

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÖĞÜTÜLMÜŞ GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUF
BAZLI GEOPOLİMER BETONLARIN % 5 SÜLFÜRİK
ASİT ORTAMINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE
KİMYASAL DURABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Selin KARADAĞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Anıl NIŞ

İstanbul – 2021

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Selin KARADAĞ

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cüruf Bazlı Geopolimer Betonların %5 Sülfürik Asit Ortamında Mekanik Özelliklerinin ve Kimyasal Durabilitesinin Araştırılması

Enstitü : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin Türü : Yüksek Lisans

Tezin Tarihi : 09.02.2021

Sayfa Sayısı : 79

Tez : Dr. Öğr. Üyesi Anıl NİŞ

Danışmanları

Dizin Terimleri : Geopolimer beton, Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

Türkçe Özet : Çimentosuz beton yani geopolimer beton standartlaşma aşamasına geldiği takdirde yapılarda kullanımı yaygınlaşacak ve ülkemiz açısından hem enerji maliyetlerini düşürmek için hem de çevreye daha duyarlı daha az karbondioksit yaymasından ötürü çevreci beton olarak nitelendirilebilecektir.

Dağıtım Listesi : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Selin KARADAĞ

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**ÖĞÜTÜLMÜŞ GRANÜLE YÜKSEK FIRIN CÜRUF
BAZLI GEOPOLİMER BETONLARIN % 5 SÜLFÜRİK
ASİT ORTAMINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN VE
KİMYASAL DURABİLİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Selin KARADAĞ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Anıl NİŞ

İstanbul – 2021

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Selin KARADAĞ

.../.../2021



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Selin KARADAĞ'ın "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cüruf Bazlı Geopolimer Betonların %5 Sülfürik Asit Ortamında Mekanik Özelliklerinin ve Kimyasal Durabilitesinin Araştırılması" adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği anabilim dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mücteba UYSAL

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Anıl NİŞ
(Danışman)

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

Üye

AL-MASHHADANI

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2021

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Çalışma kapsamında %100 yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen alkali aktive edilmiş veya geopolimer betonların % 5 sülfürik asit etkisi altında dayanım ve durabilitesi araştırılmıştır. Amacımız farklı bağlayıcı miktarlarına ve alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranlarına sahip laboratuvar ortamında kür işlemine tabii tutulan geopolimer betonların dayanım ve durabilite performanslarını incelemektir. Bu kapsamda bağlayıcı miktarları olarak 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olmak üzere 3 bağlayıcı miktarı seçilmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı ise durabilite çalışmaları da göz önüne alınarak 0.45 ve 0.55 olacak şekilde seçilmiştir. Çalışma kapsamında 6 farklı geopolimer beton tipinin dayanım ve %5 sülfürik asit performansları belirlenmiştir. Geopolimer betonların üretiminde alkali aktivatör olarak sodyum silikat ile sodyum hidroksit kullanılmıştır. Sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı olarak 2.5 ve sodyum hidroksit molaritesi olarak ise 14 M seçilmiştir. Geopolimer betonlarda işlenebilirliğinin ve geopolimerizasyonun artması için karışıma ilave su eklenmiştir. Üretilen 6 farklı betonların 28., 120., ve 150. günlere kadar hem laboratuvar hem de 5% sülfürik asit çözeltilerinde bekletilmiş ve numunelerde sülfürik asit dolayısıyla meydana gelen yüzey değişimleri, ağırlık değişimleri, ve basınç dayanımlarını değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer beton, Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, Alkali aktivatör, Sülfürik asit

SUMMARY

In this study, the strength and durability performance of 100% ground granulated blast furnace slag based geopolymer concretes under 5% sulfuric acid was investigated. Our aim is to examine the strength and durability performances of geopolymer concretes having different binder contents and alkali activator/binder ratio cured in the laboratory environment. Three different binder amounts were selected as 400 kg/m³, 500 kg/m³, 600 kg/m³ as binder content. The alkali activator/binder ratios were chosen as to be 0.45 and 0.55, taking into account the durability requirements. In the scope of the research, strength and 5% sulfuric acid resistances of 6 different geopolymer concrete types were investigated. As an alkali activator, sodium silicate and sodium hydroxide were utilized in the geopolymer concrete production. The sodium silicate and sodium hydroxide ratio was selected as 2.5, and sodium hydroxide molarity was chosen as 14 M. Additional water was also used to increase workability and geopolymerization. The produced 6 different concretes were kept in both laboratory and 5% sulfuric acid solutions until the 28th, 120th and 150th days, and the surface, weight and compressive strength changes in the samples due to sulfuric acid were investigated in details.

Key Words : Geopolymer concrete, Ground granulated blast Furnace Slag, Alkali activator, Sulfuric acid

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	x
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1.Tezin Amacı	4
2.2.Yapılan Çalışmanın Kapsamı	5

İKİNCİ BÖLÜM

GEOPOLİMER BETON BİLEŞENLERİ

2.1 Yüksek fırın cürufu	7
2.1.1 Betonda cüruf kullanımı	7
2.2 Uçucu kül	9
2.2.1. Betonda uçucu kül Kullanımı	10
2.3 Alkali Aktivatörler	11
2.4 Geopolimer Betonun Kimyasal Etkileri.....	12
2.5 Geopolimer Beton Özellikleri.....	13
2.6 Betonun Durabilitesi İle İlgili Bazı Konular.....	15
2.6.1 Büzülme.....	15
2.6.2 Aşınma etkisi.....	15
2.6.3 Çelik donatının korezyonu	15
2.7 Geopolimer betonun dayanımını etkileyen faktörler	16
2.7.1 Su-geopolimer harç oranı	16
2.7.2 Donma-çözülmenin geopolimer harcı üzerindeki etkileri.....	16
2.7.3 SiO ₂ / Na ₂ O oranı	17
2.7.4 Geopol,mer betonda kimyasal durabilite.....	17

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Kullanılan Malzemeler	21
3.1.1 Yüksek Fırın Cürufu	21
3.1.2 Agregası	22
3.1.3 Alkali Aktivatörler	24
3.1.4 Kimyasal Katkı	25
3.2 Deneysel Çalışma	26
3.2.1 Kalıplar	26
3.2.2 Alkali Aktivatörlerin Hazırlanması	26
3.2.3 Karışım Hazırlanması	27
3.2.4 Geopolimer Beton Üretimi Ve Döküm Süreci	31
3.2.5 Kütleme	33
3.2.6 Sülfürik Asit Çözeltisi	35
3.2.7 Ağırlık Değişimi	35
3.2.7 Basınç Dayanım Testi	35

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Görsel Denetim	37
4.2 Ağırlık Değişimi	40
4.3 Basınç Dayanımı	44
SONUÇLAR	58
KAYNAKÇA	59
ÖZGEÇMİŞ	62

KISALTMALAR

°C	:	Santigrad
MPa	:	Megapaskal
Mm	:	Milimetre
Gr	:	Gram
M	:	Molar
NaOH	:	Sodyum Hidroksit
KOH	:	Potasyum Hidroksit
Na₂SiO₃	:	Sodyum Silikat
C	:	Karbon
CaO	:	Kalsiyum oksit(Sönmemiş Kireç)
SO₃	:	Kükürt trioksit
K₂O	:	Potasyumoksit
N	:	Azot
S	:	Kükürt
H	:	Hidrojen
SiO₂	:	Silisyum Dioksit
Na₂O	:	Sodyum Oksit
Al₂O₃	:	Alüminyum Oksit
MgO	:	Magnezyum Oksit
Fe₂O₃	:	Demir (II) Oksit
Ca	:	Kalsiyum
H₂SO₄	:	Sülfürik asit

g/cm³	:	gram/santimetreküp
kg/m³	:	kilogram/metreküp
kg	:	kilogram
OPC	:	Normal Portland Çimento
AAEB	:	Alkali Aktive Edilmiş Beton
TS EN	:	Türk Standardları Enstitüsü



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Yüksek fırın cürufunun özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan iri agregaların özellikleri	23
Çizelge 3.3. Sodyum silikat(Na_2SiO_3)özellikleri.....	24
Çizelge 3.4. Kimyasal katkı özellikleri.....	25
Çizelge 3.5. S100-400-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	28
Çizelge 3.6. S100-400-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	28
Çizelge 3.7. S100-500-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	29
Çizelge 3.8. S100-500-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	29
Çizelge 3.9. S100-600-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	30
Çizelge 3.10. S100-600-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	31

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu malzemesi.....	9
Şekil 2.2. F-tipi uçucu kül malzemesi.....	10
Şekil 3.1. Yüksek fırın cürufu.....	21
Şekil 3.2. İri agrega.....	23
Şekil 3.3. Sodyum hidroksit(NaOH).....	25
Şekil 3.4. Küp kalıplar	26
Şekil 3.5. Alkali aktivatörler.....	27
Şekil 3.6. Beton döküm süreci	33
Şekil 3.7. Betonların %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilmesi ve çıkarılması.....	34
Şekil 3.8. Sülfürik asitte bırakılan numune ağırlıklarının ölçümü.....	35
Şekil 3.9. Basınç dayanım testleri	36
Şekil 4.1. 120.ve 150.günlerde numune yüzeylerinde meydana gelen değişim	40
Şekil 4.2. 600 kg/m ³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların ağırlık değişimi..	41
Şekil 4.3. 500 kg/m ³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların ağırlık değişimi..	42
Şekil 4.4. 400 kg/m ³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların ağırlık değişimi..	43
Şekil 4.5. Alkali aktive edilmiş betonların kontrol ortamında 28 günlük basınç dayanımları.....	45
Şekil 4.6. Alkali aktive edilmiş betonların kontrol ortamında 120 günlük basınç dayanımları.....	47
Şekil 4.7. Alkali aktive edilmiş betonların asit ortamında 120 günlük basınç dayanımları.....	48
Şekil 4.8. Alkali aktive edilmiş betonların kontrol ortamında 150 günlük basınç dayanımları.....	49
Şekil 4.9. Alkali aktive edilmiş betonların asit ortamında 150 günlük basınç dayanımları.....	50
Şekil 4.10. 600 kg/m ³ cüruf içeren S100 betonların farklı ortamdaki basınç dayanımı	51
Şekil 4.11. 500 kg/m ³ cüruf içeren S100 betonların farklı ortamdaki basınç dayanımı	53
Şekil 4.12. 400 kg/m ³ cüruf içeren S100 betonların farklı ortamdaki basınç dayanımı	54

Şekil 4.13. 0.45 alkali solüsyon /bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı.....	56
Şekil 4.14. 0.55 alkali solüsyon /bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı.....	57
Şekil 4.15. Tüm alkali solüsyon /bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı.....	58

ÖNSÖZ

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.

Çalışmalarım ve tüm hayatım boyunca varlığını her daim hissettiğim babama , her zaman yanımda ve arkamda olan maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamızın her aşamasında yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.



GİRİŞ

Gün geçtikçe artmaya devam eden dünya nüfusu ve çevresel faktörlere bağlı değişimler dünya genelinde çevre duyarlılığı oluşturmuş ve her geçen gün bu duyarlılık önem kazanmıştır. Bu amaçla kullanılan malzemelerin değişmiş tasarımı ve teknik özelliklerinin yanı sıra çevresel birçok faktör de değerlendirilmeye alternatif malzeme fikrinin doğmasını mecbur kılmıştır. Bu sebepler göz önüne alınarak alternatif ürünlerin arayışı birçok çalışma için öncü kabul edilmiştir. Yeni malzemelerin en öne çıkan ürünlerinden biri ise geopolimer veya alkali aktive edilmiş malzemelerdir. Bu tezdede bu yeni öne çıkan geopolimer beton incelenmiştir.

Geopolimer bir malzemenin OPC (geleneksel Portland çimentosu) harç ile kıyaslama yapıldığında düşük hidrasyon ısısına sahip oldukları ve bunun yanında yüksek mukavemet sağlaması vb. özellikleri sayesinde ise birçok araştırmacının ilgilendiği bir alan olmuştur. Özellikle düşük hidrasyon ısısına sahip olmalarından ötürü geopolimer betonların baraj ve perdeler gibi kütle betonlarda kullanımının yaygınlaşacağı açıktır. Özellikle düşük kalsiyum içeren uçucu küllü malzemeler, zamanla yavaş yavaş dayanım kazanmasından ötürü düşük hidrasyon göstermektedir ve bu da betonda oluşabilecek çatlakları minimuma indirmektedir.

Bu betonlarda %100 öğütülmüş yüksek fırın cürufu, %100 F-tipi uçucu küllü, veya farklı kombinasyonlarda çimento kullanılmadan beton üretilmektedir. Bu betonların bağlayıcılık kazanması için su yerine alkali aktivatörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Genelde geopolimer betonlar ve alkali aktivatör betonlar farklıdır ama ülkemizde benzer isimlendirilmektedir.

Geopolimer bir malzemenin OPC (geleneksel Portland çimentosu) harç ile kıyaslama yapıldığında düşük hidrasyon ısısına sahip oldukları ve bunun yanında yüksek mukavemet sağlaması vb. özellikleri sayesinde ise birçok araştırmacının ilgilendiği bir alan olmuştur. Yapılan çalışmamızda %100 oranında öğütülmüş yüksek fırını içeren Geopolimer betonların %5 sülfürik asit çözeltisinde kimyasal durabilite performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

Sanayi Devrimi ve çimento ustası İngiliz Joseph Aspdin'in OPC (Geleneksel Portland çimentosu) icat etmesinden bu zamana beton, modern toplumun önemli inşaat malzemesi olarak günümüze gelmiştir. Günümüzde beton; yalnızca bina, karayolu ve baraj yapımı için değil, bunun yanında insan faaliyetlerinin mümkün kıldığı her türlü durum için kullanılmaktadır. Geleneksel Portland çimentosu üretimi her geçen gün artmaktadır. Katı halde bağlayıcılık özelliği göstermeyen fakat su ile temas ettiğinde kısa süre içerisinde bağlayıcılık özelliği gösteren bir malzemedir. Su, hidrolik bağlayıcı özelliğine sahip çimento ile birlikte karıştırıldıktan bir süre sonra hamur kıvamında oluşur ve daha sonra bu mevcut hamur zaman içerisinde katılaşmaya başlar ve prizini alarak sertleşir. Bu durumun beton içerisinde meydana geliyor olması, yani betonun katılaşması, sertleşmesi ve nihai olarak ise betonun dayanım kazanması ile sonuçlanır.(Ayabakan ve Makale, 2019)

Günümüz inşaat sektörü için kullanımı en fazla ve en yaygın olan bağlayıcı malzeme geleneksel Portland çimentosu ile üretim sağlanmaktadır. Tüketimdeki bu fazla miktar; enerji ve ekonominin yanında birçok çevresel problemi de meydana getirmiştir. Bilindiği gibi çimento üretimi sırasında CO₂ açığa çıkmaktadır. Dünyada birçok otomobil üreten markanın çevreye CO₂ yaymasından ötürü araçlarını geri çağırması ve hatta ceza yemesi günümüzde çevreye duyarlılığın önemini vurgulamaktadır. Dünyadaki toplam CO₂ salınımının %7' si kadarının geleneksel Portland çimento üretimi sırasında meydana geldiği düşünülmektedir. Bu nedenle geleneksel Portland çimentosu için alternatif çimentoların üretmesi günümüzde yaygın araştırma konuları içinde yer almaktadır. Çoğu çimento firmaları farklı tiplerde çimento üretmektedir. Bu üretilen çimentoların içerisinde düşük kalsiyum içeren uçucu kül, yüksek kalsiyum içeren uçucu kül, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi belirli oranlarda mineral katkı eklenmektedir. Böylece mineral katkının eklenmesi oranına bağlı olarak geleneksel Portland çimentosu miktarı azalmakta, bu da çevreye daha az karbondioksit yayılmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra çimento üretimi, yüksek sıcaklıklarda (1400-1500 °C) yapıldığından dolayı önemli miktarda enerji tüketimi ve yüksek enerjiye ihtiyaç duyulmasından dolayı çok yüksek maliyetler gerektirmektedir.(Yadollahi vd., 2017). Özellikle günümüzde enerjiye duyulan ihtiyaç artmakta ve insanlar enerjiye bağımlı hale gelmektedir. Bu sebeple enerji maliyetlerini düşürebilecek her türlü önlem özellikle ilerleyen

zamanlarda büyük önem arz etmektedir. Enerji maliyetlerini düşürmenin bir yolu da yukarıda ifade edilen mineral katkıların beton içerisinde kullanımını arttırmaktır. Özellikle yüksek oranlarda kullanılan mineral katkılar (öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve düşük kalsiyum içeren uçucu kül) üretilen beton maliyetlerini düşürmektedir.

