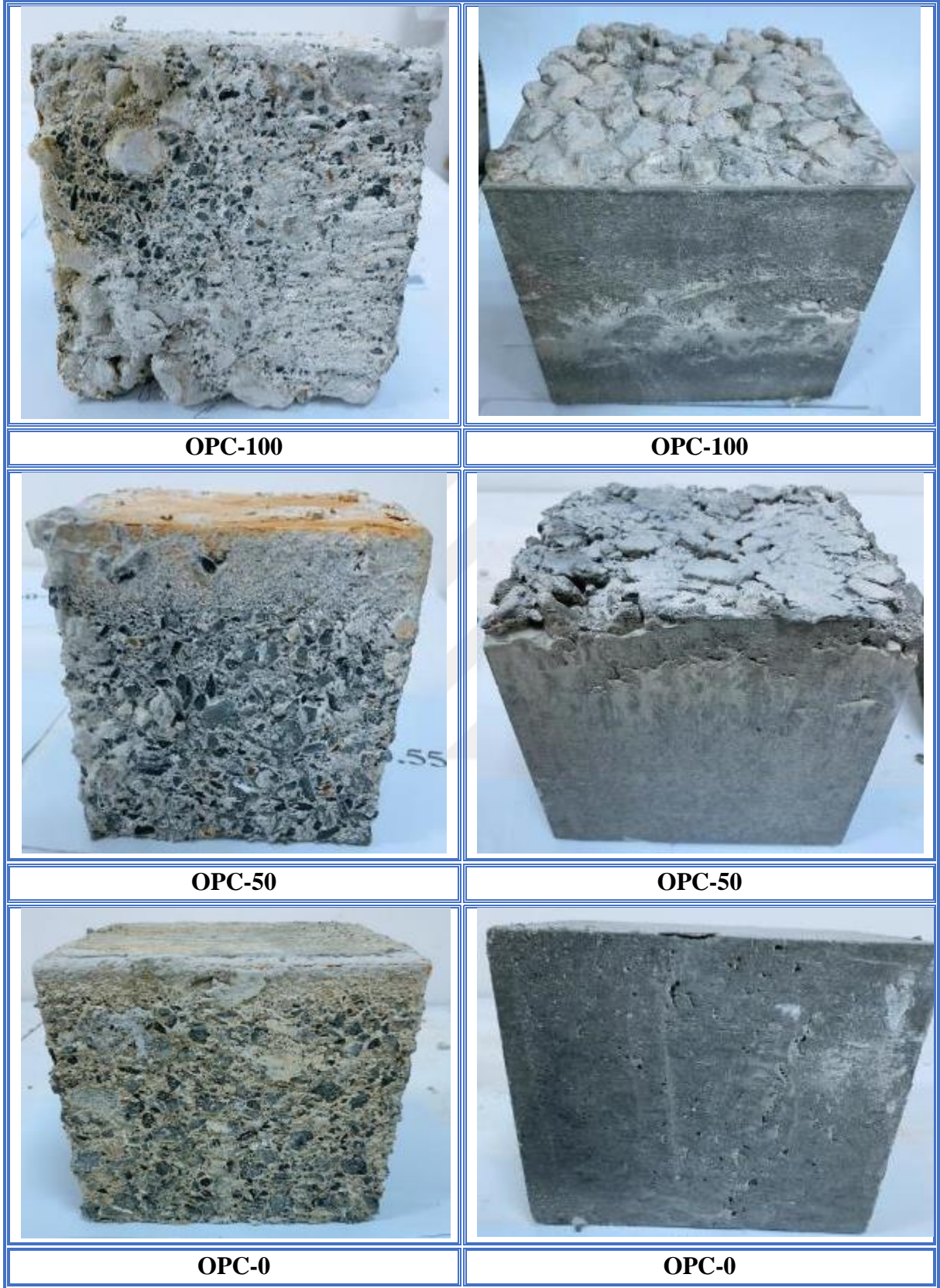
**OPC-S-50**



**OPC-S-0**



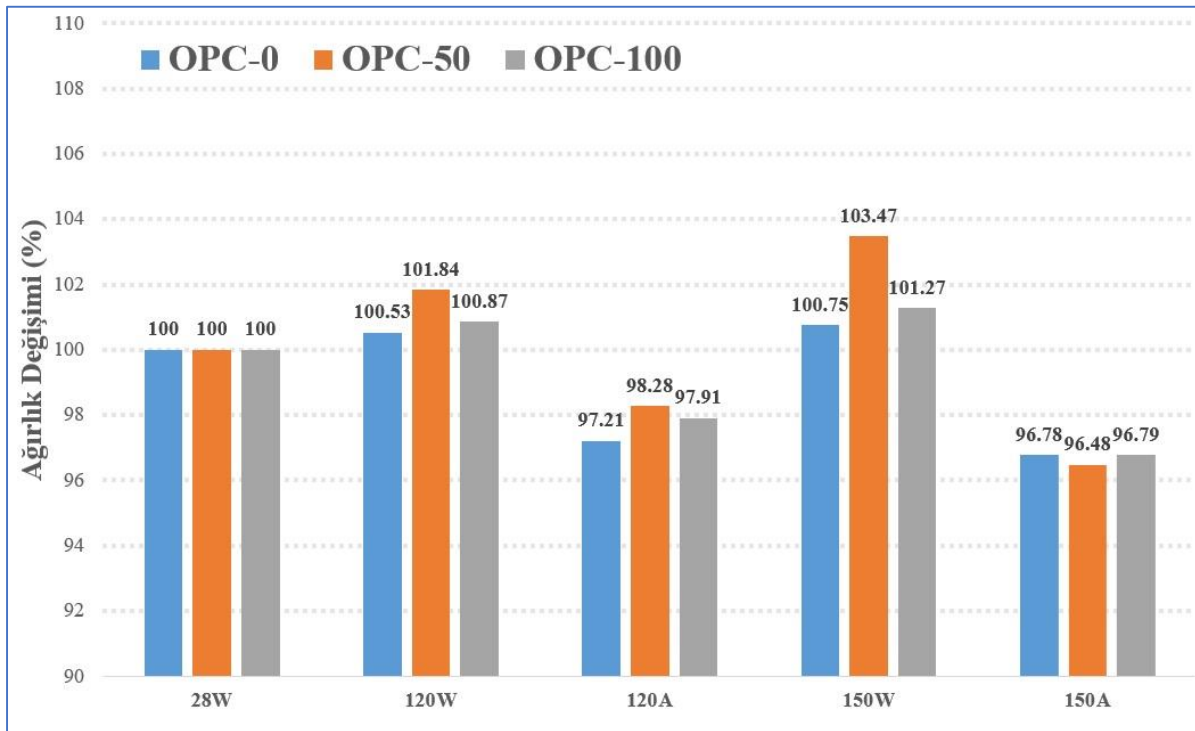
**OPC-S-0**



**Şekil (4.2)** 150. günde sülfirik asit ortamında bekletilen ve su ortamında kürlenen numuneler

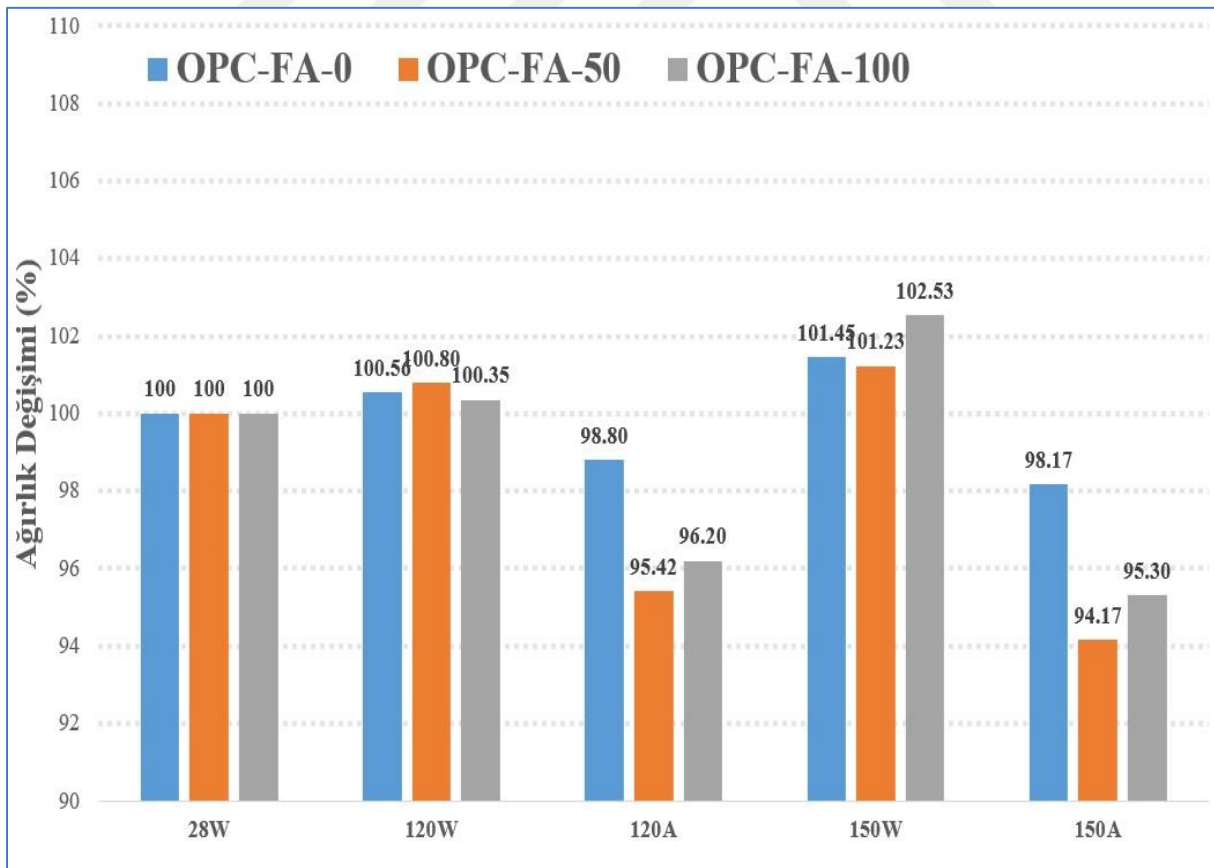
## 4.2 Ağırlık değişimi

Numunelerin ağırlıklarında zamanla meydana gelen değişim betonlardaki bozulmayı ifade etmektedir. Beton ağırlığının çok azalması veya çok artması betonun zararlı kimyasal solüsyondan etkilendiğini göstermektedir. Şekil 4.3’de katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.3’de numune ağırlıklarının 28.güne göre ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.3’de 120.günde su içindeki numuneler 120W olarak, asit içindeki numuneler 120A olarak, 150. günde su içindeki numuneler 150W ve asit içindeki numuneler 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.53 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %1.84 artmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %0.87 artmıştır. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %2.79 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %1.72 azalmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %2.09 azalmıştır. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.75 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %3.47 artmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %1.72 artmıştır. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %3.22 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %3.52 azalmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise % 3.21 azalmıştır.