Gün geçtikçe artmaya devam eden dünya nüfusu ve çevresel faktörlere bağlı değişimler dünya genelinde çevre duyarlılığı oluşturmuş ve her geçen gün bu duyarlılık önem kazanmıştır. Bu amaçla kullanılan malzemelerin değişmiş tasarımı ve teknik özelliklerinin yanı sıra çevresel birçok faktör de değerlendirilmeye alternatif malzeme fikrinin doğmasını mecbur kılmıştır. Bu sebepler göz önüne alınarak alternatif ürünlerin arayışı birçok çalışma için öncü kabul edilmiştir. Yeni malzemelerin en öne çıkan ürünlerinden biri ise geopolimer veya alkali aktive edilmiş malzemelerdir.(Boyacı, 2018). Geopolimer veya alkali aktive edilmiş malzemelerle üretilen betonlarda çimento kullanılmamasından ötürü bu betonlara çimentosuz beton denilmektedir. Geopolimer betonlarda çimento kullanılmamasından ötürü çevreye daha duyarlı beton üretileceği düşünülmekte ve bu betonların yaygınlaştırılması için yapılan çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Çimentosuz beton yani geopolimer beton standartlaşma aşamasına geldiği takdirde yapılarda kullanımı yaygınlaşacak ve ülkemiz açısından hem enerji maliyetlerini düşürmek için hem de çevreye daha duyarlı daha az karbondioksit yaymasından ötürü çevreci beton olarak nitelendirilebilecektir.

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ve bunun gibi puzolanik yani bağlayıcılık özelliği gösteren malzemenin alkali aktivasyon aktifleştirilmesi ile elde edilmiş amorf yapıda alüminosilikat malzemelere geopolimer adı verilir. Bununla beraber son zamanlarda bu çeşit malzemeler ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça artmıştır. Geopolimer bir malzemenin OPC (geleneksel Portland çimentosu) harç ile kıyaslama yapıldığında düşük hidrasyon ısısına sahip oldukları ve bunun yanında yüksek mukavemet sağlaması vb. özellikleri sayesinde ise birçok araştırmacının ilgilendiği bir alan olmuştur.(Güzelküçük ve Demir, 2019).Özellikle düşük hidrasyon ısısına sahip olmalarından ötürü geopolimer betonların baraj ve perdeler gibi kütle betonlarda kullanımının yaygınlaşacağı açıktır. Özellikle düşük kalsiyum içeren uçucu küllü malzemeler, zamanla yavaş yavaş dayanım kazanmasından ötürü düşük hidrasyon göstermektedir ve bu da betonda oluşabilecek çatlakları minimuma indirmektedir.

Geopolimerlerin içinde bağlayıcı olarak su bulunmamaktadır. Geopolimerlerde sadece karışım aşamasında iken kullanılmakta olan su ise betonun işlenebilirlik amacı ile kullanılmaktadır. Geopolimerin kuruması ve kür aşamasında geopolimerlerin içinde nano boşluklar bırakılır ve su bu nano boşluklar ile geopolimeri terk eder. Bu oluşan durum ise geopolimerlere ısı yalıtımı, yangın dayanımı ve hafiflik gibi olumlu sayılacak birçok özellik kazandırmaktadır.(Rangan, 2008)

Genel olarak yapılan geopolimer veya alkali aktive edilmiş betonlarda yapılan çalışmalar özellikle iki atık malzeme üzerine yoğunlaşmaktadır. Bunlardan birisi öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu diğeri ise düşük kalsiyum içeriğine sahip F-tipi uçucu küllerdir. Çimentosuz betonların alkali aktivasyonları sırasında su yerine sodyum silikat, sodyum hidroksit, potasyum silikat ve potasyum hidroksit gibi kimyasal malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen çimentosuz betonların kür sıcaklığı için 20°C yeterli olmaktadır. Yüksek kalsiyum oksit içeriğine sahip olmasından dolayı, yüksek fırın cürufu normal oda sıcaklığında sertleşerek dayanım kazanmaktadır. Düşük kalsiyum içeriğine sahip uçucu kül parçacıklarının reaksiyona girerek geopolimerizasyona uğraması için yüksek kür sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Düşük kalsiyum oksit içermesinden ötürü betonda dayanım kazanma çok yavaş olmaktadır. Dolayısıyla uçucu küllü çimentosuz betonların kür sıcaklığı genelde 60-100°C seviyesine arttırılarak çimentosuz betonların 24 saat içinde yüksek dayanımlara ulaşmaları mümkün olmaktadır(Bakharev, 2006)

1.1.Tezin amacı

Günümüzde yapıların inşasında en fazla kullanılan yapı malzemelerinin arasında beton gelmektedir. Çelik malzemesinin ithalata dayalı olması, fiyatlarının ekonomik ve siyasi koşullardan son derece hassas bir şekilde etkilenmesinden dolayı beton malzemesinin önümüzdeki senelerde kullanımının daha da yaygınlaşacağı açıktır. Özellikle mevcut konut stoğunun eski olması, mevcut yapıların depreme karşı dayanıklı olmamasından ötürü basınç dayanımı yüksek ve kimyasal/fiziksel etkilere karşı iyi bir durabilite özelliği olan betonların üretilmesi ve kullanımı son derece önem arz etmektedir. Betonun içeriğinde kabaca çimento, su ve agrega bulunmaktadır. Betonda bağlayıcılık özelliği gösteren malzeme geleneksel Portland çimentosudur. Portland çimentosunun üretiminde yüksek enerjiye ihtiyaç duyulması ve çimento üretimi sırasında çevreye karbondioksit yaymasından ötürü şu an ülkemizde ve

dünyada çimentoya yerine kullanılabilir sürdürülebilir yapı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda çimentosuz beton olarak adlandırılan geopolimer beton veya alkali aktive edilmiş beton üzerine çalışmalar yoğunlaşmış durumdadır. Çimentosuz betonda kullanılan bağlayıcı malzemelerden birisi de öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufudur. Yüksek fırın cürufu içerisindeki CaO oranının fazla olması, betonda olması gereken yüksek basınç dayanımı için çok önemlidir. Yüksek fırın cürufunun alkali aktivasyonu için genelde su yerine sodyum silikat ve sodyum hidroksit gibi alkali aktivatörler kullanılmaktadır. Yapılan bu tez çalışması kapsamında %100 öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit alkali betonlar üretilecektir. Yüksek fırın cürufu bazlı alkali aktive edilmiş betonlarda farklı alkali aktivatör/bağlayıcı ve bağlayıcı dozajı gibi parametrelerin değişimiyle farklı zamanlarda basınç dayanımının gelişimi incelenecektir. Ayrıca farklı tip cüruf bazlı alkali aktive edilmiş betonların en tehlikeli kimyasal etkilerden birisi olan %5 sülfürik asit solüsyonundaki kimyasal durabilitesi incelenecektir. Bu kapsamda asit etkisi dolayısıyla numunelerin en dış yüzeylerinde meydana gelen değişim, numune ağırlıklarında meydana gelen değişim, ve basınç dayanımlarındaki azalma 28., 120., ve 150., günlerde incelenmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların alkali aktive edilmiş betonların yapılar da kullanımının izin verilmesi için gerekli standartların oluşması konusunda çok faydalı bir çalışma olacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak ise alkali aktive edilmiş betonların hiçbir farklı kür işlemine tabii tutulmadan yapılar da kullanılabilirliği sonucu ortaya çıkmaktadır.

1.2.Yapılan çalışmanın kapsamı

Bölüm 1 - Özet ve Giriş: Bu bölümde bu çalışmadan ana hatlarıyla bahsedilmiş olup, tezin önem ve amaçlarına değinilmiştir.

Bölüm 2 - Literatür Taraması: Bu kapsamda ise geopolimer ve alkali aktive edilen betonların içeriğindeki bağlayıcı malzemelere, alkali aktivatörler ve bu konular hakkında yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Bölüm 3 - Yapılan Deneyler: Bu kapsamda betonların nasıl üretildikleri, malzemelerin içerikleri, miktarları ve karışım oranları hakkında bilgi verilmiş olup, yapılan deneylerden bahsedilmiştir.

Bölüm 4 - Sonuç: Sonuç bölümünde ise yapılan deneylerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve mevcut literatüre ne kattığı hakkında bilgiler verilmektedir.



İKİNCİ BÖLÜM

GEOPOLİMER BETON BİLEŞENLERİ

2.1 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufları ana hatlarıyla içerisinde, silis, bazik esaslı bileşen ve kalsiyum alümina silisler bulunduran ve demir üretimi esnasında ergimiş halde bulunan bir atık bir üründür.(Erdoğdu ve Kurbetçi, 2003) Demir-çelik üretimi esnasında kullanılmakta olan yüksek fırınların içerisinde, demir oksit (sinter maden filizi, peletler, maden filizi) akıcılığı düzenleyici malzemeler (dolomit, kalker,) ve bunların yanında da yakıt olarak kok kullanılmaktadır. Bu fırınlardan 2 adet ürün elde edilmektedir. Bunlardan birincisi fırınların altında toplanmakta olan erimiş haldeki demir ve diğeri ise bu erimiş durumdaki demirlerin üzerlerinde yüzen sıvı durumdaki yüksek fırın cüruflarıdır. Yüksek fırın cüruflarının sahip oldukları kompozisyon yüksek fırında beslenmiş maden filizlerine, koktaki safsızlık derecesine ve akıcılığa bağlıdır. Genel olarak yüksek fırın cürufu %95'i hatta daha fazla oranda silika, oksijen, kalsiyum, alüminyum ve magnezyumdan oluşur (1. ACI 233.R-95, vd.)

2.1.1 Betonda Cüruf Kullanımı

Son zamanlarda yapılan pek çok çalışmada yüksek fırın cürufları hem çimento içinde ikame malzemesi görevi ile hem de bunun yanında beton içerisinde ince agrega malzemesi olarak gayet başarılı bir biçimde kullanılmıştır. Bazaltik pomzanın da betondaki ince agrega malzemesi olarak kullanılmasının uygunluk derecesi araştırılmış ve bazaltik pomza kullanılarak üretilmiş betonun aşınmaya karşı dayanımı, basınç dayanımını ve klor girişini belirlemek amacı ile birçok deney yapılmış ve bunların sonucu geleneksel kullanılan beton ile karşılaştırılmıştır(Binici ,2007)

Yüksek fırın cürufunun ideal ölçüde inceliğe getirmek, farklı koşullar içerisinde kullanılmak istenilen beton karışımının hazırlanması aşamasındaki esneklik faktörleri gibi faktörler, cürufun ayrıca öğütürerek beton katkısı amacıyla kullanımını oldukça avantajlı bir hale getirir(Öner, 2001)Ülkemizde cürufun öğütülmüş halde betona katkı malzemesi amacıyla kullanılması son zamanlarda oldukça artış göstermiştir(Erdoğan, 2003)Atık malzeme olması ve bu atık malzemeler betonda kullanılmazsa atık malzemelerin depolanması veya imha problemi ve depo yerlerinin uzakta olmasından dolayı nakliye giderlerindeki artış yüksek fırın cürufunun beton içerisindeki kullanımını hem ekonomik açıdan hem de yaşadığımız çevre açısından

değerlendirildiğinde önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Günümüzde beton üretiminde yüksek fırın cürufunu sıklıkla kullanılmakta ve üretilen farklı tip çimentolarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanımı %50 mertebelerine ulaşmaktadır. TS EN 13561 standardına göre ise yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olarak çimento bakımında eşdeğerliliği hakkında tavsiyelerde bulunulmuş ve k eşdeğerlilik katsayısı tanımlanmıştır. TS EN 13561 standardına göre bu k katsayısı 0.8 alınmaktadır. Yani 100 kg öğütülmüş yüksek fırın cürufu yaklaşık olarak 80 kg geleneksel Portland çimentosu bağlayıcılığına eşdeğer olduğu belirtilmiştir.

Yapılan birçok araştırma çalışmalarında öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır. Yüksek fırın cürufunun öğütülmüş olması daha ince cüruf danelerine sahip olmasını sağlar. Bu da alkali aktivasyon derecesini etkileyerek/iyileştirerek üretilen betonların daha yüksek mekanik dayanımlara sahip olmasını sağlar. Ayrıca daha ince yüksek fırın cüruflarıyla üretilen betonların geçirimsizliği ve kimyasal etkilere karşı durabilitesi de daha iyi olmaktadır. İyi bir çimentosuz betonda aranan en önemli özellikler yüksek mukavemet ve durabilitedir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanımı betonda bu istenen iki özelliği sağlamaktadır.

Genel olarak cürufun soğutulma şekilleri farklılık gösterdiği için sahip olduğu özellikler de doğal olarak farklılık göstermektedir. Havada yavaş yavaş soğutmaya bırakıldıklarında kristal yapıda olmuş olurlar. Bu hali ile cüruflar gayet yüksek mekanik özellikler gösterirler ve çoğu zaman agrega olarak da kullanılabilirler. Yüksek fırının içerisinden çıkarıldıklarında eriyik halde bulunan cüruflar hızla soğutulduklarında ise akışkanlıklarındaki meydana gelen ani azalmalar kristalleşmelerini engeller ve bunun yanı sıra camsı bir yapıda oldukça katı bir madde meydana gelir. Bu meydana gelen yarı-kararlı durumdaki camsı malzeme, gayet hidrolik özellikte olur. Bu türdeki cüruflar daha fazla, beton ve çimento üretimini içerisinde kullanılırlar.(Proctor, 2000)



Şekil 2.1 Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu Malzemesi

2.2 Uçucu Kül

Genellikle elektrik enerjisi üretimi yapan termik santralde kullanılmakta olan taşkömürü miktarının %10-15'ini, linyit kömürü miktarının %20-50'si kadar miktarı kül olarak meydana gelir. Bu uçucu kül üretimi; yakılmakta olan kömürlerin cinsinden, santralin işletim biçiminden, santral tipinden ve yanma biçimleri gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Yanma işleminden sonra ortaya çıkmış olan kül miktarının %75-85 kadar miktarı baca gazlarıyla birlikte kazanın içerisinde çıkartılır ve bu meydana gelen atıklara "uçucu kül" adı verilir. Santralde, baca gazından uçucu külün tutulması için genellikle yüksek verimliliğe sahip elektro filtreler kullanılır.(Morrison, 1970).

Uçucu küllerin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerinin en fazla belirginlik gösteren ortak yanları, bir yöreden başka bir yöreye, hatta bazen aynı yöre içerisinde bile değişkenlik gösterir (Kcfeliogiu, 1998)



Şekil 2.2 F-tipi Uçucu Kül Malzemesi

2.2.1 Betonda Uçucu Kül Kullanımı

Çimento sanayisi, inşaat sektöründe uçucu küllerin en yaygın kullanıldıkları alanların başında gelmektedir. 1980'li senelerden bu yana Türkiye'deki katkılı çimentonun çimento üretim oranındaki miktarı, % 90'ın üzerindedir.(Öztekin ve Cimilli, 1987)

Betonda uçucu külün uygun oranda kullanılmasıyla yeterli ve hatta daha da üstün sayılabilecek mühendislik performansları elde edilebilir. Örnek olarak, içinde uçucu kül bulunduran betonlar genelde işlenebilirlik düzeyi daha yüksek ve hidratasyon ısısı daha düşük olan betonlardır. Bu da betonlar için önemli avantaj sağlamaktadır. Bu şekilde uçucu kül ile üretilen betonun erken yaştaki basınç dayanımı, içermeyen betonla kıyaslandığında düşüktür. Bunun sebebi olarak ise uçucu kül parçacıklarının daha yavaş hidrate olması gösterilebilir. Fakat ileriki yaşlarda dayanımlar yaklaşık olarak aynı hatta daha da yüksek seviyelere çıkabilir. Bu şekilde üretilen betonun çevresel etkilerle meydana gelebilecek bozulmalara karşı daha dayanıklı bir beton olduğu bilinmektedir.(Celik, 2014)

Çimento ve uçucu kül beraber kullanıldıklarında, uçucu küllerin beton dayanımına katkısının arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu katkının artması tanecik boyutunda küçülme ile alakalı olmaktadır ve küçük tanecikler betonda arayüz bölgesini güçlendirerek yüksek mekanik özelliklerin oluşmasını sağlar. Bu arada

çimento klinkeri ve uçucu kül ne kadar fazla öğütülürse bağlayıcı olan maddenin beton içindeki suya olan ihtiyacı o kadar artabilir.

Uçucu küller, içerisinde bulundurdukları Al_2O_3 , SiO_2 ve Fe_2O_3 miktarlarına bağlı olarak ASTM C 618 standardına göre C sınıfı ve F sınıfı olmak üzere ikiye ayrılır. F sınıfı olanlar, antrasit ve de bitümlü kömürlerin yanmasından, C sınıfı olan küller ise linyit yanmasından elde edilir. Bitümlü ve antrasit kömürün, linyite kıyasla daha az miktarda kalsiyum içermesi, uçucu küllerin kendi arasında farklı puzolanik ve bağlayıcılık özelliğine sebep olan sınıflandırma sistemini doğurmuştur. C sınıfı olan uçucu kül, puzolanik özelliğinin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptir. F sınıfı olanlar ise sadece suyla karıştırıldığında nadir oranda bir bağlayıcılık özelliği gösterir (ACI Committee, 1987)Tablo 1.1’de F ve C sınıfı uçucu küllerin kimyasal bileşimine örnek verilmiştir.(Hodson,1990)

2.3.Alkali Aktivatörler

Uçucu kül barındıran alkalilerle aktif edilmiş hamur numunenin kısıtlanmamış ve kısıtlanmış büzülme performansını karşılaştırmış ve hiç çatlak tespit etmediğini belirten birçok sonuç yayınlamıştır.(Gao vd., 2016)

Farklı silikat modülüne sahip olan sodyum silikat yani camsuyu ile birlikte sodyum metasilikat aktivatör olacak şekilde kullanılarak ve yüksek fırın cürufllu geopolimer betonlar üretilmiştir. Sodyum metasilikat ($Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$) ve camsuyu ($Na_2O(n)SiO_2$) ile birlikte aktifleştirilerek uçucu küllü harçlarda oluşan rötre miktarlarının geleneksel Portland çimentolu harcından daha çok olduğu belirlenmiştir. Yüksek fırın cürufları sodyum karbonat, sodyum hidroksit ve sodyum silikat tek tek kullanılıp aktive edilip farklı farklı harç karışımı oluşturulmuştur. Üretilmiş olan harçların kuruma rötresi birbiriyle ve Portland çimentosuyla üretilmiş kontrol harcıyla kıyaslanmıştır. Sodyum silikat ve sodyum hidroksitle üretilmiş harçların kuruma rötresi kontrol harcına göre çok daha fazla oldukları görülmüştür. Bununla beraber, sodyum karbonat ile üretilmiş alkaliyle aktive edilen harcın kuruma rötresinin kontrol harcı ile oldukça benzer oldukları rapor edilmiştir.(Ma ve Ye, 2015)

Başka bir çalışmada ise alkalilerle aktive edilen yüksek fırın cürufu bulunduran harçların, uçucu kül kullanılarak üretilen harclara nazaran çok daha düşük seviyede Ms modülüyle aktive olduğu rapor edilmiştir (Çelikten vd., 2019)

Cürüfların sodyum silikatla aktive edilmelerinin sonucu olarak cüruf içermekte olan harçta düşük poroziteli agrega yüzeyleri oluşmaktadır. Bu mevcut aktivasyonun sodyum silikatla yapılmasının ardından üniform ve amorf yapıya sahip hidrasyon ürünü oluşur. Eğer ki uygulanan aktivasyon işlemlerinde cam suyu (sodyum silikat) kullanımı yerine potasyum hidroksit KOH (alkali oksit) kullanılır ise oluşturulacak hidrasyon ürünü, mukavemet gelişimi süresince düşük değerlere sahip olan, daha çok boşluklu bir ara yüzey bölgesi barındıran ve heterojen yapıda olmaktadır. (Brough ve Atkinson, 2002)

2.4. Geopolimer Betonun Kimyasal Etkileri

$\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ oranı geopolimerlerin tasarımında en önemli parametreler arasında yer almaktadır. $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ oranında uygulanan değişim, sentezlenmekte olan jel ürün ve bunu yanı sıra mekaniğin tüm özelliklerini belirleyebilecek biçimde, alkali/silikat çözeltisinde içerisinde çözülmüş olarak bulunan türlerin polimerleşme derecelerini anlamlı bir biçimde değiştirmektedir.(Bocullo vd., 2017).

Atis çalışmalarında; Portland çimentosunu kullanmayıp yerine, cürufu aktive edebilecek yeni bağlayıcı maddeler kullanılmanın etkilerini araştırmıştır. Alkali aktivatör olarak sodyum hidroksit, sodyum silikat ve sodyum karbonat kullanmıştır. 7 günlük, 28 günlük ve 90 günlük basınç dayanımlarını, eğilmeye karşı çekme dayanımlarını ölçmüş ve 6 aylık süren bu süreçteki kuruma rötreleri teker teker incelenmiştir. Bununla birlikte, mevcut numunelerin hidrasyon gelişmelerini de incelenmiştir. Priz almanın başlangıç ve bitiş sürelerini normal Portland çimentosuyla kıyaslamıştır. Sodyum hidroksit ve sıvı haldeki sodyum silikatla aktive edilmiş olan çimentoların daha az sürede; sodyum karbonat kullanılarak aktive edilmiş olan çimentoların normal Portland çimentosuyla aynı sürede olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Silis modülünün artırılmasıyla sıvı haldeki sodyum silikatın dayanım kazanımında ve eğilmeye karşı çekme dayanımlarına etkilerinin çok daha fazla olduğunu belirtmektedir. Sodyum hidroksit ve sodyum silikatla aktive edilmiş olan cüruf ile üretilmiş olan harçların, daha fazla gevrek, sodyum karbonat ile üretilmiş olan harçların davranışlarının ise Portland çimentosuna daha çok benzediği belirtilmiştir.(Luga ve Atis, 2016)

Malolepszy tarafından yapılmış olan çalışmada ise, Na_2CO_3 'un fazlaca miktarda C_2MS (M=alkali metal) içermekte olan cürufu aktive etmek amacı için kullanımının

uygun olabileceğini ifade etmiştir ve sonuç olarak da NaOH' in C₂AS içermekte olan cürufların iyi aktivatör olduğunu belirtmiştir.(J.Malolepszy, 1986)

Anuar ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarda sıvı haldeki alkali olarak, sodyum silikat (Na₂SiO₃) ve sodyum hidroksit (NaOH) karıştırmış ve o şekilde kullanmıştır. Bu yaptığı çalışmada iki ayrı molariteye sahip sodyum hidroksit kullanmıştır. Bunlardan biri 8M'lık diğeri ise 10 M'lık sodyum hidroksitlerdir. Geopolimer beton numuneleri iki ayrı molaritelerde kullanılmış ve laboratuvarında 3,7,14,21 ve 28 günlük olmak üzere basınç dayanım testleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda 14M lık NaOH kullanılan geopolimer beton numunesinin dayanımının en yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.(Anuar vd., 2011).

Wagh (2011) tarafından yapılan çalışmada MgO ve KH₂PO₄ ile oluşan tepkimede tabanı fosfat olan geopolimer sentezlenmiş ve bu tepkime ile yüksek kristaller meydana gelmiştir. Bu oluşan yapılar ise yaklaşık olarak 20.69 MPa'lık basınç dayanımına ulaşmışlardır.(Wagh, 2011).

Reddy vd. (2011) tarafından yapılan çalışmaya göre, ilk olarak 1978 yılında geopolimer malzemelerle Davidovits çalışmıştır. O yıllarda çalışılmış olan bu malzemelerin Mısır piramitlerinde ve Roma antik tiyatrolarında kullanılmış olan malzemelerin özellikleri ile fazlaca benzer olduğu belirtilmektedir. Geopolimerler, kullanılan normal Portland çimentosu gibi dayanım sağlamakta olan C-S-H (kalsiyum silika hidratları) oluşturmamaktadır. Fakat yapısal bir dayanım elde edebilmek amacı ile alümina, silika vb. aktivatörler kullanılmaktadır. Geopolimerin iki adet ana bileşeni vardır. Bu bileşenler, alkali sıvılar ve malzeme ürünleridir. Bunlar; silis dumanı, uçucu kül, pirinç kabuğu külü ve cüruf gibi fazlaca Al ve Si içermekte olan maddelerdir. Diğer alüminosilikatlarla karşılaştırıldığında geopolimerler oldukça farklıdır. Katı yoğunluk oranları karşılaştırıldığında geopolimerlerin oranı alüminosilikatlardan çok daha fazla yüksektir. Geopolimerler, Portland çimentosu ile oluşturulan betona benzeyen yapısını elde ettikten daha sonra iç tepkimesini sürdürmeye devam etmektedir.(Temuujin vd., 2011)

2.5 Geopolimer Beton Özellikleri

Wardhono v.d. (2017), alkaliyle aktifleştirilmiş cürufların mekanik özelliğinin ve düşük kalsiyuma sahip uçucu kül bulunduran geopolimer betonun özellikleri ile karşılaştırmış ve 540 gün süre içerisinde incelemelerde bulunmuşlardır. Sürecin ilk 90

gününde alkaliyle aktifleştirilmiş betonların uçucu küllü geopolimer betona göre yüksek çekme ve de basınç mukavemetine, bunun yanı sıra düşük yayılma özelliğine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Daha sonra 90 ile 540 gün içerisinde ise alkaliyle aktifleştirilmiş cüruf bulunduran betondaki performansta düşüş görülürken, uçucu küllü geopolimer beton performansında artış gözlemlenmiştir.(Wardhono, vd., 2017).Bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuç, uçucu küllü geopolimer betonlardaki basınç dayanımının artışının yavaş geliştiği ve 540 güne kadar basınç dayanımlarında artma meydana geldiği belirtilmiştir. Uçucu küllü geopolimer betonların düşük ısıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Hardjito vd. (2005)'in çalışması sonucunda alkali aktifleştirici olarak yüksek molariteye sahip sodyum hidroksit kullanılan numunelerinde daha yüksek basınç dayanımına ulaştığını gözlemlemiştir. Sodyum silikatın sodyum hidroksit ile oranının kütlece yüksek olduğu harç karışımında oldukça yüksek bir basınç dayanımı değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. 30 °C ile 90 °C 'lik sıcaklık aralıklarında kür sıcaklığındaki numunelerde sıcaklığın artmasıyla basınç dayanımında da yükseliş gözlemlenmiştir. Ayrıca uzun zaman kür uygulanan numunelerde yüksek dayanım ve yüksek durabilite performansı gözlemlenmiştir.(Hardjito vd., 2005).

Geopolimerlerin avantajları içerisinde en önemlilerinden biri basit bir hazırlama tekniğine sahip olmasıdır. Geopolimer, basit bir şekilde reaktif olabilen alüminosilikat malzemelerle güçlü alkali çözeltiyi karıştırıp, sonrasında oda sıcaklığında kür uygulanır. Bundan kısa bir zaman sonra makul sayılacak basınç dayanımı kazanır. Normal Portland çimentosu bulunduran betonların hazırlanma biçimine fazlaca benzeyen hem hazırlama hem de karıştırma biçimi vardır.(Li vd., 2004)

Çimento, üç çeşit alkali aktivatör ve yüksek fırın cürufu kullanılarak yapılan çalışmada ise mevcut harçların donma çözünme etkisinde kaldığında çevrim sayısını arttırdıkça elastisite modülü, birim ağırlık, basınç dayanımı ve ultra ses geçiş hızı azalmış; meydana gelen çatlak miktarları ise artmıştır. Aktif durumdaki yüksek fırın cürufu içermekte olan harçlarda ise bu parametrelerin azalmalarının oranı daha düşmüştür. Basınç dayanım ve birim ağırlık deneyleri değerlendirildiği zaman, donma çözülme süreçlerinde yüksek verimli sonuçların %100 yüksek fırın cürufu içermekte olan sodyum silikat ve sodyum hidroksit çözeltileriyle aktifleştirilmiş harçlardan elde edildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda sodyum silikat ve

sodyum hidroksit alkalilerinin geopolimer harç ve beton yapımında kullanılabilirliğine ulaşılmıştır.(Topçu ve Canbaz, 2018)

2.6. Betonun Durabilitesi ile İlgili Bazı Konular

2.6.1. Büzülme

Geopolimerlerin büzülme olayı, betonun hacminde zaman içerisinde meydana gelen küçülme olarak tanımlanabilir. Meydana gelen kuruma büzülmesi, sünme olayının aksine herhangi bir dış etkenden etkilenmez. Kuruma, kimyasal, ısıl ve plastik büzülme olarak dört grupta incelenebilir.(Alnkaa, 2019). Geopolimer betonun büzülme performansı ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

2.6.2 Aşınma Etkisi

Betonun yüzeylerinde pek çok türde aşınmalar gözlemlenebilir ancak bu aşınma dayanıklılığını ölçebileceğimiz bir standart yöntem yoktur. Beton yüzeyinin aşınmaya karşı dayanımını belirleyen tekerlekler, çelik bilyeler ve dönen tablalar esasına dayalı üç farklı yöntem mevcuttur.(Baradan vd., 2012)

Aşınmanın meydana geldiği başlıca beton yapılardan bazıları şunlardır;

- Akarsuların taşıdığı çakıl, kum vb. sert malzemelerin sürterek veya çarparak aşınma meydana getirdiği köprü ayakları, barajlar, sanat yapılarında bulunan kütle betonlar,

- Ağır trafiğin üzerinden geçmekte olduğu beton yollar,

Beton yüzeylerinde çarpmalara ve sürtünme etkilerine karşı göstermeye çalıştığı direnmeye "aşınma dayanıklılığı" denilmektedir.(Nergiz, 2007).

2.6.3 Çelik Donatının Korozyonu

Korozyona uğrayan donatıların kesitlerinde/çapında azalma meydana gelir. Dolayısıyla oluşan çekme yükü mevcut halinden daha küçük kesite sahip donatıların yükünü arttıracaktır. Birim hacimde mevcut donatı daha fazla gerilmeyi karşılamak durumunda kalacaktır. Bunun sonucunda zaman içerisinde mevcut donatılar gerilme yükünü taşımakta zorlanarak betonda çatlamaya ve sonrasında kırılmaya neden olacaktır.(Nergiz, 2007). Donatı korozyonu genelde nemin varlığıyla ilişkilendirilir.

Çatlaklı betonlarda, sodyum klorür ve suyun bulunduğu ortamlar korozyon için son derece elverişlidir.

Korozyona uğrayan bir donatıda, pas hacmi donatının hacminden 2,5-3 kat daha fazladır. Paslanmanın ilerleyen zamanlarında oluşan korozyon etkisiyle pas donatının dış yüzeyine yerleşir ve prizini almış durumdaki beton oluşan bu hacim artışıyla zorlandığından betonun çekme dayanımının düşük olmasından ötürü çekme gerilmelerine dayanamayıp çatlar ve zamanla parçalanır.(Nergiz, 2007).

2.7. Geopolimer Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler

2.7.1 Su-Geopolimer Harç Oranı

Portland çimentolu betonda su/çimento oranı beton basınç mukavemetini nasıl etkiliyor ise su/geopolimer katı madde oranı da mukavemeti aynı şekilde azaltır. Bu konudaki etkileri Portland çimentolu betonlara göre oldukça benzerdir.(Xiem, Nguyen ve Thang, 2016).Geopolimer betonlarda su kullanımını alkali aktivatörlerin molaritesini düşürmesinden dolayı suyun fazla kullanımı geopolimer betonların dayanımında düşüşe yol açacaktır.

Patankar (2013), geopolimer bağlayıcıların su ile oranının betonun işlenebilirliğindeki etkilerini incelemiştir. 8 saatlik sürede 900°C sıcaklığında ısı kürünün ardından akış özellikleri test edilmiş ve basınç mukavemetlerini incelemek amaçlı deneysel araştırma yapılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre su/geopolimer bağlayıcı maddedeki artışla birlikte betondaki akıcılığında arttığı tespit edilmiştir fakat bu oranın artması basınç mukavemetini azaltmaktadır .(Patankar vd., 2014).

2.7.2 Donma-Çözülmenin Geopolimer Harcı üzerindeki Etkileri

Çimentolu yapı malzemeleri kullanım ömürlerince biyolojik, fiziksel veya kimyasal nedenlerle hasar görebilirler. Bu meydana gelen etkiler betonun proje ömründen daha da önce dayanımını yitirmesine, performansının zaman içerisinde azalmasına neden olabilir. Tekrarlanan donma – çözünme bu fiziksel etkilerdendir. Donma – çözünmenin etkisi betonların buldukları ortama, meydana gelen sıcaklık farkına, içerisindeki suyun donma hızına, betondaki nem durumuna ve bunun gibi birçok etkiyle değişiklik gösterir. Birbirini tekrar eden donma – çözünme olayı ile betonda birtakım hasarlar meydana gelmeye başlar. Betonlardaki bu hasarlar beton

yüzeylerinde soyulma ve dökülmelerin oluşmasıyla veya betonda gözlemlenen çatlamlarla kendini belli eder. Betonda gözlemlenen kesit boyunca çatlama durumu uzun süreli ve aynı zamanda büyük şiddetli donma – çözünmeye maruz kaldığını, yüzeysel hasarlar ise etrafımızda çokça gözlemleyebileceğimiz durumdur.(Erdem ve Öztürk, 2012).Geleneksel betonda oluşan donma-çözünme çevrimlerinin verdiği zararın benzeri çimentosuz betonda da gözlemlenebilir. Burada amaç, çimentosuz betonda çimentodan daha ince malzeme kullanarak zararlı iyonların beton içerisine penetrasyonunu engellemektir.

2.7.3 SiO₂/ Na₂O Oranı

Evathi v.d. (2014), Na₂SiO₃/NaOH oranının, SiO₂/Na₂O molar oranının ve kütleme şeklinin Geopolimer harçların basınç mukavemetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Na₂SiO₃ çözeltisini 8 M olacak şekilde sağlamıştır. Buhar kürü ve 60°C fırın kürü uygulanarak numuneler test edilmiştir. Bu uygulanan testler sonucunda SiO₂/Na₂O harcında 1 oranı ve Na₂SiO₃/NaOH harcında 2 oranı uygulandığında numuneler daha fazla basınç mukavemetine sahip olmaktadır.(Revathi vd., 2014).