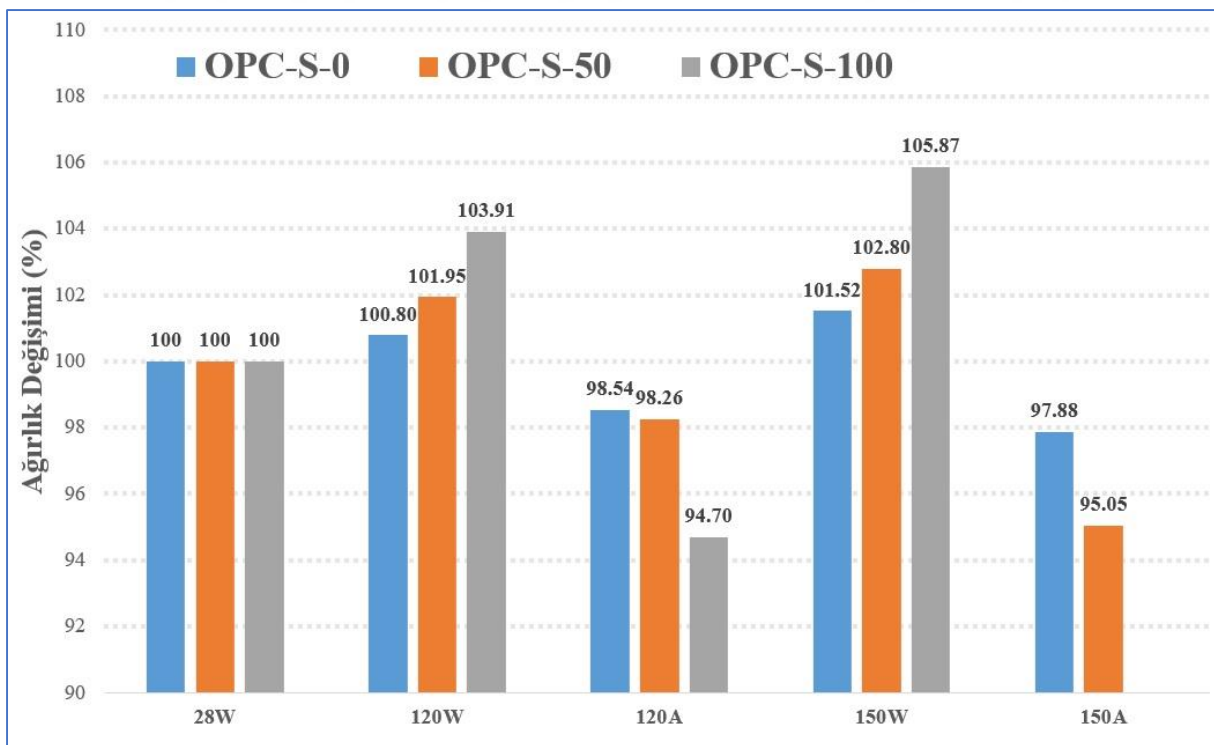
Şekil (4.3) Katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları

Şekil 4.4’de ise uçucu kül katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.4’de numune ağırlıklarının 28.güne göre ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.4’de 120.günde su içindeki numuneler 120W olarak, asit içindeki numuneler 120A olarak, 150. günde su içindeki numuneler 150W ve asit içindeki numuneler 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.56 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %0.80 artmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %0.35 artmıştır. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %1.2 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %4.58 azalmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %3.8 azalmıştır. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %1.45 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %1.23 artmış, ve %100 pomzalı içeren numunelerin ağırlıkları ise %2.53 artmıştır. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %1.83 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %5.83 azalmış, ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise % 4.7 azalmıştır.



Şekil (4.4) Uçucu kül katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları

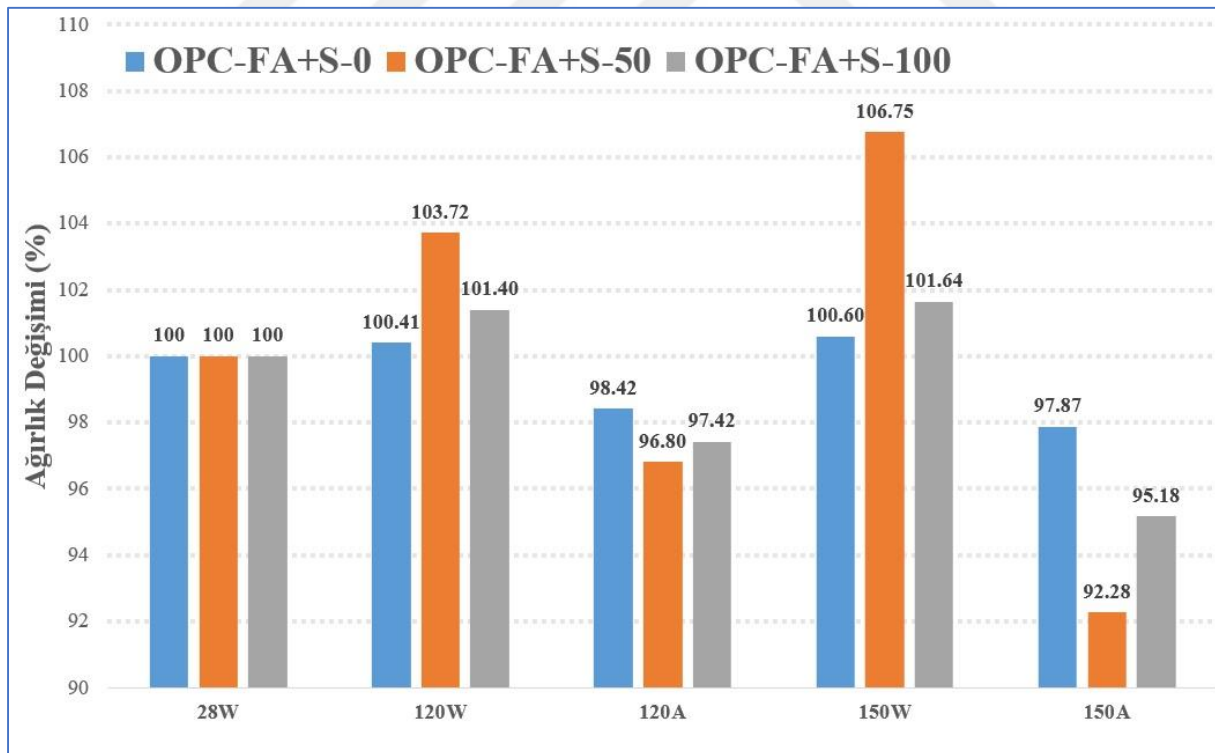
Şekil 4.5’de cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.5’de numune ağırlıklarının 28.güne göre ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.5’de 120.günde su içindeki numuneler 120W olarak, asit içindeki numuneler 120A olarak, 150.günde su içindeki numuneler 150W ve asit içindeki numuneler 150A olarak gösterilmiştir. . Elde edilen sonuçlara göre 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.80 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %1.95 artmış, ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %3.91 artmıştır. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %1.46 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %1.74 azalmış, ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %5.3 azalmıştır. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %1.52 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %2.80 artmış, ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %5.87 artmıştır. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %2.12 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları % 4.95 azalmış, ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise beton asit sonrası ikiye ayrıldığından dolayı ölçülememiştir. Bu numunelerin ikiye ayrılmasının sebebi muhtemelen betonları kalıplardan erken çıkarılmasından dolayı erken yaşlarda hava verilmesi sonucu numunede oluşan hasardan kaynaklanmış olabilir. Bu sebeple cüruf lu numuneler değerlendirme dışı kalmıştır.



Şekil (4.5) Cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları



Şekil 4.6’de uçucu kül ve cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları verilmiştir. Şekil 4.6’de numune ağırlıklarının 28.güne göre ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.6’de 120.günde su içindeki numuneler 120W olarak, asit içindeki numuneler 120A olarak, 150. günde su içindeki numuneler 150W ve asit içindeki numuneler 150A olarak gösterilmiştir. . Elde edilen sonuçlara göre 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.41 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %3.72 artmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %1.40 artmıştır. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %1.58 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %3.2 azalmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %2.58 azalmıştır. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıkları %0.60 artmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %6.75 artmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise %1.64 artmıştır. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin ağırlıkları incelendiğinde pomzasız numunelerin ağırlıklarında %2.13 azalmış, %50 pomzalı numunelerin ağırlıkları %7.72 azalmış ve %100 pomza içeren numunelerin ağırlıkları ise % 4.82 azalmıştır.