2.7.4 Geopolimer Betonda Kimyasal Durabilite

Geopolimer betonlarda Portland çimentolu betonlara benzer şekilde kimyasal etkilerden etkilenmektedir. Beton hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı kimyasal etkiler arasında magnezyum sülfat, sülfürik asit, sodyum sülfat ve sodyum klorür gibi kimyasal etkiler yer almaktadır. Genellikle bu saldırgan iyonlar beton içerisine nüfuz ederek betonların içyapısını bozmaktadır. Betonda gerçekleşen kimyasal bozulma betonun en dış yüzeylerinden başlayarak beton iç kısımlarına doğru hareket eder. Betonda bu kimyasal etkilerden dolayı ilk önce şişme gerçekleşir ve beton şişmeden dolayı oluşacak çekme dayanımı karşılayamadığında önce beton çatlar. Daha sonra bozulmanın ilerleyen safhalarında çatlaklar büyüyerek dökülmelere yol açar. Bu zamanla oluşan kimyasal etkinin içeriğine bağlı olarak hızlı veya yavaş gerçekleşen reaksiyonlar betonun hizmet ömrünün düşmesine, betonda paraç dökülmesine bağlı olarak kesit kaybına ve en son olarak ise beton basınç dayanımının düşmesine sebep olurlar. Bu sebeple betonların kimyasal etkilere karşı yeterli durabiliteyi göstermesi için betonlarda farklı önemler alınmalıdır. Bunlardan en ucuz olanı betonda kimyasal etkilere dayanıklı beton üretmekten geçmektedir.

Yapılan bir araştırmada farklı miktarlarda katkıların ilave edilmesiyle elde edilen değişik tipte betonların hava ortamında, % 3.5 deniz suyu ortamında ve % 5 sülfürik asit ortamında betonların durabilite özellikleri hem bağlayıcı tipi, dozajı ve eşdeğer su-çimento oranlarında TS13515 standardına uygun olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerde kimyasallara maruz kalmayan kontrol betonları, F-tipi uçucu kül içeren betonlar, cüruf içeren betonlar ve hem F-tipi uçucu kül hem de silis dumanı içeren betonlar üretilmiştir. Uçucu küllü betonların ve kontrol betonların eşdeğer su-çimento oranları aynı olup 0.45'tir. Bağlayıcı miktar olarak ise 400 kg çimento kontrol betonunda, 470 kg uçucu kül ise uçucu küllü betonlarda mevcuttur. Cürufllu, uçucu kül ve silisli olan betonlarda eşdeğer su-çimento oranları 0.53 seçilmiş olup, sırasıyla malzeme ağırlıkları 500 kg ile 440 kg belirlenmiştir. Ağırlık değerleri 1 m³ beton için verilmiştir. Bu deney TS13515 standardına uygun olacak şekilde k değerleri hesaplanarak üretilecek betonların malzeme miktarları belirlenmiştir. Bu üretilen betonlar farklı kimyasal etkilere bırakılmadan önce ve bırakıldıktan sonra ağırlıkları ölçülerek ağırlık değişimleri hesaplanmıştır. Yine kimyasal ortamlara bırakılmadan önce ve bırakıldıktan sonra beton yüzeylerindeki fotoğraflar çekilerek, hangi ortamın betonları hangi derecede etkilediği görsel olarak incelenmiştir. Bunların yanı sıra betonların basınç dayanımları farklı ortamlara maruz bırakılmadan önce ve bırakılmadan sonra test edilmiş ve farklı kimyasal ortamların beton basınç dayanımlarını hangi oranda etkiledikleri belirlenmiştir. Sonuçlar hem ağırlık değişimi, hem görsel inceleme hem de basınç dayanımları değişimi çerçevesinde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kimyasal ortamlar arasında beton için en tehlikeli kimyasal ortamın % 5 sülfürik asit olduğu belirtilmiştir. Betonlar değerlendirildiklerinde ise kimyasal etkilere karşı en dayanıklı betonların hem F-Tipi uçucu kül hem de silis dumanı içeren betonlar olduğu, en az dayanıklılığa sahip betonların ise cürufllu ve Portland çimentolu kontrol betonları olduğu rapor edilmiştir. Bunun sebebi olarak ise cüruf ve çimentonun içeriğindeki CaO miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca TS EN13515 standardındaki k katsayılarının uygunluğu da incelenerek standartlara tavsiye de bulunulmuştur(Niş A., 2019).

Geopolimer betonlar ile yapılan bir araştırmada gelecek senelerde kullanımının artacağı öngörülen değişik tipte geopolimer beton küp numunelerinin % 5 sülfürik asite maruz kalmasından ötürü geopolimer ve alkali aktive edilmiş betonların durabilite performansları değerlendirilmiştir. Üretilen geopolimer betonlar farklı

mineral katkıları ile üretilmiştir. Farklı olarak 3 değişik beton tipleri üretilmiştir. Bunlardan birincisi tamamen uçucu küllü üretilen geopolimer betonlar, ikincisi tamamen öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile üretilen alkali aktive edilmiş betonlar ve son olarak ta yarısı uçucu küllü yarısı yüksek fırın cürufuyla (% 50 uçucu kül + % 50 yüksek fırın cürufu) betonlardır. Bu farklı tipte üretilen geopolimer betonlarda alkali solüsyon olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit bileşimi kullanılmıştır ve oran olarak sodyum silikat/sodyum hidroksit 2.5 seçilmiştir. Sodyum hidroksit molaritesi olarak ise 16 M kullanılmıştır. Bu farklı betonların kimyasal durabilitesinin geleneksel çimentolu betonlarla karşılaştırmak için ayrıca çimentolu betonlar kontrol betonu olarak üretilmiştir. Bu betonlar % 5 sülfürik asit etkisine maruz bırakılarak numunelerin dış yüzeylerinde asit etkisi dolayısıyla meydana gelen değişim, numune ağırlıklarında meydana gelen değişim ve basınç dayanımlarında asit dolayısıyla meydana gelen azalma araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, uçucu küllü betonların yüksek dayanım elde etmek için yüksek sıcaklık kürüne ihtiyacı olduğu, yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen betonların ise yüksek sıcaklık kürüne ihtiyaç duymadığı sonucuna ulaşılmıştır. % 5 sülfürik asit etkisine maruz kalan betonlardan % 5 sülfürik asite karşı en iyi durabilite performansını %50 uçucu kül + %50 yüksek fırın cürufu katkılı alkali aktive edilmiş betonlar gösterirken, en kötü durabilite performansını %100 uçucu küllü üretilen geopolimer betonlar göstermiştir. Düşük performansın sebebi olarak ise geopolimerizasyona uğramamış uçucu küllerden kaynaklandığı belirtilmiştir.(Altundal, 2019).

Yapılan bu tez çalışması kapsamında %100 öğütülmüş yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonlar üretilmiştir. Bu betonlarda alkali aktivatör solüsyonları olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit kullanılmıştır. Kullanılan sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı tüm çalışma boyunca sabit olacak şekilde 2.5 seçilmiştir. Sodyum hidroksit ise 16 molarite olacak şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada yüksek fırın cürufu 3 farklı miktarlarda; 400 kg/m³, 500 kg/m³, ve 600 kg/m³ olarak 3 farklı dozaj kullanılmıştır. Bunun yanı sıra alkali aktivatör/bağlayıcı oranları ise 0.45 ve 0.55 olacak şekilde belirlenmiştir. Bu tez kapsamındaki amacımız, laboratuvar ortamında kür edilen yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonların farklı zamanlarda basınç dayanımının değişimini ve % 5 sülfürik asit etkisi altında durabilitesi incelemektir. Hedefimiz, yüksek fırın cürufu bazlı betonların yapıların inşasında geleneksel Portland çimentolu betonların yerine kullanılabileceğini

göstermek ve bu tip betonların yapısal kullanım için gerekli standartların oluşmasına ön ayak olunması amaçlanmıştır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde üretilen numunelerde kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri, üretilen geopolimer betonun yapılışı ve bu betonlara uygulanan deneyler hakkında bilgi verilmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufunun taze betonun işlenebilirliğini arttırmak, priz süresini uzatmak, betonun terlemesini azaltmak, hidrasyon ısısını düşürmek, sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini düşürmek ve sertleşmiş betonun sülfata dayanıklılığını arttırmak gibi olumlu birçok özelliği vardır. Yüksek fırın cürufunun atık bir malzeme olmasından ötürü geopolimer betonların yapımında kullanılması hem ekonomik açıdan hem de yaşadığımız çevre açısından önemli bir gelişme olacaktır. Yüksek fırın cürufunun içeriğindeki yüksek CaO oranından ötürü geopolimer betonlar ısı kürüne ihtiyaç duymaksızın dayanım kazanabilirler. Isı kürü kullanılmaması, geopolimer betonların üretilmesi için ekonomik anlamda fayda sağlamaktadır. Yüksek fırın cürufu Şekil 3.1’de gösterilmiştir ve kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal ve fiziksel bileşimleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Yüksek Fırın Cürufu

Çizelge 3.1. Yüksek fırın cürufu özellikleri

Kimyasal analiz	Sonuçlar
CaO	37,92 (%)
SiO ₂	37,97 (%)
Al ₂ O ₃	13,27 (%)
Fe ₂ O ₃	1,16 (%)
MgO	5,64 (%)
SO ₃	0,23 (%)
K ₂ O	0,56 (%)
Na ₂ O	0,84 (%)
Cl	0,0150 (%)
S	0,78 (%)
TiO ₂	0,66 (%)
Mn ₂ O ₃	0,55 (%)
Kızdırma kaybı	0,01 (%)
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2,95
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	5131

3.1.2. Agrega

Yapılan çalışma kapsamında ince agregası (0-4 mm) ve iri agregası (4-16 mm) kullanıldı. İnce agregası kum ve kırma kum olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kırma kum doğal kumdan biraz daha kalın olmakla beraber 4 mm boyutundan daha küçüktür. İri agregada No I ve No II olmak üzere ikiye ayrılmıştır. No I agregası boyutu 4 mm – 8

mm arasında değişmekte iken No II agrega ise 8 mm – 16 mm arasında değişmektedir. Kullanılan iri agrega Şekil 3.2’de ve agregaların özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. İri Agrega

Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan iri agregaların özellikleri

Özellikler	1 nolu agrega	2 nolu agrega
Tane yoğunluğu	$2,71 \cdot 10^{-9} \text{ g/cm}^3$	$2,72 \cdot 10^{-9} \text{ g/cm}^3$
Su emme oranı	%0,7	%0,6
Yassılık endeksi	%14,0	%9,0
İri agregaların parçalanmaya karşı direnci	%20	%20

3.1.3. Alkali Aktivatörler

Geopolimer betonların dayanım kazanması için yani bağlayıcı malzemelerin reaksiyona girmesi için alkali aktivatörlere ihtiyaç vardır. En çok kullanılan alkali aktivatörler sodyum silikat ve sodyum hidroksittir. Sodyum bazlı alkali aktivatörlerin potasyum bazlı alkali aktivatörlere nazaran daha çok kullanılmasının sebebi sodyum bazlı alkali aktivatörlerin daha ucuz olmasıdır. Bu çalışma kapsamında sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı olarak 2.5 kullanılmıştır. Sodyum silikat sıvı olarak yerel bir kimya firmasından temin edilmiştir ve sodyum silikatın özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Sodyum hidroksit ise katı olarak yerel bir kimya firmasından % 97-98 saflıkta temin edilmiştir ve 14 M sodyum hidroksit çözeltisi olarak laboratuvarında hazırlanmıştır. Hazırlanan 14 M sodyum hidroksit çözeltisi karışımdan 6 saat önce hazırlanmış olup, oluşan yüksek ısıyı düşürmek için önceden hazırlanmıştır. Şekil 3.3’de kullanılan sodyum hidroksit gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Sodyum silikat (Na_2SiO_3) özellikleri

Bileşen	Değer
% SiO ₂	%22-25
%NaO ₂	%10-12
Yoğunluk	1,39 g/cm ³
Görünüm	Renksiz,belirsiz, viskoz sıvı



Şekil 3.3. Sodyum hidroksit (NaOH)

3.1.4. Kimyasal Katkı

Deneylerde üretilen geopolimer betonların S4 kıvamda olması amacıyla deneylerde kimyasal katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkının ismi ve özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Kimyasal katkının hangi oranlarda kullanıldığı ise oluşturulan farklı geopolimer betonlar için beton karışım oranları kısmında verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kimyasal katkı özellikleri

Özellikler	Kimyasal katkı
Ürün adı	YAPRHEO HYPER SCC 900
Renk	Opak
Durumu	Sıvı
Özgül ağırlık	1,069 g/cm ³
Katı madde ağırlığı	31,93 %
Suda çözünebilir klorür	0,0376 %
pH değeri	6,03

3.2. Deneysel Çalışma

3.2.1 Kalıplar

Yaptığımız çalışmada 150 mm x150 mm x150 mm boyutlarında küp kalıplar kullanılmıştır. Beton dökümünden önce kalıplar temizlenerek yağlama işlemi yapıldı ve böylece betonların kalıp sökülünde kolaylıkla çıkması sağlanmıştır. Beton dökülmeden önce kalıpların alt kısmına kâğıtlar konularak hem isimlendirildi hem de numaralandırıldı. Bu sayede ise kalıpların hava yoluyla çıkarılması ve numunelerin birbirleriyle karışmaması sağlanmıştır. Şekil 3.4' te deneylerde kullandığımız kalıplar gösterilmiştir. Beton numunelerin kalıplardan çıkarılabilmesi için hava kompresörü kullanılmıştır.

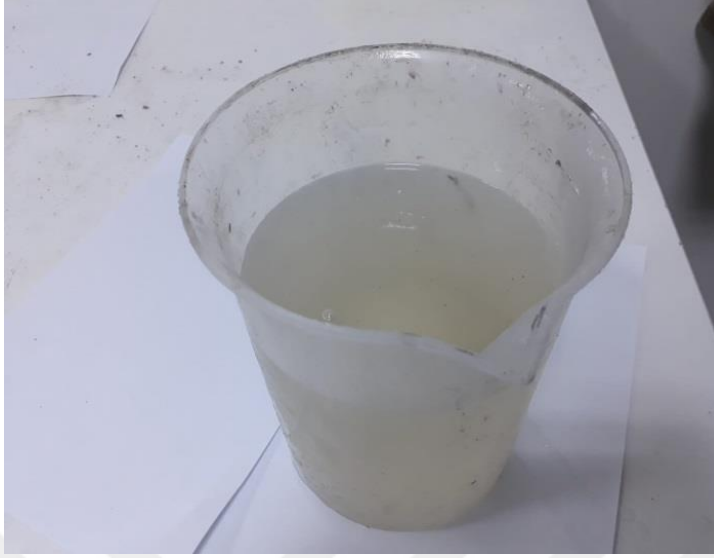


Şekil 3.4. Küp Kalıplar

3.2.2. Alkali Aktivatörlerin Hazırlanması

Deneyde kullanılan alkali aktivatörler; sodyum hidroksit ile sodyum silikatın 2.5/1 oranlarında karıştırılmasından oluşturulmuştur. 14 M sodyum hidroksit çözeltisi elde etmek için ise 1482 gr NaOH çözeltisi için, 525 gr NaOH ve 957 gr su kullanılarak hazırlanmıştır. 14 M sodyum hidroksit çözeltisi geopolimer betonların dökülmesinden

önce oluşan yüksek ısıyı düşürmek için 6 saat önce laboratuvarında hazırlanmıştır. Şekil 3.5'de hazırlanan alkali aktivatör gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Alkali Aktivatörler

3.2.3. Karışımların Hazırlanması

Yapılan çalışma kapsamında geopolimer betonların üretilmesi için çimentonun yerine öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Alkali aktivatörler sodyum silikat ve soyum hidroksitin 2.5/1 oranında birleşmesinden oluşmuştur. Deneyde ayrıca hem işlenebilirliği artırmak amacıyla hem de geopolimerizasyon sürecini hızlandırmak amacıyla ilave su kullanılmıştır. 1 m³ betonda kullanılan malzeme miktarı Çizelge 3.5 – 3.10'da detaylıca gösterilmiştir. Çalışmada bağlayıcı malzeme olarak %100 oranında öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Bağlayıcı miktarı olarak ise 400 kg/m³, 500 kg/m³ ve 600 kg/m³ olmak üzere 3 farklı bağlayıcı oranı seçilmiştir. Alkali solüsyon/ bağlayıcı miktarı oranları olarak 0.45 ile 0.55 kullanılmıştır. Burada amacımız farklı bağlayıcı ve farklı alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranları ise alkali aktive edilmiş betonların hem dayanım hem de durabilite özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda farklı betonlar üretilerek dayanım ve durabilite testlerine tabii tutulmuştur.