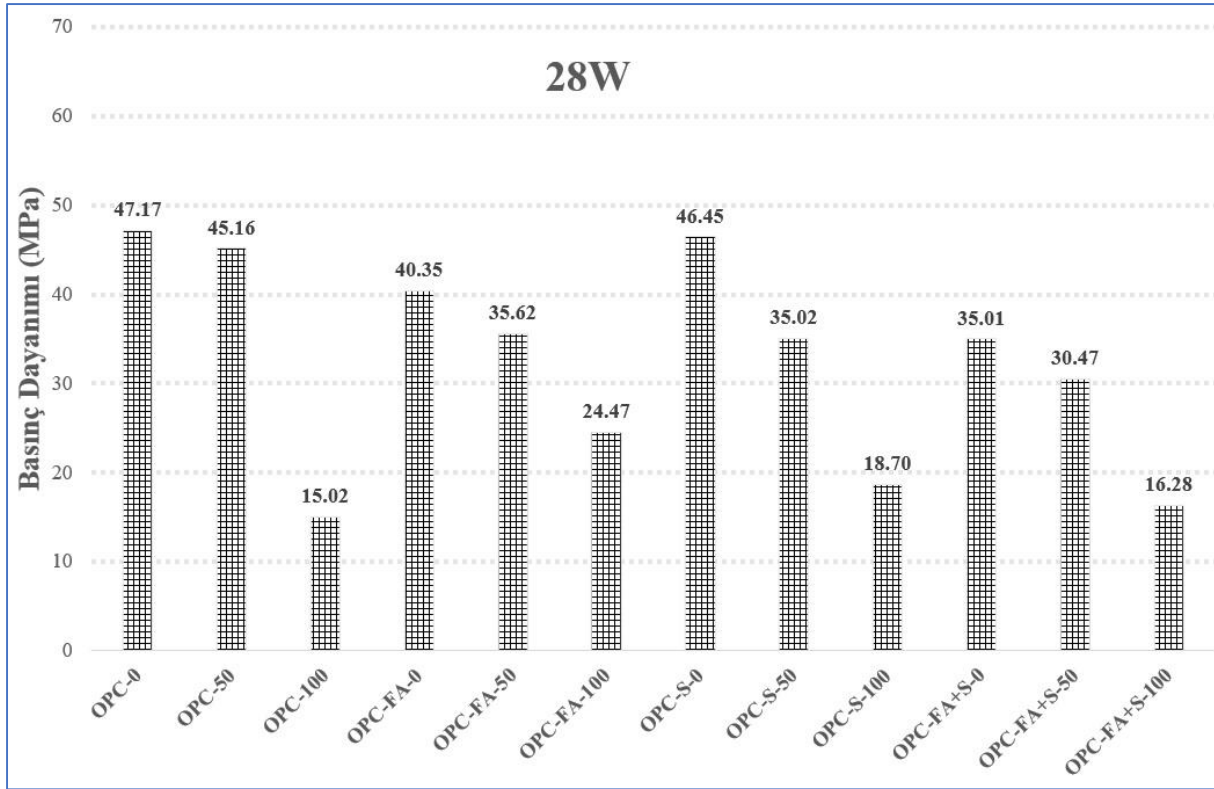


Şekil (4.6) Uçucu kül ve cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki ağırlık değişimi sonuçları

Numunelerde meydana gelen ağırlık değişimi incelendiğinde su ortamında kürlenmiş numunelerin ağırlıklarında artma meydana gelmiştir. Numune dış ortamda bulunan suyu bünyesine çekerek numunelerde şişme yani ağırlık artışı gözlemlenmiştir. Asit ortamında bırakılan numuneler ise ilk önce asit emiliminden dolayı numune ağırlıklarında şişme, daha sonra bu şişme betonun karşılayabileceği çekme gerilmesini aşmasından ötürü betonda çatlama, erzyon, parça dökülmesi nedeniyle numune ağırlıklarında azalma meydana gelmiştir. Numune ağırlıklarındaki azalmanın çok olması o numunenin sülfürik asitten çok etkilendiğini göstermektedir. Pomzasız numuneler incelendiğinde 150.günün sonunda mineral katkılı betonlarda meydana gelen ağırlık azalmasının normal (OPC) betona göre daha az olduğu görülmektedir. Pomzalı betonlar incelendiğinde ise hem %50 pomzalı hem de %100 pomzalı numunelerde normal betonlardaki ağırlık azalmasının mineral katkılı betonlardaki ağırlık azalmalarına benzer olduğu görülmektedir.

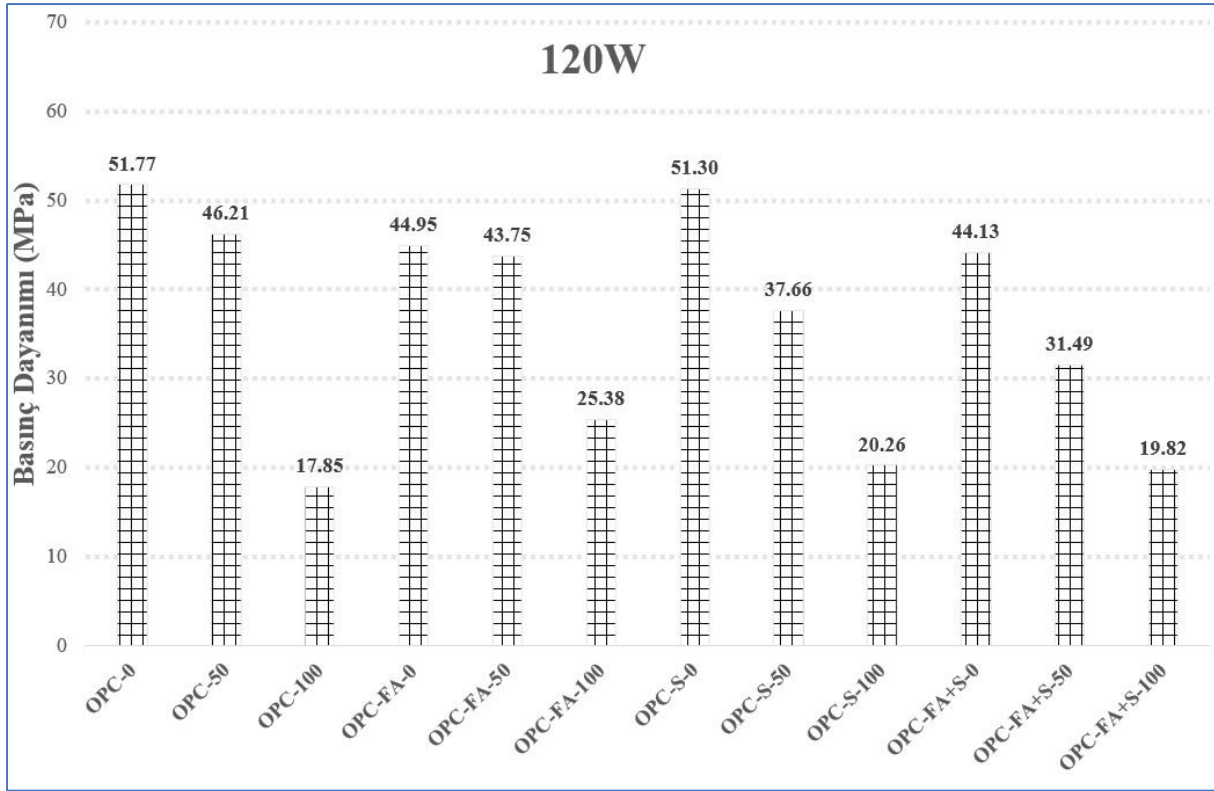
### **4.3 Basınç dayanımı**

Şekil 4.7’de 28.günde su ortamında kürlenmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomzasız kontrol betonu (mineral katkısız) 47.17 MPa, %50 pomzalı kontrol betonu 45.16MPa, %100 pomza içeren kontrol numunelerin basınç dayanımı ise 15.02 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül katkılı betonlar incelendiğinde ise, 28. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 40.35 MPa, 35.62 MPa ve 24.47 MPa bulunmuştur. Cüruf katkılı betonlar incelendiğinde ise, 28. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 46.45 MPa, 35.02 MPa ve 18.70 MPa olarak elde edilmiştir. Hem uçucu kül hem de cüruf katkılı betonlar incelendiğinde 28.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 35.01 MPa, 30.47 MPa ve 16.28 MPa olarak elde edilmiştir. 28. günde en yüksek basınç dayanımı kontrol betonlarında (mineral katkısız) elde edilmiştir. %50 pomza içeren numunelerde ise 28. günde en yüksek basınç dayanımı kontrol numunelerinde olurken, %100 pomza içeren numunelerde ise uçucu küllü betonlarda ortaya çıkmıştır.



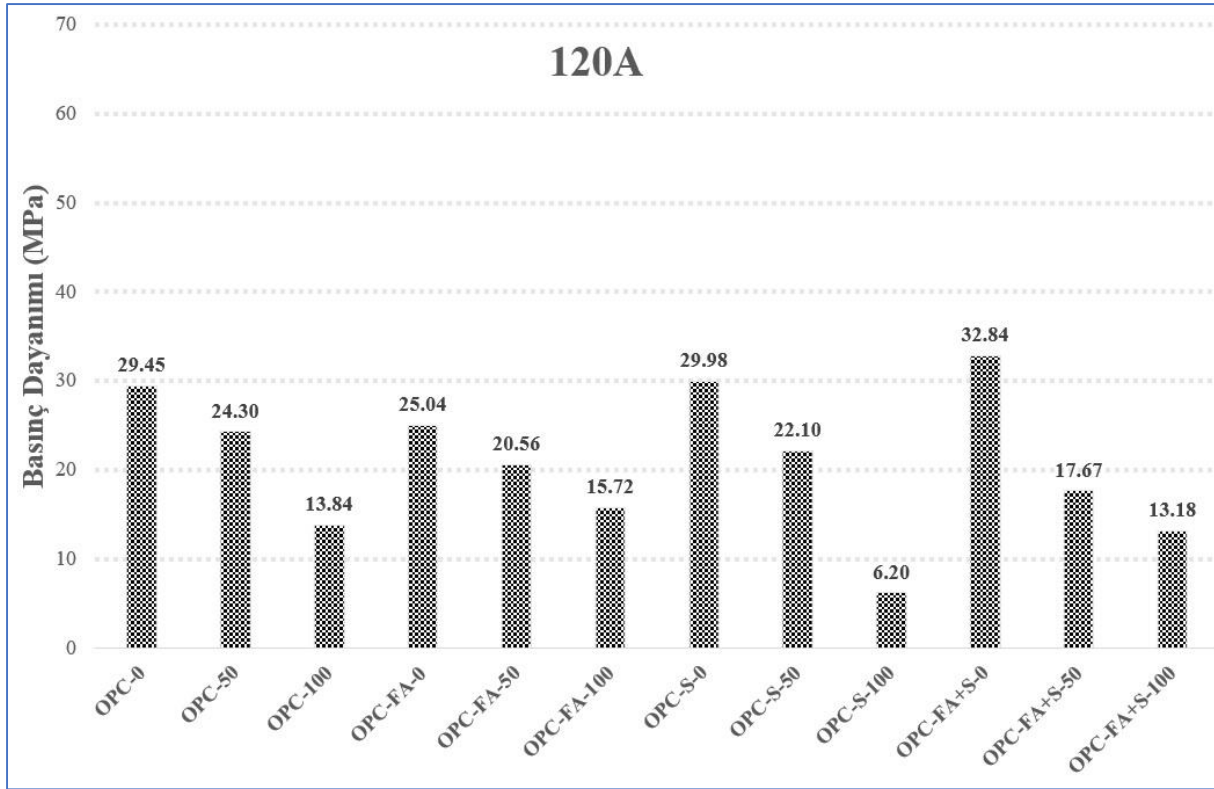
**Şekil (4.7)** Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.8’de 120.günde su ortamında kürlenmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomzasız kontrol betonu 51.77 MPa, %50 pomzalı kontrol betonu 46.21 MPa, %100 pomza içeren kontrol numunelerin basınç dayanımı ise 17.85 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül katkılı betonlar incelendiğinde ise, 120. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 44.95 MPa, 43.75 MPa ve 25.38 MPa bulunmuştur. Cüruf katkılı betonlar incelendiğinde ise, 120. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 51.30 MPa, 37.66 MPa ve 20.26 MPa olarak elde edilmiştir. Hem uçucu kül hem de cüruf katkılı betonlar incelendiğinde 120.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 44.13 MPa, 31.49 MPa ve 19.82 MPa olarak elde edilmiştir. 120.günde su ortamında kürlenmiş pomzasız betonlarda en yüksek basınç dayanımı cüruf ve normal betonlarda olmuştur. %50 ve %100 pomza içeren betonlarda en yüksek basınç dayanımı uçucu küllü betonlarda meydana gelmiştir.



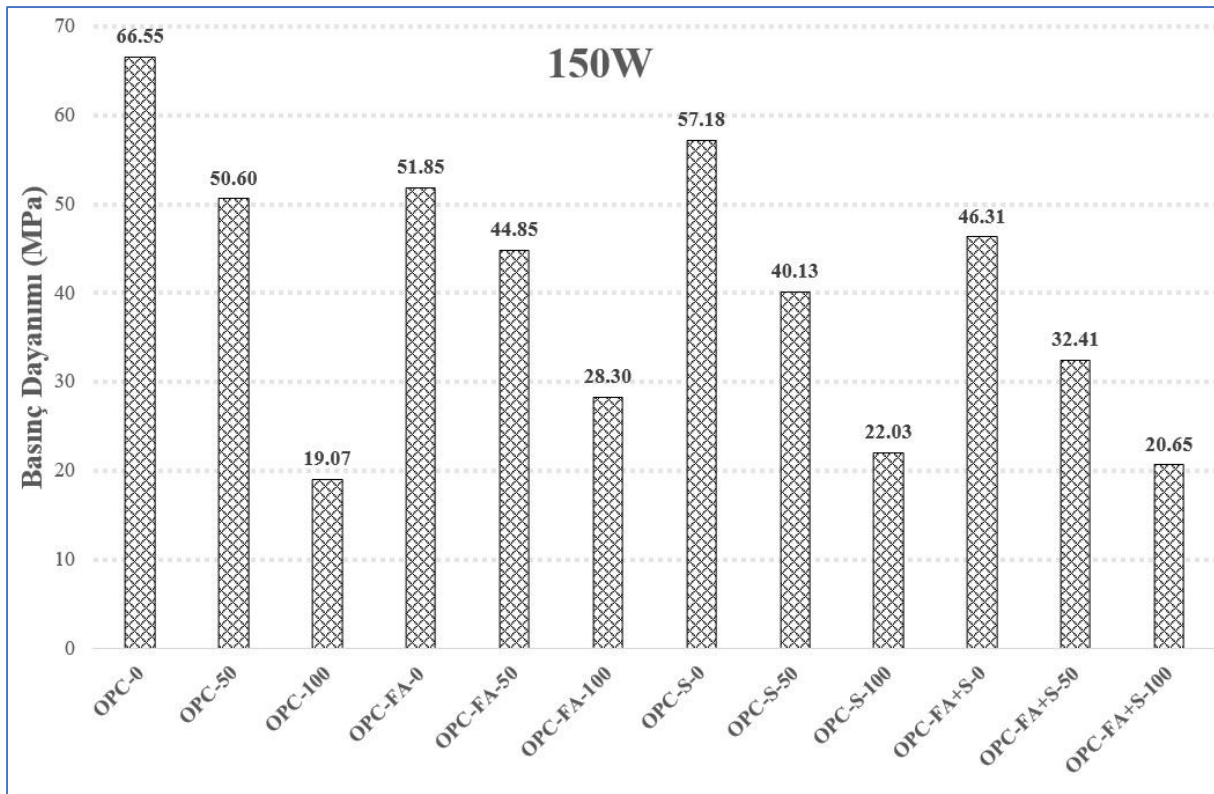
**Şekil (4.8)** Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 120 günlük basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.9’de 120.günde sülfürik asit ortamında kürlenmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomzasız kontrol betonu 29.45 MPa, %50 pomzalı kontrol betonu 24.30 MPa, %100 pomza içeren kontrol numunelerin basınç dayanımı ise 13.84 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül katkıli betonlar incelendiğinde ise, 120.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 25.04 MPa, 20.56 MPa ve 15.72 MPa bulunmuştur. Cüruf katkıli betonlar incelendiğinde ise, 120.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 29.98 MPa, 22.10 MPa ve 6.20 MPa olarak elde edilmiştir. Hem uçucu kül hem de cüruf katkıli betonlar incelendiğinde 120.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 32.84 MPa, 17.67 MPa ve 13.18 MPa olarak elde edilmiştir. 120.günde sülfürik asit ortamına maruz kalan pomzasız betonlarda en yüksek basınç dayanımı cüruf+uçucu kül içeren betonlarda olmuştur. %50 pomza içeren betonlarda en yüksek basınç dayanımı normal betonlarda meydana gelirken, %100 pomza içeren betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı uçucu küllü numunelerde meydana gelmiştir.



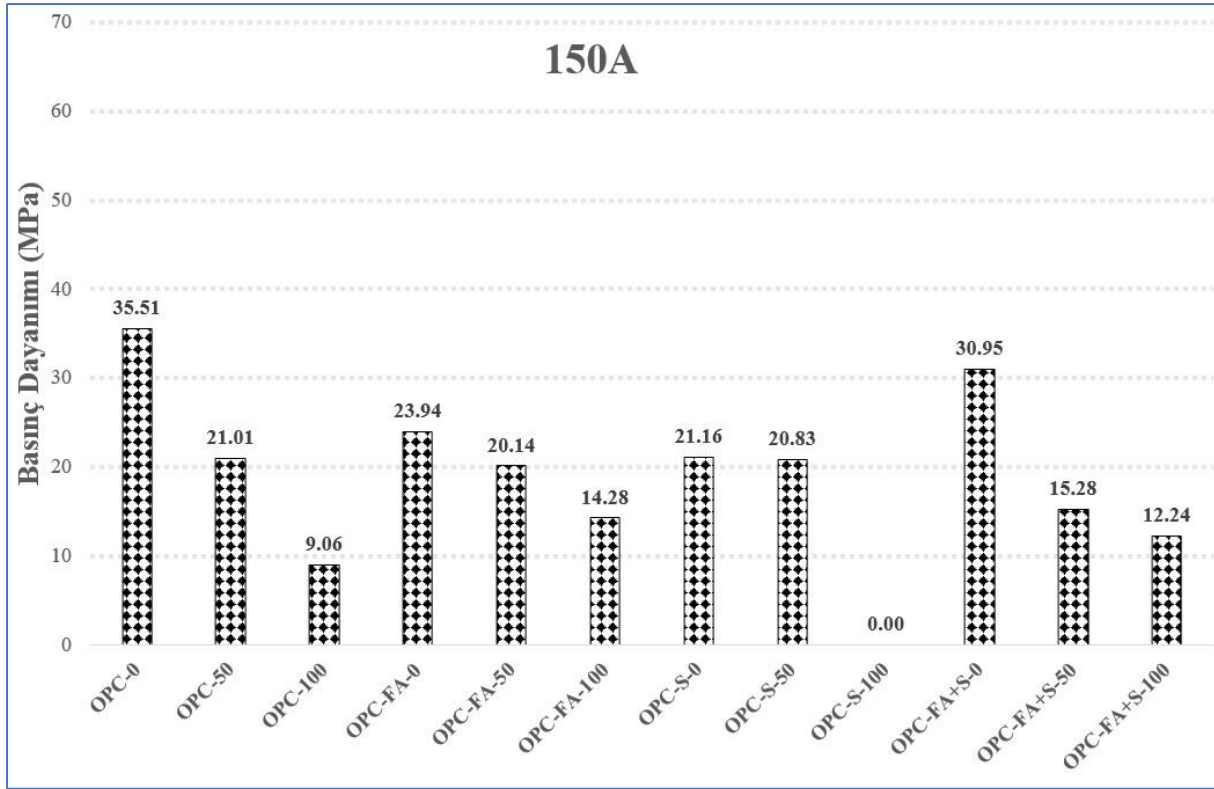
**Şekil (4.9)** Sülfürik asite maruz kalan farklı betonların 120. gündeki basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.10'de 150.günde su ortamında kürlenmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomzasız kontrol betonu 66.55 MPa, %50 pomzalı kontrol betonu 50.60 MPa, %100 pomza içeren kontrol numunelerin basınç dayanımı ise 19.07 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül katkılı betonlar incelendiğinde ise, 150. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 51.85 MPa, 40.13 MPa ve 28.30 MPa bulunmuştur. Cüruf katkılı betonlar incelendiğinde ise, 150. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 57.18 MPa, 40.13 MPa ve 22.03 MPa olarak elde edilmiştir. Hem uçucu kül hem de cüruf katkılı betonlar incelendiğinde 150.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 46.31 MPa, 32.41 MPa ve 20.65 MPa olarak elde edilmiştir. 150.günde su ortamında kürlenmiş pomzasız ve %50 pomza içeren betonlarda en yüksek basınç dayanımı normal betonlarda olmuştur. %100 pomza içeren betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı uçucu küllü betonlarda meydana gelmiştir.