Çizelge 3.5. S100-400-0.45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	514
	No II	514
İnce Agrega	Kum	330
	Kırma kum	330
Yüksek fırın cürufu		400
Kimyasal katkı		10.60
Na ₂ SiO ₃		128.57
NaOH		51.43
İlave su		30

Çizelge 3.6. S100-400-0.55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	481
	No II	481
İnce Agrega	Kum	309
	Kırma Kum	309
Yüksek fırın cürufu		400
Kimyasal katkı		10.60

Na ₂ SiO ₃	157.14
NaOH	62.86
İlave Su	30

Çizelge 3.7. S100-500-0.45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	444
	No II	444
İnce Agrega	Kum	285
	Kırma kum	285
Yüksek fırın cürufu		500
Kimyasal katkı		7.58
Na ₂ SiO ₃		160.71
NaOH		64.29
İlave su		37.50

Çizelge 3.8. S100-500-0.55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	403
	No II	403

İnce agrega	Kum	259
	Kırma kum	259
Yüksek fırın cürufu		500
Kimyasal katkı		7.58
Na ₂ SiO ₃		196.43
NaOH		78.57
İlave su		37.50

Çizelge 3.9. S100-600-0.45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

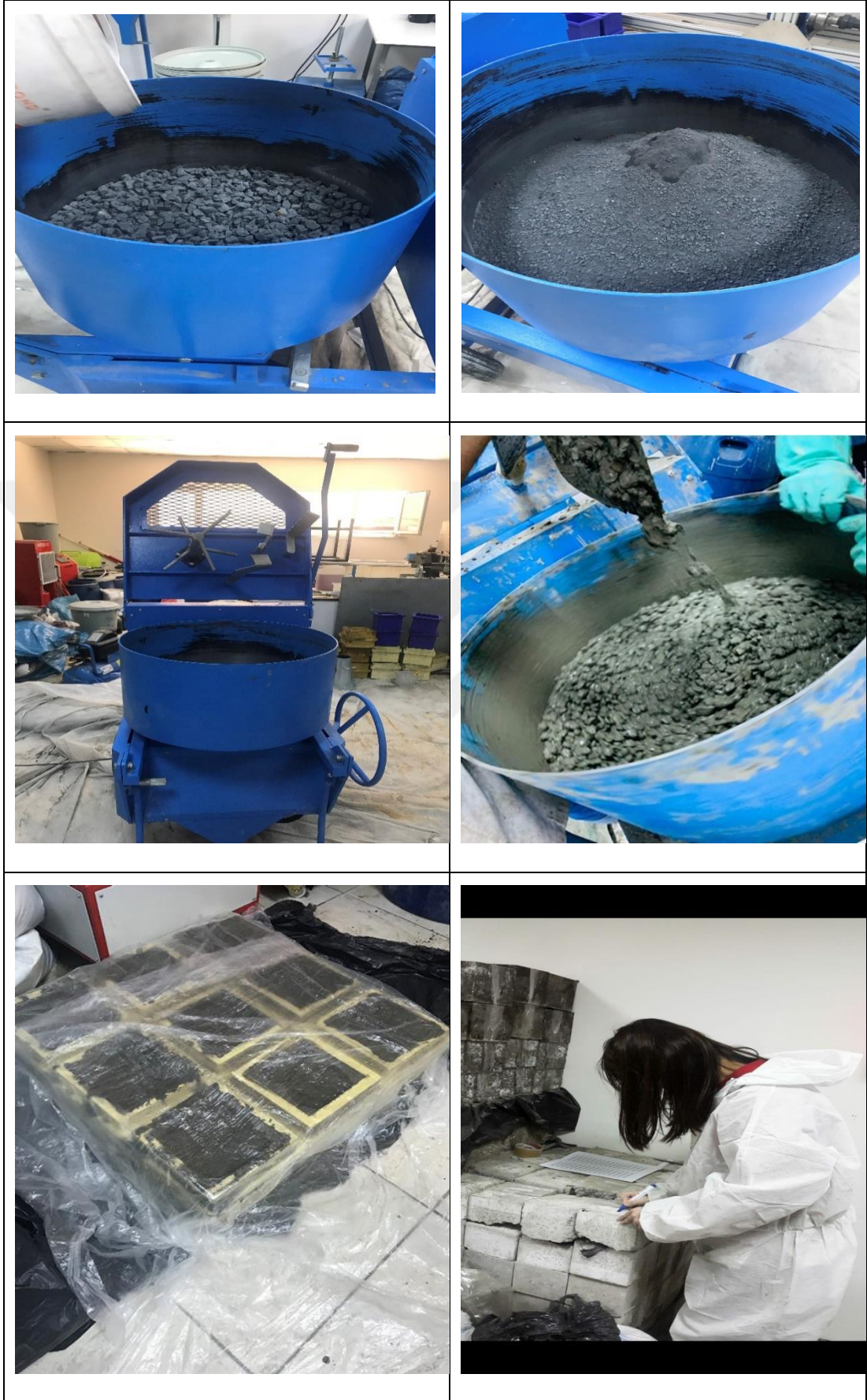
Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	374
	No II	374
İnce agrega	Kum	240
	Kırma kum	240
Yüksek fırın cürufu		600
Kimyasal katkı		4.55
Na ₂ SiO ₃		192.86
NaOH		77.14
İlave su		45

Çizelge 3.10. S100-600-0.55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	325
	No II	325
İnce agrega	Kum	209
	Kırma kum	209
Yüksek fırın cürufu		600
Kimyasal katkı		4.55
Na ₂ SiO ₃		235.71
NaOH		94.29
İlave su		45

3.2.4. Geopolimer Beton Üretimi Ve Döküm Süreci

Homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla mikserin en altına ilk önce iri agregalar daha sonra ince agregalar konuldu. Öncelikle bu kuru malzemeler ortalama 2 dakika boyunca kendi içerisinde karıştırıldı. Sonrasında ayrı 2 kapta hazırlanan alkali aktivatörlerle kimyasal katkının yarısı karışıma eklendi ve 2 dakika boyunca karıştırıldı. Daha sonra kalan katkının yarısı ilave suya ilave edilip ayrı bir kapta karıştırıldıktan sonra mikserde ilave edildi ve 2 dakika daha karıştırıldı. Homojen bir karışım elde edildikten sonra önceden yağlanmış kaplara 2 kademede yerleştirildi. Beton içerisinde hava boşluğu kalmaması için şişleme ve tokmaktama yapıldı. Pürüzsüz bir yüzey elde etmek için geopolimer betonların en üst yüzeyleri mala ile düzeltildi. Daha sonra kalıpların en üstü plastik naylonlarla kaplandı. Buradaki amaç alkali aktivatörlerin buharlaşmasını önlemektir. Şekil 3.6'da beton döküm süreci fotoğrafları gösterilmiştir. En son ise numunelerin üzerine isimler yazılarak laboratuvarında bekletilmiştir.



Şekil 3.6. Beton Döküm Süreci

3.2.5. Krleme

Üretilmiş betonlar kp kalıptan çıkarılmasını takiben mekanik ve durabilite testleri yapılıncaya kadar laboratuvarında bekletilmiştir. Yüksek fırın cüruflu betonlara herhangi bir ısı veya su kr metotları kullanılmamıştır. Amacımız dökülen geopolimer betonların OPC betonları gibi normal hava şartlarında dayanım ve durabilite testlerine tabii tutup, betonların yapıda kullanılıp kullanılmayacağını belirlemektir.

3.2.6. Sülfürik Asit zeltisi

Beton döküm aşamasından sonra % 5 konsantrasyonunda sülfürik asit çözeltisi laboratuvarında kovalar ile hazırlanmıştır. Sonra her bir numunenin isimlendirilmesi ve ağırlık tartılması yapıldıktan sonra numuneler kovalara yerleştirilmiştir. Daha sonra hazırlanan sülfürik asit çözeltileri kovalara dökülmüştür ve Kovalar isimlendirilmiştir. Kovalardaki numuneler 90, 120 ve 150 gün boyunca bekletilip çıkarıldıktan sonra 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra numuneler şekil 3.7'de gösterildiği gibi çıkartılıp ağırlık ölçümleri, fotoğraf çekimleri ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. Betonların %5 Sülfürik Asit Çözeltilerinde Bekletilmesi ve Çıkarılması

3.2.7. Ağırlık Değişimi

Numunelerin sülfürik asit çözeltilerine maruz bırakılmasından önce betonların başlangıç ağırlıkları tek tek tartıldı.120.gün ve 150.gün sonunda sülfürik asitteki betonlar hazırlanan asit kovalarından çıkarıldıktan sonra 24 saat bekletilmiştir. Sonrasında sülfürik asite maruz kalan betonlar Şekil 3.8’de gösterildiği üzere ayrı ayrı tartıldıktan sonra, başlangıç ağırlıkları ile karşılaştırılıp numune ağırlığında meydana gelen değişimler aşağıda gösterilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır

$$\text{Ağırlıkta yüzde değişimi}=[(B-A)/A] \times 100 \quad (3.1)$$

A= Başlangıç ağırlığı

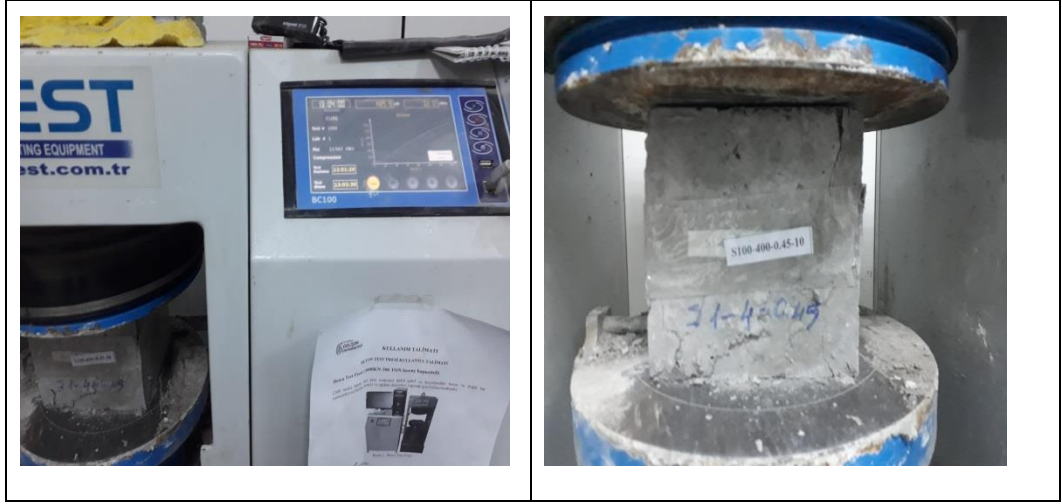
B= Aside maruz kaldıktan sonraki ağırlığı



Şekil 3.8. Sülfürik Asitte Bırakılan Numune Ağırlıklarının Ölçümü

3.2.8 Basınç Dayanımı Testi

Hazırlanan numunelerin kuvvet/alan formülünden basınç mukavemeti MPa (N/mm²) cinsinden belirlenmiştir. Gerçekleştirilen basınç mukavemeti testleri AS1012.9-1999 standardına göre yapılmıştır. Şekil 3.9’da gerçekleştirilen basınç dayanımı testlerinden bazıları gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Basınç Dayanımı Testleri

Yapılan çalışmada 28 gün 120.gün ve 150. günlerde hem sülfürik asit ortamında bulunan numunelerde hem de laboratuvarında bekletilen kontrol (asite maruz bırakılmamış) numunelerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrası sülfürik asit sonrası ve öncesi numunelerin basınç dayanımlarında hangi oranda bir değişim meydana geldiği her tip betonlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır.


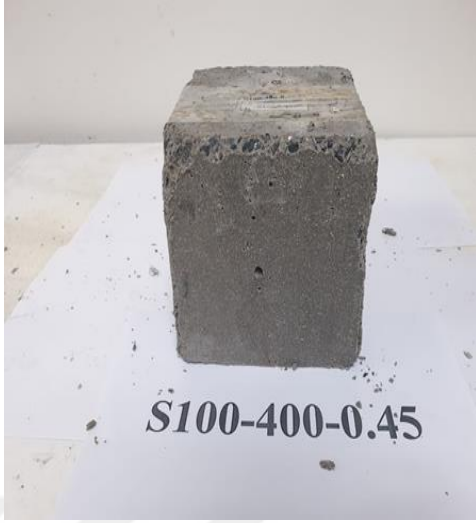

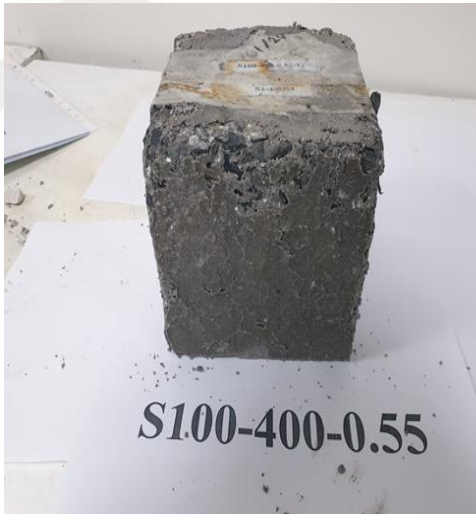
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada sülfürik asit etkisindeki %100 yüksek fırın cürufuyla üretilen alkali aktive edilmiş betonların mekanik ve durabilite performansı incelenmiştir. Numuneler 28 gün kontrol (laboratuvar) ortamında, 120 gün ve 150 gün hem kontrol ortamında hem de 5% sülfürik asit ortamında bekletilmiş ve sülfürik asit etkisindeki farklı alkali aktive edilmiş betonların performansı incelenmiştir. Çalışmada yüksek fırın cürufu 400 kg/m³, 500 kg/m³ ve 600 kg/m³ olacak şekilde 3 farklı oranda kullanılmıştır. Alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranları ise 0.45 ve 0.55 olmak üzere 2 farklı şekilde seçilmiştir. Üretilen bu yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonlar üzerinde %5 sülfürik asit etkisi sonrası görsel inceleme, ağırlık değişimi ve basınç dayanımlarında meydana gelen değişim incelenmiştir.

4.1. Görsel Denetim

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonların, kontrol ortamında ve asit ortamında 28 gün, 120 gün (120 gün hem asit ortamında hem kontrol ortamında) ve 150 gün (150 gün hem asit hem kontrol ortamında) bekletilen betonların yüzeylerinde meydana gelen ve gözle görülebilen değişimler Şekil 4.1’de verilmiştir. Asite maruz bırakılan beton numunelerinin en dış yüzeylerinde alçıtaşı oluşumundan kaynaklanan beyaz lekeler ve yüzeylerde bozulma gözükmemektedir. Asit içerisinde bekletilen numunelerin yüzeyindeki erozyon, kalsiyum monosülfoalüminatlar ve kalsiyum hidroksit arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle meydana gelen beyaz bir alçı kristalleri tabakasından kaynaklanmaktadır. Bu oluşan alçıtaşı ürünleri betonun dış yüzeyinin yumuşama nedeniyle pul pul dökülmesine ve mekanik dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Şekil 4.1’de numuneler incelendiğinde betonların asitte bekleme süreleri arttıkça yüzey bozulmalarının daha da arttığı görülmüştür. Beyaz lekelerin artması ve yüzeydeki çatlakların artması, parça dökülmesi bozulmanın daha fazla olduğunu göstermektedir. Betonun rengi gri renkten beyaz renge dönüşmeye başlamıştır.

120 GÜN	150 GÜN
 <p data-bbox="427 712 815 786"><i>S100-400-0.45</i></p>	 <p data-bbox="1043 696 1326 748"><i>S100-400-0.45</i></p>
S100-400-0.45	S100-400-0.45
 <p data-bbox="459 1346 762 1397"><i>S100-400-0.55</i></p>	 <p data-bbox="1034 1361 1337 1413"><i>S100-400-0.55</i></p>
S100-400-0.55	S100-400-0.55

 <p data-bbox="459 629 863 703">S100-500-0.45</p>	 <p data-bbox="1023 600 1369 674">S100-500-0.45</p>
<p data-bbox="496 779 692 815">S100-500-0.45</p>	<p data-bbox="1043 779 1240 815">S100-500-0.45</p>
 <p data-bbox="440 1294 850 1368">S100-500-0.55</p>	 <p data-bbox="999 1312 1362 1386">S100-500-0.55</p>
<p data-bbox="496 1458 692 1494">S100-500-0.55</p>	<p data-bbox="1043 1458 1240 1494">S100-500-0.55</p>