**Şekil (4.10)** Su ortamında kür uygulanan farklı betonların 150 günlük basınç dayanımı sonuçları

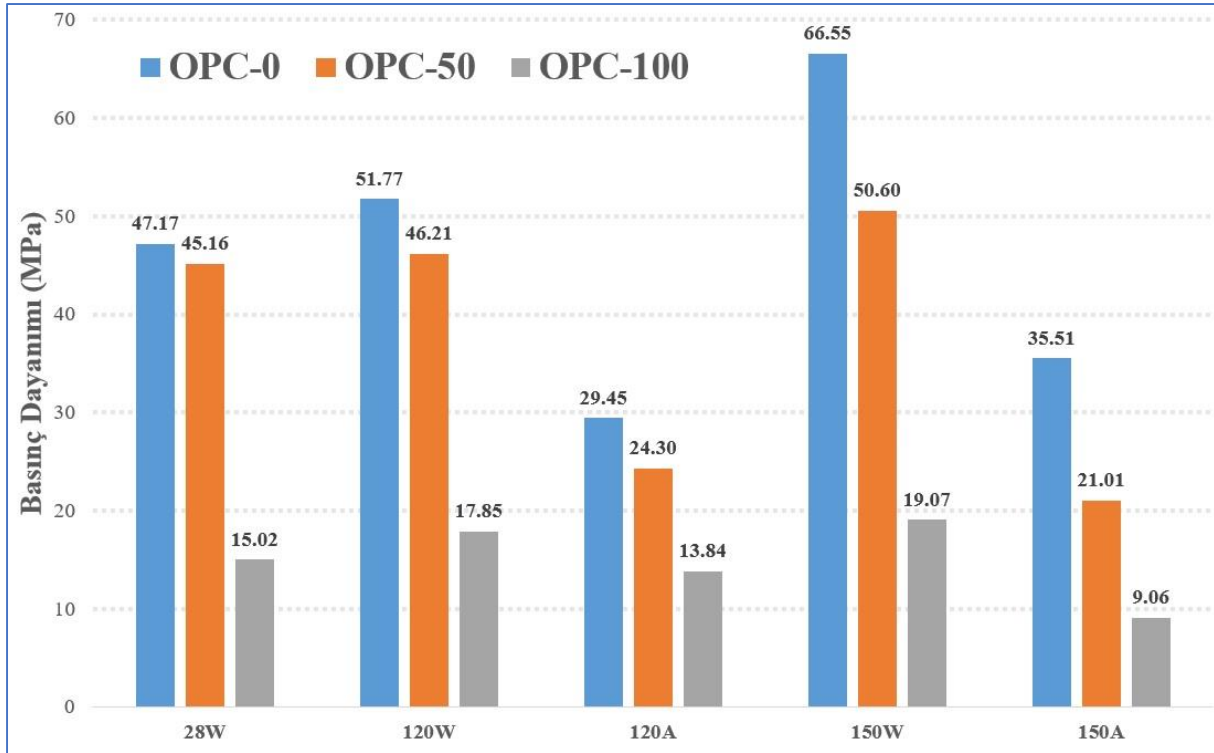
Şekil 4.11’de 150.günde sülfürik asit ortamında kürlenmiş numunelerin ortalama basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pomzasız kontrol betonu 35.51 MPa, %50 pomzalı kontrol betonu 21.01 MPa, %100 pomza içeren kontrol numunelerin basınç dayanımı ise 9.06 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül katkıli betonlar incelendiğinde ise, 150. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 23.94 MPa, 20.14 MPa ve 14.28 MPa bulunmuştur. Cüruf katkıli betonlar incelendiğinde ise, 150. günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 21.16 MPa, 20.83 MPa ve 0 MPa olarak (tamamen başarısız olmuş ve iki parçaya ayrılmış) elde edilmiştir. Hem uçucu kül hem de cüruf katkıli betonlar incelendiğinde 150.günde pomzasız, %50 pomzalı ve %100 pomzalı betonların basınç dayanımları sırasıyla 30.95 MPa, 15.28 MPa ve 12.24 MPa olarak elde edilmiştir. 150.günde sülfürik asite maruz kalan pomzasız ve %50 pomza içeren betonlarda en yüksek basınç dayanımı normal betonlarda olmuştur. %100 pomza içeren betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı uçucu küllü betonlarda meydana gelmiştir.



Şekil (4.11) Sülfürik asite maruz farklı betonların 150. günde basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.12’de Katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki numunelerin basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Şekil 4.12’de 28. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 28W olarak, 120.günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120W olarak, asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120A olarak, 150. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150W olarak ve asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 28.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 47.17 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 45.16 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 15.02 MPa olarak bulunmuştur. 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 51.77 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 46.21 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 17.85 MPa olarak elde edilmiştir. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 29.45 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 24.30 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 13,84 MPa olarak elde edilmiştir. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 66.55 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 50.60 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 19.07 MPa olarak bulunmuştur.

150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 35.51 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 21.01 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 9.06 MPa olarak elde edilmiştir.

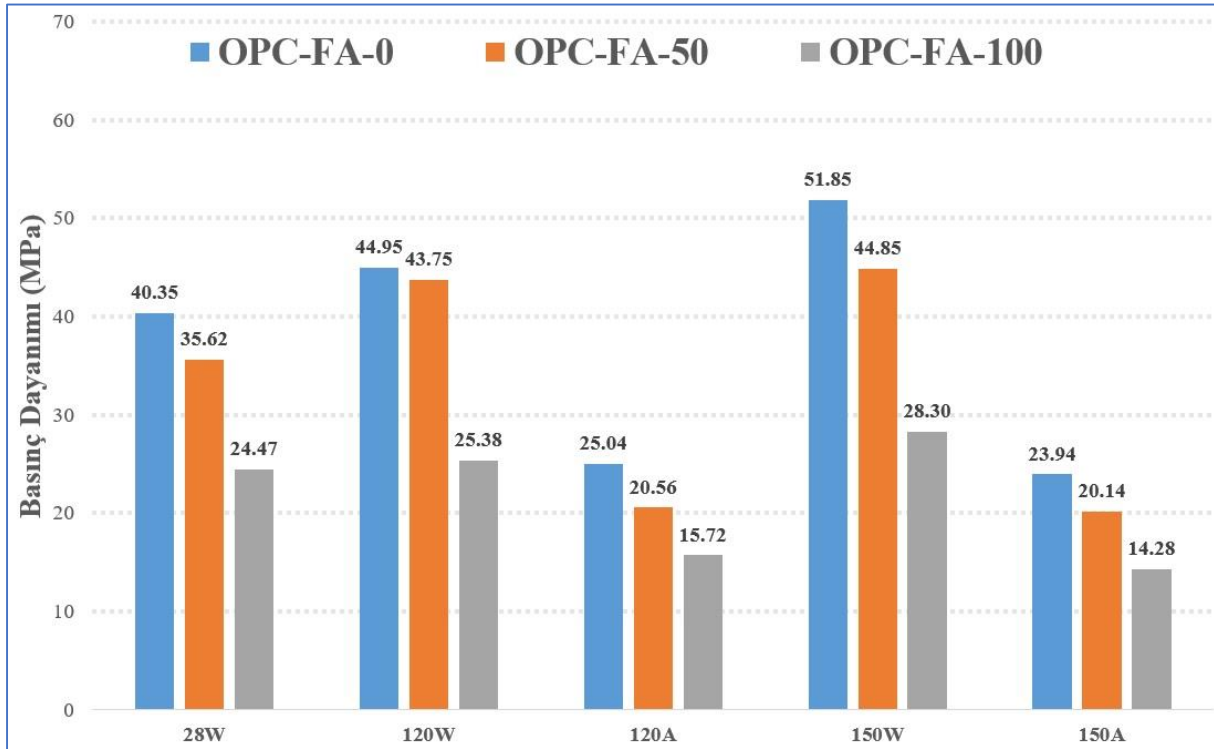


Şekil (4.12) Katkısız Portland çimentolu betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımları

Şekil 4.13’de Uçucu kül katkılı betonların farklı ortamlardaki numunelerin basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Şekil 4.13’de 28. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 28W olarak, 120.günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120W olarak, asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120A olarak, 150. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150W olarak ve asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 28.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 40.35 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 35.62 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 24.47 MPa olarak bulunmuştur. 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 44.95 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 43.75 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 25.38 MPa olarak elde edilmiştir. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 25.04 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 20.56 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 15.72 MPa olarak



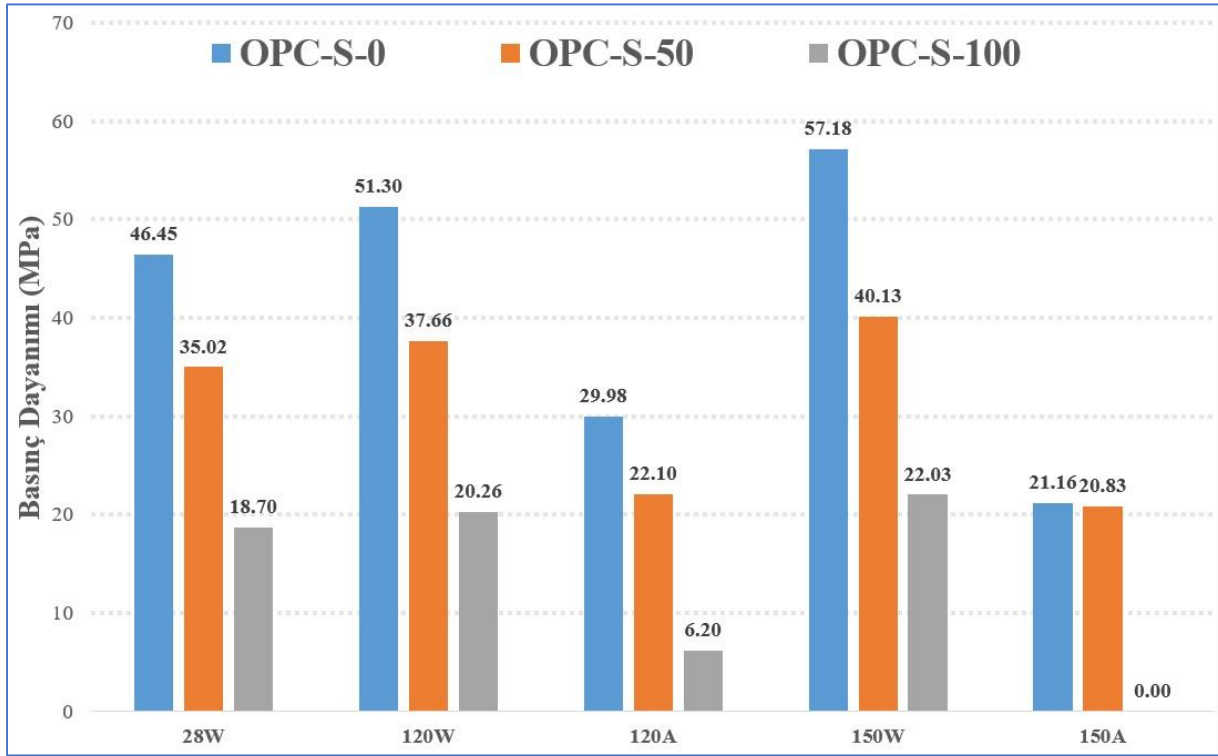
elde edilmiştir. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 51.85 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 44.85 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 28.30 MPa olarak bulunmuştur. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 23.94 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 20.14 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 14.28 MPa olarak elde edilmiştir.



**Şekil (4.13)** Uçucu kül katkılı betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları

Şekil 4.14’de Cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki numunelerin basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Şekil 4.14’de 28. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 28W olarak, 120.günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120W olarak, asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120A olarak, 150. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150W olarak ve asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 28.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 46.45 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 35.02 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 18.70 MPa olarak bulunmuştur. 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 51.30 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 37.66 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 20.26 MPa olarak elde

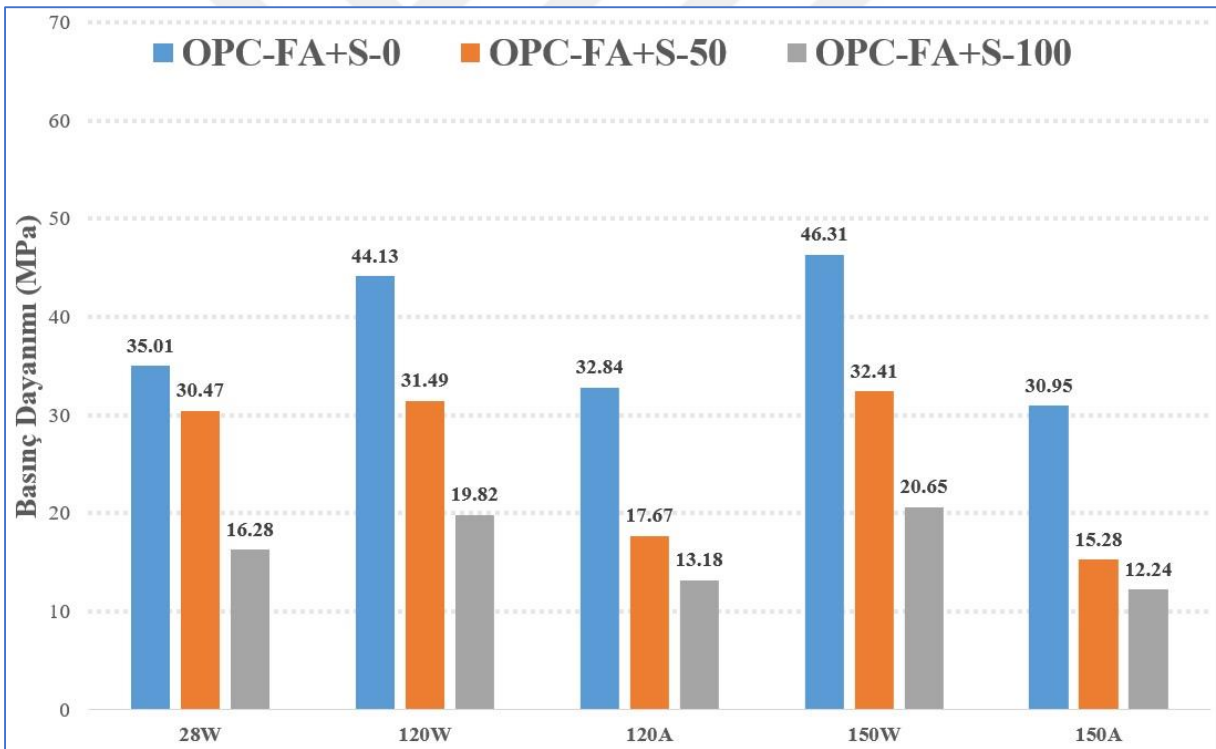
edilmiştir. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 29.98 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 22.10 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 6.20 MPa olarak elde edilmiştir. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 57.18 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 40.13 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 22.03 MPa olarak bulunmuştur. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 21.16 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 20.83 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 0.00 MPa olarak (tamamen başarısız olmuş ve iki parçaya ayrılmış) elde edilmiştir.



Şekil (4.14) Cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları

Şekil 4.15’de Uçucu kül ve cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki numunelerin basınç dayanımı sonuçları MPa olarak verilmiştir. Şekil 4.15’de 28. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 28W olarak, 120.günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120W olarak, asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 120A olarak, 150. günde su içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150W olarak ve asit içindeki numunelerin basınç dayanımı sonuçları 150A olarak gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 28.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 35.01

MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 30.47 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 16.28 MPa olarak bulunmuştur. 120.günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 44.13 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 31.49 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 19.82 MPa olarak elde edilmiştir. 120. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 32.84 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 17.67 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 13.18 MPa olarak elde edilmiştir. 150. günde su içinde numuneler incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 46.31 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 32.41 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 20.65 MPa olarak bulunmuştur. 150. günde asit ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde pomzasız numunelerin basınç dayanımı 30.95 MPa, %50 pomzalı numunelerin basınç dayanımı 15.28 MPa ve %100 pomza içeren numunelerin basınç dayanımı ise 12.24 MPa olarak elde edilmiştir.



**Şekil (4.15)** Uçucu kül ve cüruf katkılı betonların farklı ortamlardaki basınç dayanım sonuçları

Çizelge 4.1’de %50 ve %100 pomzalı betonların pomzasız betonlara göre basınç dayanımı (%) 28.gün, 120.gün, ve 150. günlerde hem asit hem de su ortamında verilmiştir. Farklı günlerde ve ortamlarda elde edilen ortalama sonuçlara göre, %50 ve %100 pomzalı normal betonların

basınç dayanımı pomzasız normal betonların basınç dayanımlarına göre sırasıyla %19 ve %67 azalmıştır. %50 ve %100 pomzalı uçucu küllü betonların basınç dayanımı pomzasız uçucu küllü betonların basınç dayanımlarına göre sırasıyla %12 ve %41 azalmıştır. %50 ve %100 pomzalı cürüflü betonların basınç dayanımı pomzasız cürüflü betonların basınç dayanımlarına göre sırasıyla %22 ve %65 azalmıştır. %50 ve %100 pomzalı cüruf+uçucu küllü betonların basınç dayanımı pomzasız cüruf+uçucu küllü betonların basınç dayanımlarına göre sırasıyla %34 ve %57 azalmıştır. %50 pomza ve %100 pomza eklenmesi sonucu basınç dayanımlarında en fazla azalma normal betonlarda ve cürüflü betonlarda meydana gelmiştir. Basınç dayanımlarında en düşük azalma ise uçucu küllü betonlarda meydana gelmiştir. Sonuçlara göre, pomza eklenmesiyle oluşan fazla basınç kaybı normal ve cürüflü betonlarda (fazla CaO içeren betonlar), düşük basınç kaybı ise uçucu küllü betonda (düşük CaO içeren beton) ortaya çıkmıştır. Bu durumda iki olasılık vardır. Pomzanın Si ve Al bakımından zengin olması uçucu külün (Al ve Si bakımından zengin) aktiflik derecesini artırarak basınç dayanım kaybını önlemiş olabilir.

**Çizelge (4.1)** %50 ve %100 pomzalı betonların pomzasız betonlara göre basınç dayanımı (%)

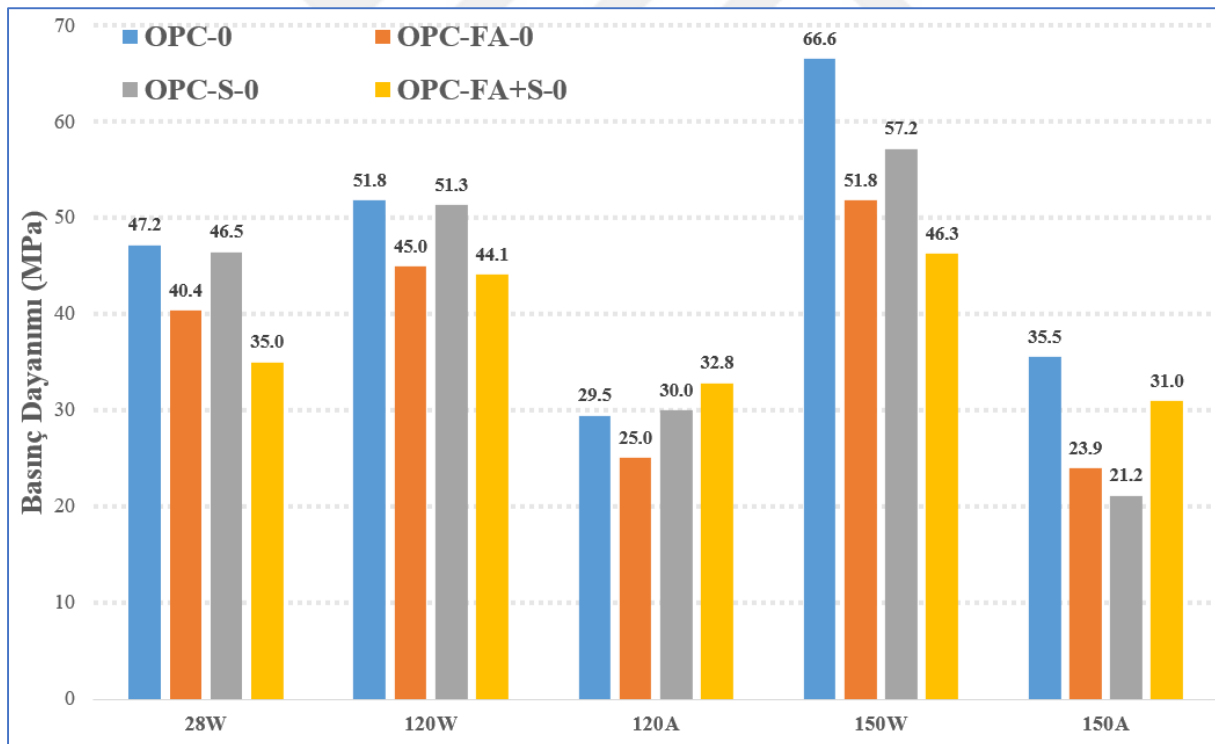
Numune	28W	120W	120A	150W	150A	Ortalama
<b>OPC-0</b>	100	100	100	100	100	-
<b>OPC-50</b>	96	89	83	76	59	<b>81</b>
<b>OPC-100</b>	32	34	47	29	26	<b>33</b>
<b>OPC-FA-0</b>	100	100	100	100	100	-
<b>OPC-FA-50</b>	88	97	82	87	84	<b>88</b>
<b>OPC-FA-100</b>	61	56	63	55	60	<b>59</b>
<b>OPC-S-0</b>	100	100	100	100	100	-
<b>OPC-S-50</b>	75	73	74	70	98	<b>78</b>
<b>OPC-S-100</b>	40	39	21	39	-	<b>35</b>
<b>OPC-FA+S-0</b>	100	100	100	100	100	-
<b>OPC-FA+S-50</b>	87	71	54	70	49	<b>66</b>
<b>OPC-FA+S-100</b>	46	45	40	45	40	<b>43</b>