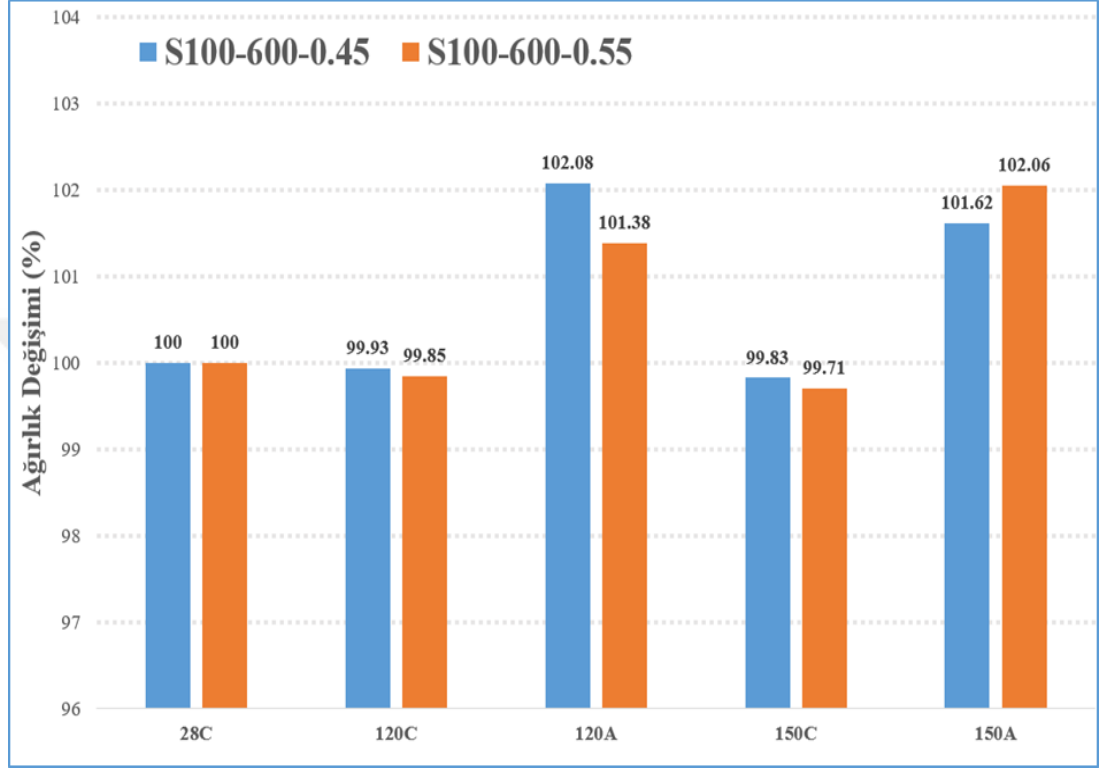


Şekil 4.1 120. ve 150. Günlerde Numune Yüzeylerinde Meydana Gelen Değişim

4.2 Ağırlık Değişimi

Beton numunelerdeki ağırlık değişimleri meydana gelen bozulmaları göstermektedir. Betonun ağırlığı artıp azalıyorsa beton maruz kaldığı kimyasallardan etkileniyor demektir. Şekil 4.2' de 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Şekil 4.2'deki C harfi kontrol yani laboratuvar ortamını, A harfi ise %5 sülfürik asit ortamını göstermektedir. 28, 120 ve 150 rakamları numunelerin toplam yaşını gün olarak ifade etmektedir. Grafikte 28C,

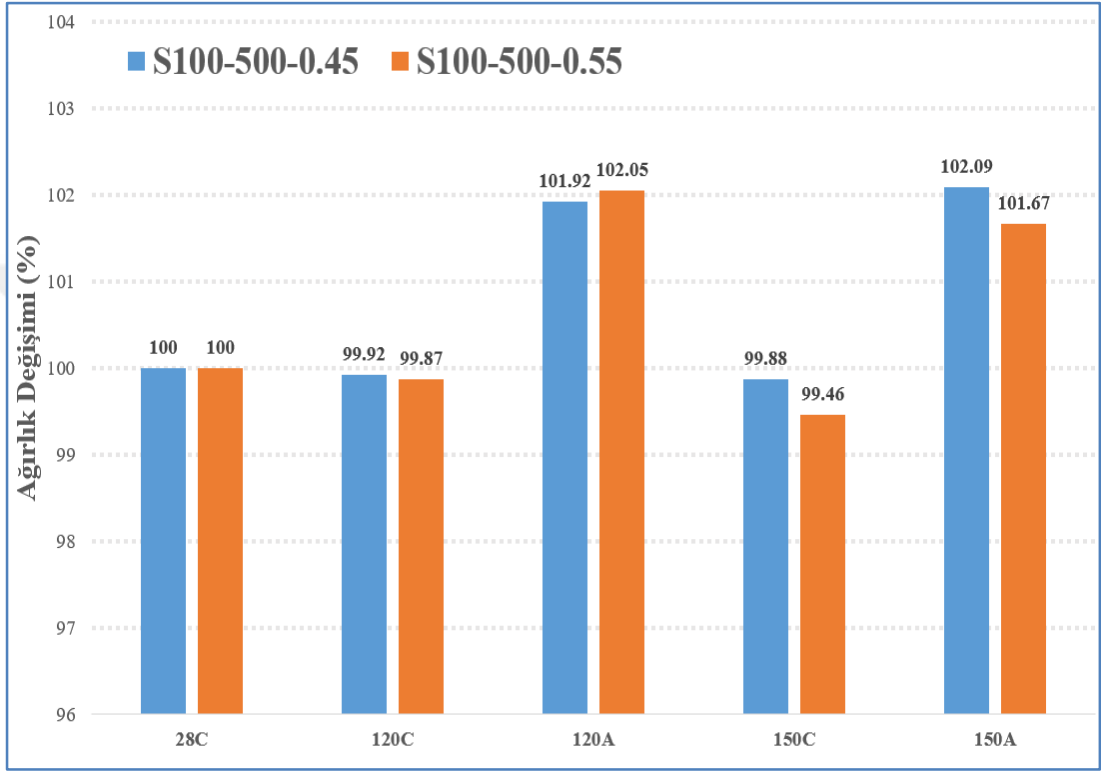
28 gün kontrol (laboratuvar ortamı) ortamında bekletilen numuneleri ifade eder. 120C, 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş, 120A ise 28 gün laboratuvar kürüne maruz kaldıktan sonra 92 gün asit ortamında bekletilen numuneleri göstermektedir. 150 gün kontrol ortamında bekletilmiş numuneler 150C ile gösterilirken sülfürik asit ortamındakiler ise 150A (28 gün lab-122 gün asit) ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 600 kg/m³ Cüruf İçeren Alkali Aktive Edilmiş Betonların Ağırlık Değişimi

Şekil 4.2’de farklı zamanlarda (120.gün ve 150.gün) meydana gelen ağırlık değişimi aynı betonun 28.gündeki ağırlıklarına göre % oranında ne kadar azalma veya artma meydana geldiğini göstermektedir. Grafikte görüldüğü gibi 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.07 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %2.08 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.17 azalırken asit ortamındakilerin ağırlığı %1.62 artmıştır. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlara baktığımızda ise 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.15 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %1.38 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.29 azalırken asit ortamındakilerin ağırlığı %2.06 artmıştır. Sonuçlara göre 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranına sahip betonlar 120.güne kadar asit emiliminden dolayı ağırlığı artarken 150. gün sonra ağırlıkta parça dökülmesinden

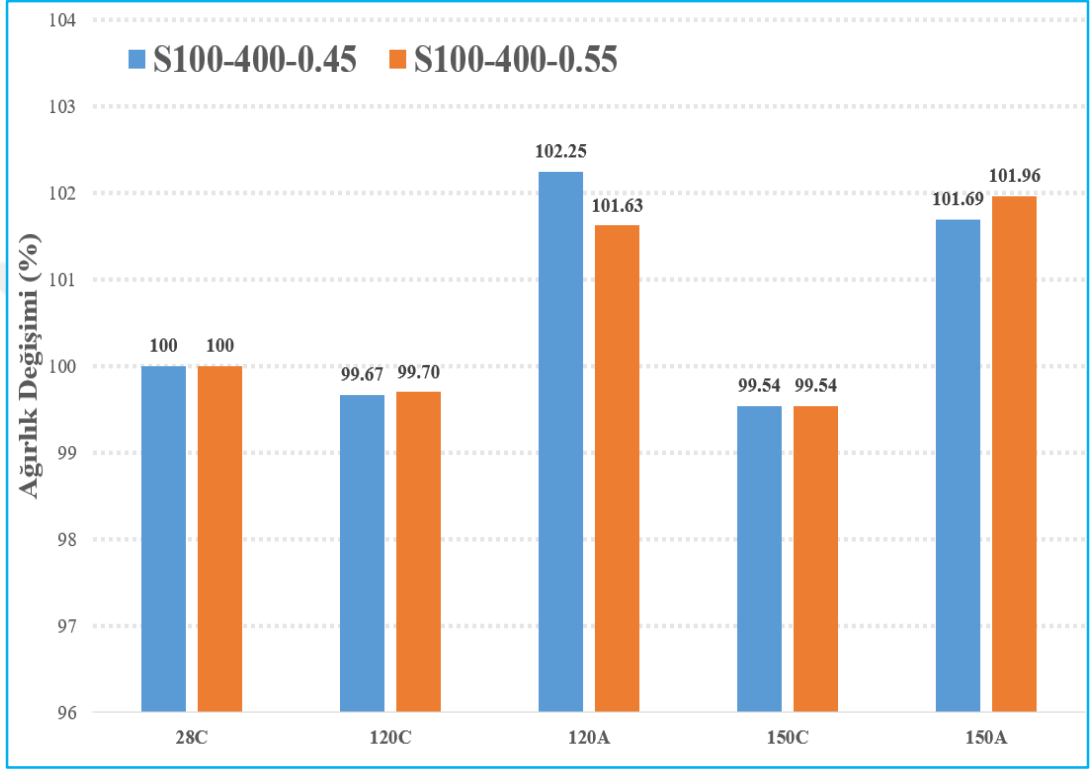
ötürü azalma meydana gelmiştir. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranına sahip betonlar ise hem 120. günde hem de 150. günde asit emiliminden dolayı ağırlıkta artma meydana gelmiştir. Kontrol ortamında bekletilen numunelerde ise devam eden alkali aktivasyon reaksiyonlarından ötürü ağırlıklarında azalma meydana gelmiştir. En fazla ağırlık kaybı 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranına sahip betonlarda görülmüştür.



Şekil 4.3. 500 kg/m³ Cüruf İçeren Alkali Aktive Edilmiş Betonların Ağırlık Değişimi

Şekil 4.3' de ise 500 kg/m³ öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların farklı zamanlarda %5 sülfürik asit etkisi sonrası ağırlık değişimi gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.08 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %1.92 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.12 azalırken asit ortamındakilerin ağırlığı %2.09 artmıştır. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlara baktığımızda ise 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.13 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %2.05 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.54 azalırken asit ortamındakilerin ağırlığı ise %1.67 artmıştır. Sonuçlara bakıldığında kontrol ortamında en fazla ağırlık kaybı

0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarına sahip betonlarda meydana gelmiştir. Asit ortamında bekletilen numunelerde ise 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarına sahip betonlarda asit emilimi dolayısıyla ağırlık artışı hem 120. günde hem de 150. günde meydana gelmiştir. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarına sahip betonlarda ise 120.güne kadar asit emiliminden dolayı ağırlığı artarken 150. gün sonra ağırlıkta azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.4. 400 kg/m³ Cüruf İçeren Alkali Aktive Edilmiş Betonların Ağırlık Değişimi

Şekil 4.4 de 400 kg/m³ öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların hem kontrol ortamında hem de %5 sülfürik asit ortamında ağırlık değişimleri gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.33 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %2.25 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.46 azalırken asit ortamdakilerin ağırlığı %1.69 artmıştır. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlara baktığımızda ise 120 gün kontrol ortamında bekletilmiş numunelerin ağırlığı %0.30 azalırken 120 gün asit ortamındaki numunelerinki %1.63 artmıştır. 150 günlükte ise kontrol ortamındaki numunenin ağırlığı %0.46 azalırken asit ortamdakilerin ağırlığı ise %1.96 artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kontrol

ortamında bekletilen numunelerde su kaybı ve devam eden alkali aktivasyon reaksiyonları sonucunda ağırlık azalması meydana gelmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranına sahip betonlarda 120. günde ağırlık artması meydana gelirken 150. günde ise ağırlık azalması meydana gelmiştir. 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı oranına sahip betonlarda ise hem 120. hem de 150. günlerde ağırlık artması meydana gelmiştir.

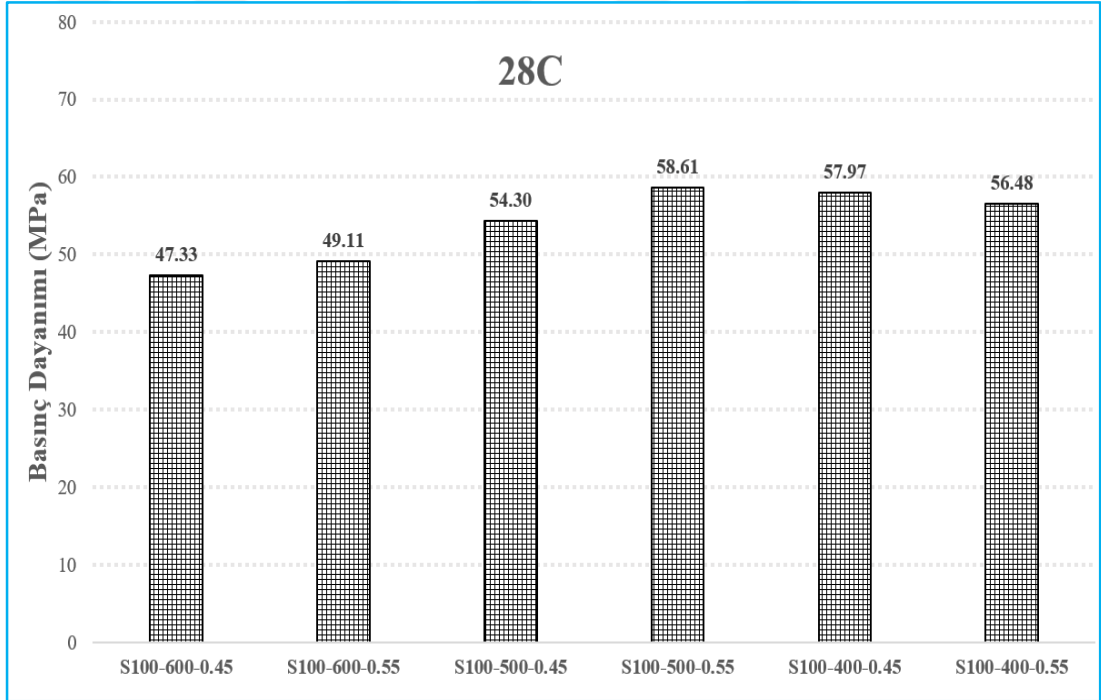
Beton numunelerindeki ağırlık değişimlerine baktığımızda asit ortamında beklettiğimiz numunelerin bazılarında hem 120. günde hem de 150. günde ağırlık artışı meydana gelirken bazılarında ise 120. güne kadar ağırlık artışı 150. Günde ise ağırlıklarda azalma meydana gelmiştir. Alkali aktive edilmiş betonlar numunelerde ağırlık artışı asit emiliminden dolayı meydana gelmektedir. Zamanla bazı numunelerde asit etkisi sonrası görülen ağırlık kaybı ise numune yüzeylerinde meydana gelen parça dökülmesinden kaynaklanmaktadır. Kontrol ortamındaki numunelerde ise zamanla su kaybından ve devam eden alkali aktivasyon reaksiyonlarından ötürü numune ağırlıklarında azalma görülmüştür. 120 günlük ve 150 günlük numuneleri karşılaştırdığımızda 150 günlük numunelerde daha çok ağırlık artışı meydana geldiğini görüyoruz. Yani numune ne kadar uzun süre asit ortamında kaldıysa asit emilime de devam etmiştir ve numune ağırlığı artmıştır. Ayrıca 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 ve dökülmeden meydana gelmiştir.

4.3 Basınç Dayanımı

Şekil 4.5’de alkali aktive edilmiş betonların kontrol ortamında 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı miktarı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 47.33 MPa olurken; 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 49.11 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 54.30 MPa olurken; 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 58.61 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 57.97 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 56.48 MPa olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanım

sonucu 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda gözlenirken, en düşük basınç dayanım ise 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda görülmüştür.

S100-600-0.45 ve S100-600-0.55 numuneleri 28. günde diğer numunelere göre daha az basınç dayanımı göstermiştir. 400 kg/m³ ve 500 kg/m³ yüksek fırın cürufu bağlayıcı miktarlarına sahip betonların basınç dayanımı ise neredeyse birbirine benzer basınç dayanımı değerleri göstermiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranları olarak 0.45 ile 0.55 incelendiğinde ise alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımlarında 28.günde dikkate değer değişme olmadığı gözlemlenmiştir. Fazla bağlayıcı miktarına sahip betonların basınç dayanımlarının nispeten daha düşük veya benzer çıkmasının nedeni olarak, bağlayıcı miktarıyla beraber artan ilave su miktarı ve yavaş gelişen alkali aktivasyon reaksiyonları gösterilebilir.

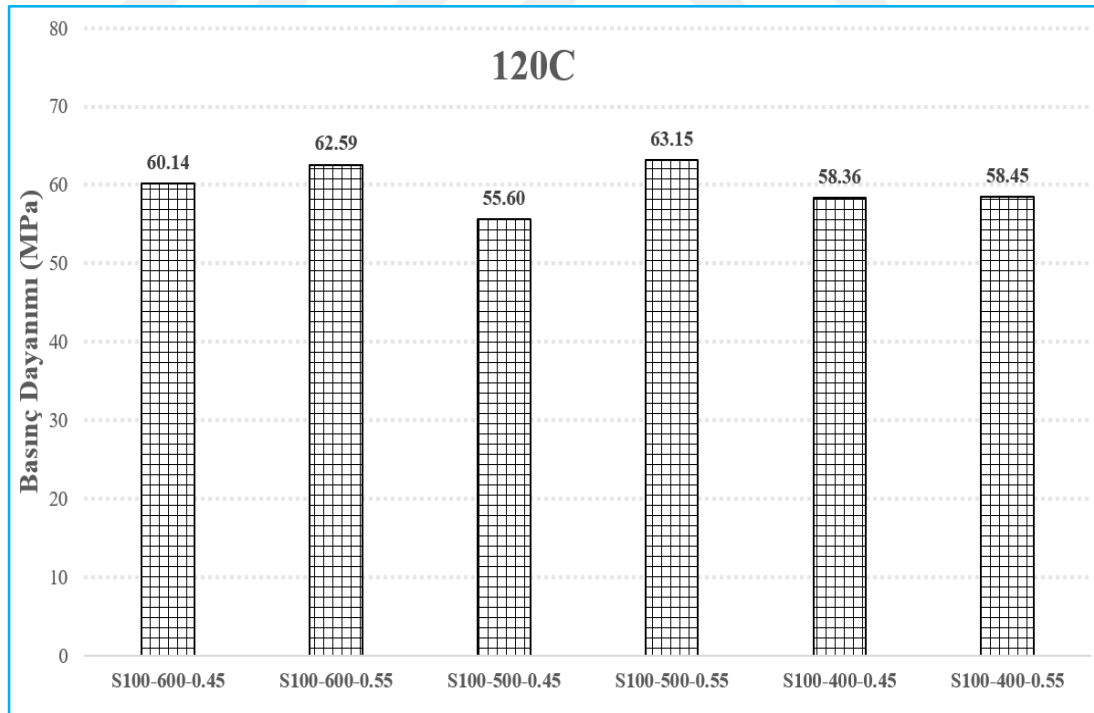


Şekil 4.5. Alkali Aktive Edilmiş Betonların Kontrol Ortamında 28 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.6'da %100 yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 120 günlük kontrol ortamındaki basınç dayanımları incelenmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 60.14 MPa olurken; 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 62.59 MPa olmuştur. 0.45

alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 55.60 MPa olurken; 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 63.15 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 58.36 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 58.45 MPa olmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanım sonucu 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda gözlenirken, en düşük basınç dayanımı ise 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda görülmüştür.

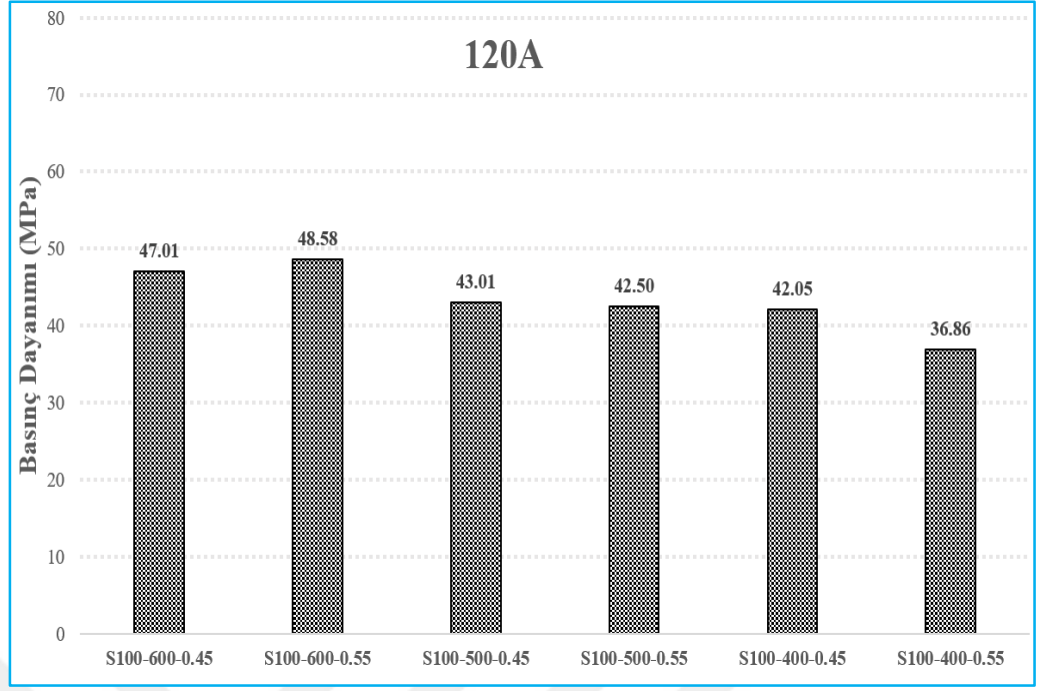
120. günde kontrol ortamında ortalama olarak en yüksek basınç dayanımı 600 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip numunelerde elde edilmiştir. Fakat basınç dayanımı farkı 500 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 bağlayıcıya sahip betonlara göre çok belirgin değildir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranları olarak 0.45 ile 0.55 incelendiğinde ise alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımlarında 120.günde de dikkate değer değişme olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. Alkali Aktive Edilmiş Betonların Kontrol Ortamında 120 Günlük Basınç Dayanımları

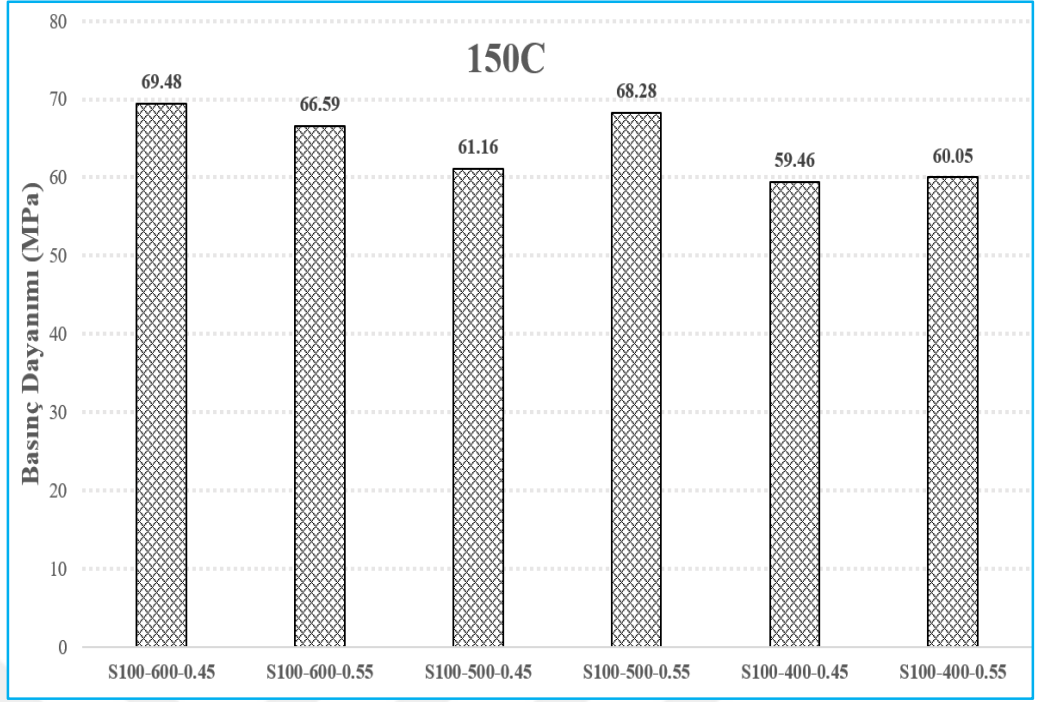
Şekil 4.7’de %100 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 120 günlük asit ortamındaki (28 gün laboratuvar kürü + 92 gün sülfürik asite maruz) basınç dayanımları incelenmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 47.01 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 48.58 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 43.01 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 42.50 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 42.05 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 36.86 MPa dayanım olmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanım sonucu 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda gözlenirken, en düşük basınç dayanımı ise 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda görülmüştür.

120. günde asit ortamında ortalama olarak en yüksek basınç dayanımı 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip numunelerde elde edilmiştir. Asit etkisine maruz kaldıktan sonra 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımından 5 MPa daha fazladır. 400 kg/m³ cüruf içeren betonların alkali solüsyon/bağlayıcı oranı 0.45 ile 500 kg/m³ cüruf içeren betonlarla neredeyse aynı dayanım değeri göstermiştir. Fakat alkali solüsyon/bağlayıcı oranı 0.55 olduğunda basınç dayanım değeri yaklaşık 5 MPa düşmektedir. Bu da bağlayıcı miktarı düşük olduğunda alkali solüsyon/bağlayıcı malzeme miktarının durabilite performansını önemli ölçüde etkilediği sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 4.7. Alkali Aktive Edilmiş Betonların Asit Ortamında 120 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.8’de %100 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların kontrol ortamında 150 günlük basınç dayanımları sonuçları incelenmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 69.48 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 66.59 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 61.16 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 68.28 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 59.46 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 60.05 MPa olmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı sonucu 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda gözlenirken, en düşük basınç dayanımı ise 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda görülmüştür.

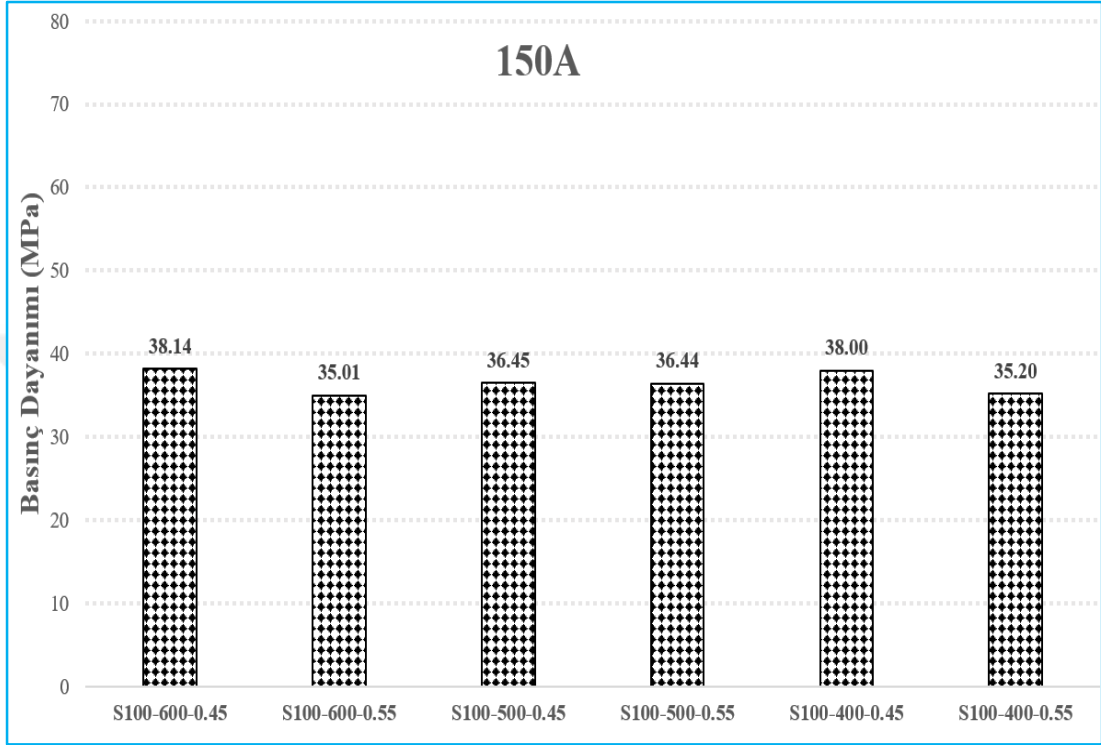


Şekil 4.8. Alkali Aktive Edilmiş Betonların Kontrol Ortamında 150 Günlük Basınç Dayanımları

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, beton basınç dayanımı sonuçlarının artan yüksek fırın cürufu miktarı ile beraber arttığı gözlemlenmektedir. 150.günde en düşük dayanım S100-400-0.45 numunelerinde (59.46 MPa), en yüksek dayanım ise S100-600-0.45 numunelerinde (69.48 MPa) elde edilmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranları olarak 0.45 ile 0.55 incelendiğinde numunelerin basınç dayanımlarında 150.günde de dikkate değer değişme olmadığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.9’da %100 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 150 günlük 5% sülfürik asit ortamındaki (28 gün laboratuvar kürü + 122 gün 5% sülfürik asite maruz) basınç dayanımları incelenmiştir. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 38.14 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 35.01 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 36.45 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 500 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 36.44 MPa olmuştur. 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 38.00 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı ve 400 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 35.20 MPa

dayanım olmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı sonucu 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcılı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda gözlenirken, en düşük basınç dayanımı sonucu ise 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcılı ve 600 kg/m³ cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda görülmüştür.

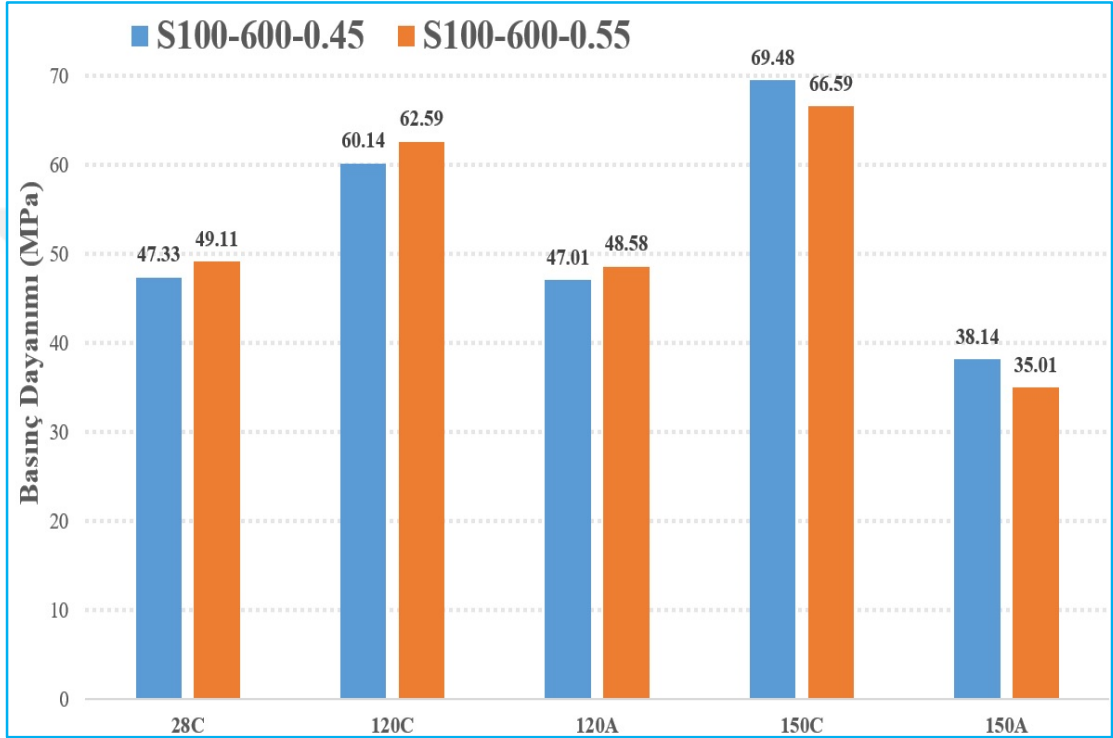


Şekil 4.9. Alkali Aktive Edilmiş Betonların Asit Ortamında 150 Günlük Basınç Dayanımları

150. günde asit ortamına maruz bırakılan alkali aktive edilmiş betonların hepsi neredeyse aynı basınç dayanımı değerine sahiptir. Burada bağlayıcı miktarının değişmesi ve alkali solüsyon/bağlayıcı miktarının değişimiyle basınç dayanımının değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

Şekil 4.10'da 600 kg/m³ yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 28. günde kontrol ortamında (28C), 120. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren ortamlarda (120C ve 120A) ve 150. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren ortamlardaki (150C ve 150A) basınç dayanım sonuçları gösterilmiştir. 28 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 47.33 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 49.11 MPa olmuştur.

120 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 60.14 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 62.59 MPa olmuştur. 120 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 47.01 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 48.58 MPa olmuştur.