Çizelge 4.2’de numunelerin 120. ve 150.günlerde asit ortamı/su ortamı basınç dayanımı oranı (%) sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.2’de sırasıyla 120. ve 150. günlerde asit ortamına maruz kalan betonların basınç dayanımları yine aynı günlerde su ortamında kürlenmiş numunelerin basınç dayanımlarına bölünmüştür ve elde edilen değer % olarak çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sülfürik asit dolayısıyla oluşan dayanım kaybı zamanla artmaktadır.

Sonuçlara göre uçucu kül+cüruf içeren numuneler sülfürik asit ortamından en az etkilenen betonlar olurken, en çok etkilenen betonlar ise normal betonlarla cürufllu betonlar olmuştur.

**Çizelge ( 4.2)** Numunelerin 120. ve 150.günlerde asit ortamı/su ortamı basınç dayanımı oranı (%)

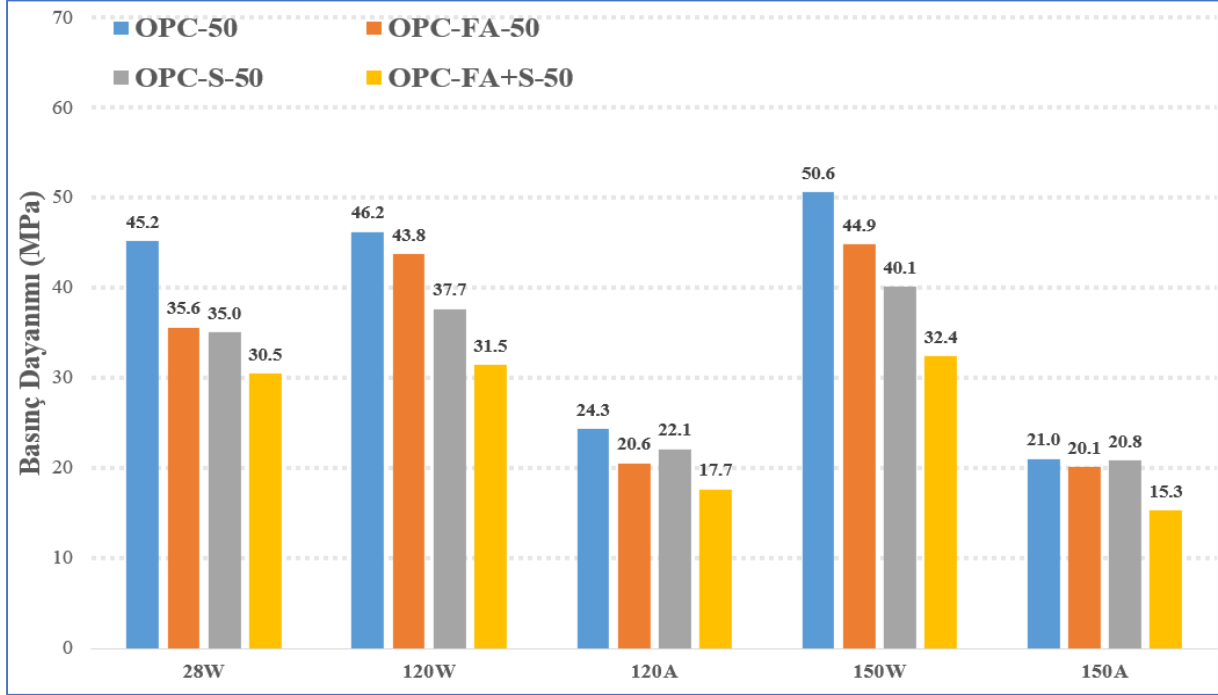
Numune	120A/120W	150A/150W
OPC-0	56.89	53.36
OPC-50	52.60	41.52
OPC-100	77.57	47.51
OPC-FA-0	55.71	46.17
OPC-FA-50	46.99	44.90
OPC-FA-100	61.94	50.47
OPC-S-0	58.43	37.00
OPC-S-50	58.69	51.90
OPC-S-100	30.60	-
OPC-FA+S-0	74.40	66.84
OPC-FA+S-50	56.11	47.14
OPC-FA+S-100	66.47	59.25



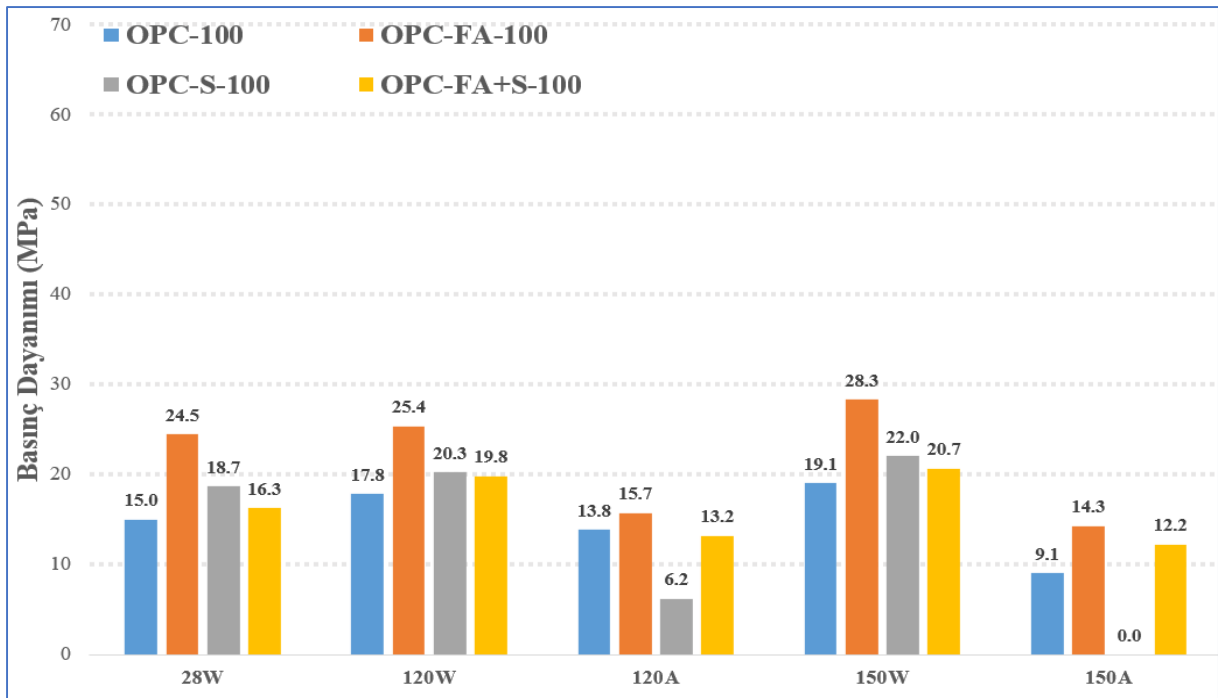
**Şekil (4.16)** Pomzasız betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.16’de ise pomzasız betonların basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre pomzasız betonlarda en yüksek dayanımı normal betonlar (OPC-0) vermiştir. Pomzasız betonlar incelendiğinde 150A ortamı haricinde cürufllu betonların basınç dayanımının normal betonlara benzer olduğu görülmektedir. Bu nedenle k faktörü olarak cürufllu 0.8

kullanımı uygun gözükmemektedir. Uçucu küllü numuneler ise normal betonlardan yaklaşık 6 MPa daha düşük sonuçlar vermektedir. %30 uçucu kül katkılı numunelerde k faktörünün 0.4 yerine 0.35 alınması eşit basınç dayanımının elde edilmesi bakımından yararlı olabilir. Hem cüruf hem de uçucu kül içeren numunelerde ise cüruf ve uçucu kül k faktörlerinin yeniden değerlendirilmesi/azaltılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil (4.17) %50 pomza katkılı betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları



Şekil (4.18) %100 pomza katkılı betonların farklı ortamlardaki basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4.17'de %50 pomza içeren betonların farklı ortamlarda basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre normal betonlarda en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Fakat farklı tip betonlar arasındaki basınç dayanımı farkları pomzasız betonlara göre daha az olmuştur. Şekil 4.18'da ise %100 pomza içeren betonların farklı ortamlarda basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre %100 pomza içeren numunelerde tüm farklı ortamlarda uçucu küllü betonlar daha iyi basınç dayanımı sonuçları vermiştir. %100 pomza içeren normal betonların basınç dayanımı düşük bulunmuştur. Pomza içeriğindeki Si ve Al bakımından zengin olması uçucu külün aktivasyonunu artırması bakımından önemli olabilir. Yani pomza içeren betonlarda k faktörü bir miktar artabilir. Bu elde edilen bulguları doğrulamak için farklı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır.



## 5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında dört farklı betonlar; normal beton (mineral katkısız), cüruf katkılı, uçucu kül katkılı, ve uçucu kül+cüruf katkılı kullanılmıştır. Pomza oranları olarak ise her farklı tipte beton için %0, %50 ve %100 pomza iri agrega yerine kullanılmış olup, yarı hafif ve hafif betonlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında OPC-0, OPC-50, OPC-100, OPC-FA-0, OPC-FA-50, OPC-FA-100, OPC-S-0, OPC-S-50, OPC-S-100, OPC-FA+S-0, OPC-FA+S-50, OPC-FA+S-100 betonları elde edilmiştir. Üretilen bu pomzalı betonlardan bazıları suda kürlenerek 28., 120., ve 150. günlerde basınç testleri yapılarak basınç dayanımlarının zamanla gelişimi araştırılmıştır. Üretilen diğer betonlar 28 gün boyunca su kürüne tabii tutulmasının ardından %5 sülfürik asit solüsyonuna konulmuştur. Pomzalı-pomzasız betonlar durabilite testleri öncesi 120. ve 150. günlerde sülfürik asit solüsyonundan çıkarılarak kurumaları amacıyla için laboratuvar ortamına bırakılmıştır. Pomzalı-pomzasız betonlarda görsel denetim, ağırlık değişimi ve basınç mukavemeti testleri yapılarak betonlarda dayanım ve durabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre:

- Görsel inceleme sonuçlarına göre, sülfürik asit etkisi sonrası numunelerin dış yüzeyinde etrenjit ve alçıtaşı oluşumuna bağlı olarak erezyon ve beyaz lekeler oluşmuştur. Oluşan erezyon ve beyaz lekeler sülfürik asit etkisine bağlı olarak zamanla artmıştır. Betonlar karşılaştırıldığında ise normal betonlarda (OPC) ve cüruf katkılı betonlarda (OPC+S) daha fazla beyaz leke ve erezyon olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak çimento ve cüruftaki CaO miktarının yüksek olması gösterilebilir.
- Ağırlık değişimi sonuçları incelendiğinde su kürü uygulanan numunelerin ağırlıklarında su emiliminden dolayı zamanla artma meydana gelmiştir. Sülfürik asite maruz kalan numunelerin ağırlıkları da zamanla azalmıştır. Pomzasız betonlarda normal betonlarda gerçekleşen ağırlık kaybı mineral katkılı betonlara göre biraz daha fazla olurken, pomza içeren numunelerde ağırlık kayıplarının normal betonlarla benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Basınç dayanımı sonuçlarına göre, su kürü uygulanan numunelerde pomzalı ve pomzasız numunelerin basınç dayanımı zamanla artarken, sülfürik asite maruz kalan numunelerin basınç dayanımı zamanla azalmıştır.
- Aynı su/bağlayıcı oranına sahip pomzasız ve %50 pomzalı betonlarda en yüksek basınç dayanımına sahip betonlar normal (OPC) betonlar olurken, %100 pomza içeren betonlarda ise en yüksek basınç dayanımı uçucu küllü betonlarda elde edilmiştir. Pomza



eklenmesiyle basınç dayanımı en çok azalan numuneler normal betonlar ile cürüflü betonlar olmuştur.

- TS 13515 standardındaki k-değeri dikkate alınarak tasarlanan betonların basınç dayanımı sonuçlarına göre, k-değeri cürüflü numuneler için 0.8 olarak uygun gözüldürken, uçucu küllü numuneler için standartta belirtilen 0.4 yerine 0.35 alınmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca cüruf ile uçucu külün beraber kullanılması durumunda k değerinin tekrar hesaplanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Çünkü uçucu kül ve cürüflü numuneler aynı su/bağlayıcı oranına sahip olmasına rağmen daha düşük basınç dayanımı sonuçları vermektedir.
- 120. ve 150. günlerde sülfürik asit dolayısıyla meydana gelen en az dayanım kaybı uçucu kül+cüruf içeren betonlarda meydana gelirken, en fazla dayanım kaybı ise 120.günde cüruf katkılı betonlarda olmuştur. En fazla dayanım kaybının cürüflü betonda olmasının sebebi çimento ve cüruftaki yüksek CaO miktarından kaynaklanmaktadır.
- Pomzalı ile pomzasız betonların sülfürik asit performanları incelendiğinde çok belirgin bir fark bulunmamaktadır. Yani iri agrega yerine pomza kullanımı %5 sülfürik asit etkisinde herhangi bir dezavantaj yaratmamaktadır. Yapısal betonlarda kullanım açısından %50 pomza yapılarda kullanılması tavsiye edilmektedir. %100 pomza kullanımı aynı su/bağlayıcı oranına sahip betonların basınç dayanımını fazla düşürmesinden dolayı yapılarda taşıyıcı elemanların betonlarında kullanılması tavsiye edilmemektedir. Taşıyıcı olmayan elemanlarda %100 pomza kullanımı tavsiye edilir.
- %50 pomza ile üretilen betonların ağırlıkları %15 daha az olduğu için özellikle deprem bölgelerinde yapılacak yapılarda, toplam bina ağırlığının dolayısıyla yapıya etkiyecek yatay deprem kuvvetinin azaltması bakımından, kullanılması ülkemizde deprem sonrası can kaybını azaltması bakımından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Dikici, T. (2010). Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
2. Oğuz, M. (2019). Geri dönüştürülmüş betonların köpük betonda kullanılabilirliğinin araştırılması, Bartın: Bartın Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
3. Öztürk, M. (2012). Pomza ve perlit içerikli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
4. Gokçe, S. H. (2010). Hafif beton üretiminde geliştirilmiş perlitin kullanılabilirliğinin araştırılması, Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
5. Keklik, U. (2019). Silis dumanı içeren geopolimer betonların % 5 sülfürik asit etkisinde durabilite performanslarının incelenmesi, İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
6. Altundal, M. B. (2018). Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı geopolimer betonların %5 sülfürik asit etkisinde mekanik davranışı, İstanbul: İstanbul Gelişim Üniversitesi.
7. Kurt, M. (2009). Kendiliğinden yerleşen hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Erzurum: Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
8. Yılmaz, Y. (2014). Beton üretiminde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanımının etkileri ve maliyet analizi, Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
9. Ünal, O. ve Uygunoglu, T. (2004). Soma termik santral atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi, Zonguldak: Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.
10. Nazaroglu, M. B. (2019). Zeminlerin özelliklerini uçucu kül ile iyileştirilmesi, İstanbul: İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
11. Tutar, H. H. (2018). Uçucu kül epoksi kompozitlerin hazırlanması ve özelliklerinin incelenmesi, Konya: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
12. Öksüz, K. (2006). Afşin – elbistan termik santrali uçucu külünün zemin stabilizasyonunda kullanımı, Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
13. Kaplan, G. (2018). Çimento teknolojisinde sürfaktanların kullanımı ile sürdürülebilir çimento üretimi, Manisa: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.

14. Akyüncü, V. (2012). F ve c tipi uçucu küllerin çimento ile ikame edilmesiyle üretilen betonların mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin karşılaştırılarak incelenmesi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
15. Antiohos, S. K. and Tsimas, S. (2005, February). "Cement and Concrete Composites," *science direct*, pp. 171-181.
16. Jaturapitakkul, C., Songpiriyakij, S. and Seksun, C. (2001). "Cement and concrete composites," *alsevier*, pp. 335-343.
17. Çelikten, S. (2019). Alkali ile aktive edilmiş hafif betonların Özelliklerinin Araştırılması, Niğde ömer halisdemir üniversitesi fen bilimleri enstitüsü doktora tezi.
18. Kayan, Y. (2019). Bitlis pomzası ile üretilen bimslerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılması ve geliştirilmesi, Diyarbaker: Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
19. Derneği, B. S. (2006, eylül). Türkiye Odalar Ve Borsalar Birliği Türkiye Toprak Sanayi Meclisi, Ankara.
20. Durgun, M. Y. (2011). Pomza, kolemandıt, bardıt ve yüksek fırın cürufu katkılı boylarla kaplanan beton ve donatların korozyon performansı, kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
21. Ulusu, H. (2006). Erzincan ve Nevşehir yöresi pomzalarının çimentolu sistemlerde kullanılabilirliği, ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
22. Hossain, K. M. (2004). "Properties of volcanic pumice based cement and lightweight concrete," *Cement and Concrete Research*, p. 283 – 291.
23. Hossain, K. M. (2003). "Blended cement using volcanic ash and pumice," *Cement and Concrete Research*, pp. 1601-1605.
24. Şahin, R., Demirboğa, R., Uysal, H. and Gül, R. (2003, August). "The effects of different cement dosages, slumps and pumice aggregate ratios on the compressive strength and densities of concrete," *cement and concrete research*, pp. 1245-1249.
25. Kılıç, A. C., Atış, D., Yaşar, E., and Özcan, F. (2003). "High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures," *cement and concrete research*, pp. 1595-1599.
26. Cavaleri, L., Miraglia, N. and Papia, M. (2003). "Pumice concrete for structural wall panels," *engineering structures*, pp. 115-125.
27. Yıldırım, A. N. (2007). Pomza ve uçucu kül kullanılarak imal edilen hafif betonların agresif su ortamlarında mekanik özelliklerinin araştırılması, Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı TAHA SALAH  
 Uyuşu  
 Doğum tarihi ve yeri  
 Medeni hali  
 Telefon  
 e-mail

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	İ.G.Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnş. A.B.D.	2020
Lisans	ALMUSTANSIRIYAH ÜNİVERSİTESİ	2016
Lise	ALMANSOOR LİSESİ	2012

### İş Deneyimi

2017 - 2018	IRAK	inşaat mühendisi
2018 - 2019	ISTANBUL	inşaat mühendisi
2020-2019	ISTANBUL	ticaret şirketinde şube müdürü

### Yabancı Dil

- ✓ Arapça
- ✓ Türkçe
- ✓ İngilizce

### Beceriler

- ✓ Autocad
- ✓ Google SketchUp
- ✓ Sap 2000
- ✓ Microsoft Office
- ✓ Team Work
- ✓ Computer Skillsmputer Skills

### Hobiler

Seyahat, Okuma, Yüzme ve Fotoğrafçılık



*ĞELİŐİM ĞELİŐMEKTİR...*