Şekil 4.10. 600 kg/m³ Cüruf İçeren S100 Betonların Farklı Ortamlardaki Basınç Dayanımı

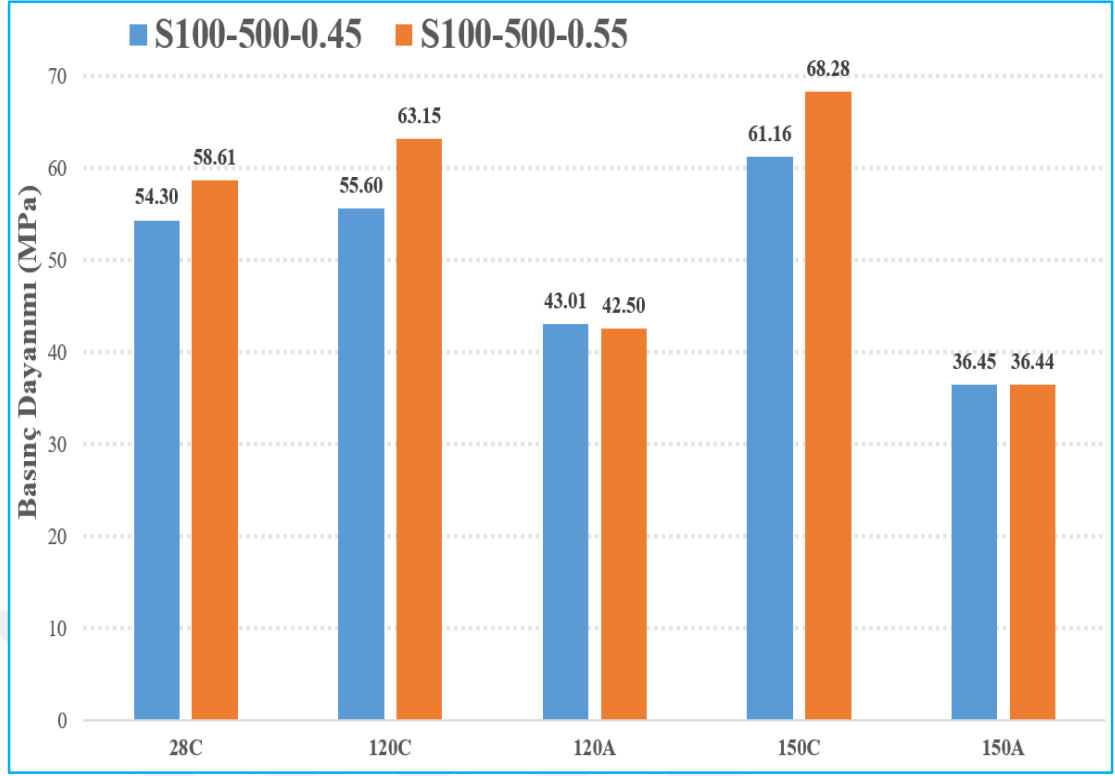
150 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 69.48 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 66.59 MPa olmuştur. 150 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 38.14 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 35.01 MPa olmuştur.

Şekil 4.11’de 500 kg/m³ yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 28. günde kontrol ortamında (28C), 120. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren ortamlarda (120C ve 120A) ve 150. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren

ortamlardaki (150C ve 150A) basınç dayanım sonuçları gösterilmiştir. 28 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 54.30 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 58.61 MPa olmuştur.

120 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 55.60 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 63.15 MPa olmuştur. 120 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 43.01 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 42.50 MPa olmuştur.

150 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 61.16 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 68.28 MPa olmuştur. 150 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 36.45 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 36.44 MPa olmuştur.

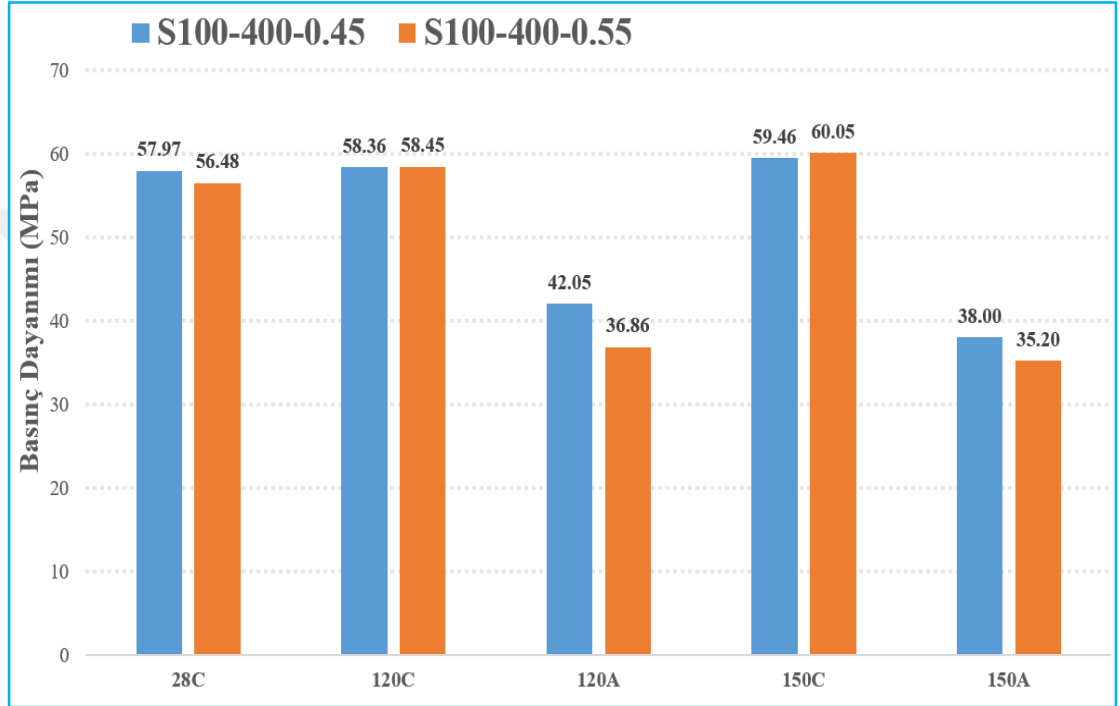


Şekil 4.11. 500 kg/m³ S100 Alkali Aktive Edilmiş Betonların Farklı Ortamlarda Basınç Dayanımı

Şekil 4.12’de 400 kg/m³ yüksek fırın cürufu içeren alkali aktive edilmiş betonların 28. günde kontrol ortamında (28C), 120. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren ortamlarda (120C ve 120A) ve 150. günde kontrol ve 5% sülfürik asit içeren ortamlardaki (150C ve 150A) basınç dayanım sonuçları gösterilmiştir. 28 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 57.97 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 56.48 MPa olmuştur.

120 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 58.36 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 58.45 MPa olmuştur. 120 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 42.05 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 36.86 MPa olmuştur.

150 gün kontrol ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 59.46 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 60.05 MPa olmuştur. 150 gün asit ortamında bekletilen numunelerden 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda basınç dayanımı 38.00 MPa olurken, 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonlarda ise basınç dayanımı 35.20 MPa olmuştur.



Şekil 4.12. 400 kg/m³ S100 Alkali Aktive Edilmiş Betonların Farklı Ortamlarda Basınç Dayanımı

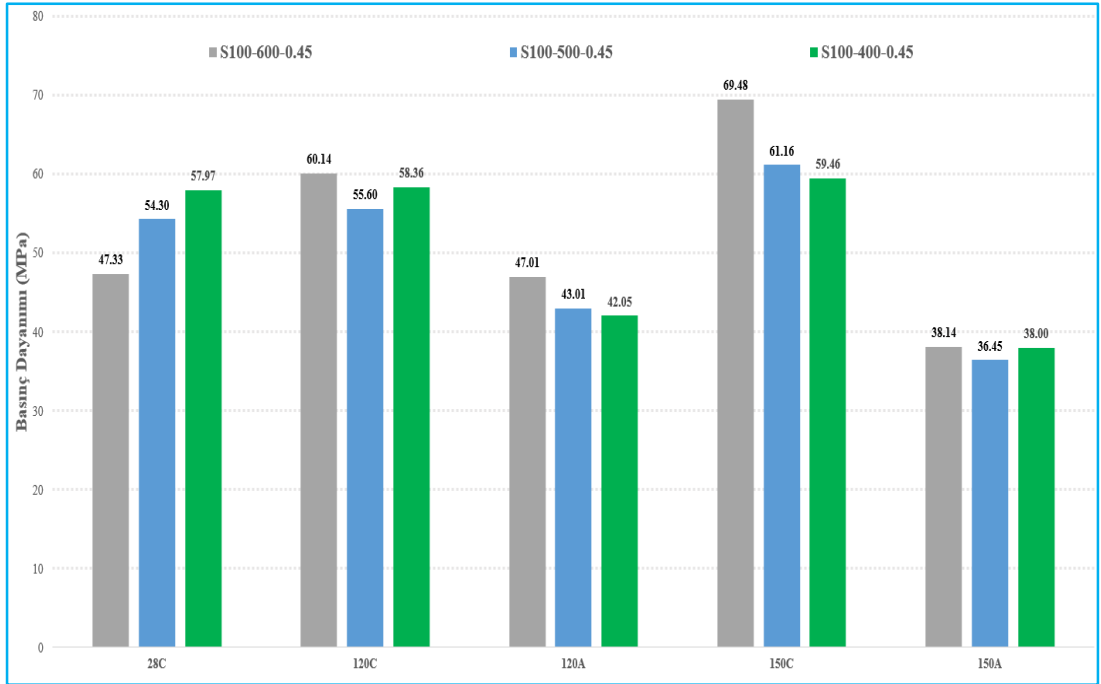
Şekil 4.13'te 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcı oranına sahip %100 yüksek fırın cürufu içeren S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımları gösterilmiştir. 28. günde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 47.33 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 54.30 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 57.97 MPa elde edilmiştir.

120. günde kontrol ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 60.14 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 55.60 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 58.36 MPa elde edilmiştir. 120 günlük asit ortamındaki numunelerde 600

kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 47.01 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 43.01 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 42.05 MPa elde edilmiştir.

150. günde kontrol ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 69.48 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 61.16 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 59.46 MPa elde edilmiştir. 150. günde asit ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 38.14 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 36.45 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 38.00 MPa elde edilmiştir.

0.45 alkali solüsyon/bağlayıcılı alkali aktive edilmiş betonların içerisinde en yüksek basınç dayanıma 150 günlük kontrol ortamındaki 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonlarda olurken, en düşük basınç dayanımına 150 günlük sülfürik asit ortamındaki 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonda olmuştur.



Şekil 4.13. 0.45 Alkali Solüsyon/Bağlayıcılı Alkali Aktive Edilmiş Betonların Basınç Dayanımı

Şekil 4.14’de 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı oranına sahip %100 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımları gösterilmiştir. 28 günlük numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 49.11 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 58.61 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 56.48 MPa elde edilmiştir.

120 günlük kontrol ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 62.59 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 63.15 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 58.45 MPa elde edilmiştir. 120 günlük 5% sülfürik asit ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 48.58 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 42.50 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 36.86 MPa elde edilmiştir.

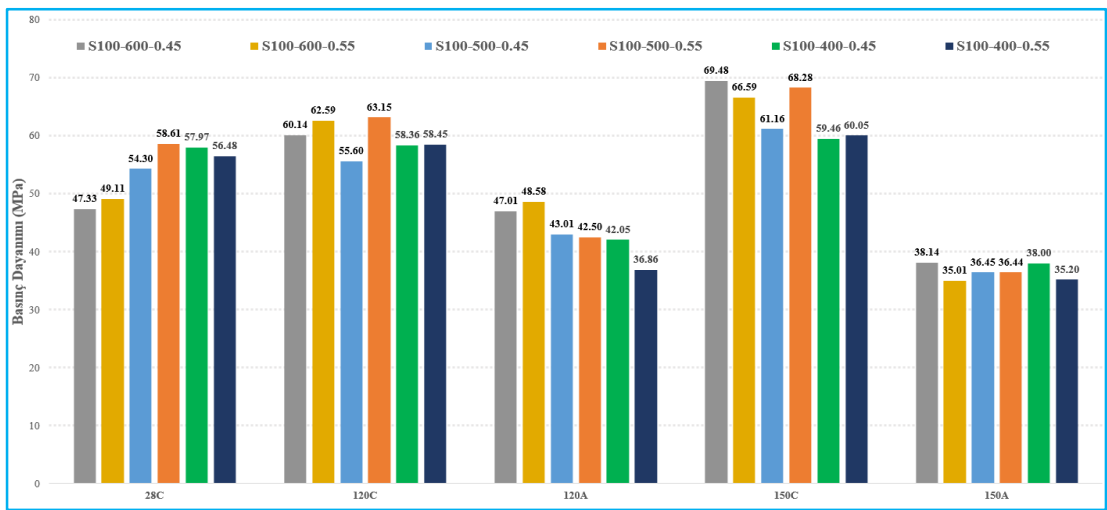
150 günlük kontrol ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 66.59 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 68.28 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 60.05 MPa elde edilmiştir. 150 günlük 5% sülfürik asit ortamındaki numunelerde 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 35.01 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı 36.44 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımı ise 35.20 MPa elde edilmiştir.

0.55 alkali solüsyon/bağlayıcı alkali aktive edilmiş betonların içerisinde en yüksek basınç dayanıma 150 günlük kontrol ortamındaki 500 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonlarda elde edilirken, en düşük basınç dayanımı ise 150 günlük asit ortamındaki 600 kg/m³ bağlayıcı miktarına sahip S100 alkali aktive edilmiş betonda elde edilmiştir.



Şekil 4.14. 0.55 Alkali Solüsyon/Bağlayıcılı Alkali Aktive Edilmiş Betonların Basınç Dayanımı

Şekil 4.15'te tüm alkali aktive edilmiş betonların farklı ortamlarda basınç dayanımı gösterilmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi en yüksek basınç dayanımı 150 gün kontrol ortamında bekletilen 0.45 alkali solüsyon/bağlayıcılı ve 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda 69.48 MPa elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise 150 gün asit ortamında bekletilen 0.55 alkali solüsyon/bağlayıcılı ve 600 kg/m^3 cüruf içeren alkali aktive edilmiş betonlarda 35.01 MPa elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Tüm Alkali Aktive Edilmiş Betonların Farklı Ortamlarda Basınç Dayanımı

SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışması kapsamında 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu miktarlarına, ve 0.45 ile 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranlarına sahip alkali aktive edilmiş betonların hem kontrol ortamında hem de %5 sülfürik asit etkisinde dayanım ve durabilite performansları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- 150. güne kadar laboratuvar ortamında kürlenerek yüklenen yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımlarının 0.45 ve 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranları ile değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

- Yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonların basınç dayanımları zamana bağlı olarak artmıştır. Zamanla basınç dayanımındaki artış en fazla 600 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip betonlarda, en az artış ise 400 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip betonlarda gerçekleşmiştir.

- 28. günde en az ve 150. günde en fazla basınç dayanımı 600 kg/m^3 alkali aktive edilmiş betonlarda elde edilmiştir. 150. gün basınç dayanımları sonuçlarına göre, bağlayıcı (yüksek fırın cürufu) miktarı arttıkça alkali aktive betonların basınç dayanımları da artmıştır.

- 120. günde asit ortamına bırakılan numunelerde 600 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip betonlar 500 kg/m^3 ve 400 kg/m^3 bağlayıcı miktarına sahip betonlardan yaklaşık 5 MPa daha fazla dayanım değeri göstermiştir. 400 kg/m^3 cüruf içeren numunelerin alkali solüsyon/bağlayıcı oranı 0.55 olduğunda dayanım değeri minimum olmaktadır. 500 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 bağlayıcı miktarı olduğunda ise dayanım değerleri alkali solüsyon/bağlayıcı ile değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

- 150. günde asit ortamına maruz bırakılan alkali aktive edilmiş betonların hepsi neredeyse aynı basınç dayanımı değerine sahiptir. Burada bağlayıcı miktarının değişmesi ve alkali solüsyon/bağlayıcı miktarının değişimiyle basınç dayanımının değişmediği sonucuna ulaşılmıştır.

- Yüksek fırın cürufu alkali aktive edilmiş betonlar taşıyıcı yapı elamanlarında geleneksel Portland çimentolu betonların yerine kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- ACI 233.R-95, Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete Reported by ACI Committe 233,American Concrete Institude, Detroit, Michigan.
- ACI Committee (1987).Use of Fly Ash in Concrete, ACI Materials Journal, 84, 381-409.
- Alnkaa, A.A.(2019).Farklı kür koşullarının geopolimer harç özelliklerine etkisi (Doctoral dissertation, Kastamonu Üniversitesi).
- Altundal, M.B.(2019). Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı geopolimer betonların %5 sülfürik asit etkisinde mekanik davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi.
- Anuar, K.,Ridzuan, A., ve Ismail, S.(2011).Strength characteristics of geopolymer concrete containing recycled concrete aggregate,” International Journal of Civil & Environmental Engineering.
- Ayabakan, A. H., ve Makale, B.B.D.(2019).TC Kocaeli Üniversitesi.
- Bakharev, T.(2006).,Geopolymeric materials prepared usin F fly ash and elevated temperature curing,Cem and Conc. Research, 36,1134-1147.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu, K. T., Aydan, S., Yardımcı, M. Y., Topal, A., ve Öztürk, A. U.(2012).*Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları,61-124.
- Binici, H.(2007).Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties. Construction and Building Materials,21,1191-1197.
- Bocullo, V.,Vaičiukynienė, D.,Vaitkevičius, V., ve Kantautas, A.(2017). The Influence of the Silica/Sodium Ratio on the Fly Ash Geopolymer Binder. Chemical Technology, 68(1), 23-28.
- Boyacı, Ö.(2018). *Farklı kaolenlerin metakaolen ve spinel yapılarında geopolimer davranışı* (Master's thesis, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Brough, A.R., ve Atkinson, A.(2002). Sodium Silicate-Based, Alkali-Activated Slag Mortars Part I. Strength, Hydration and Microstructure. Cement and Concrete Research,32,865–879.
- Celik, K., Meral, C., Mancio, M., Mehta, P.K., ve Monteiro, P.J.M.(2014). A comparative study of self-consolidating concretes incorporating high-volume natural pozzolan or high-volume fly ash. Construction and Building Materials, 67, 14–19

- Çelikten, S., Sarıdemir, M., ve Deneme, İÖ.(2019).Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag+ fly ash mortars exposed to high temperature.Construction and Building Materials, 217, 50-61.
- Erdem, R.T., ve Öztürk, A. U. (2012). *Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı DonmaÇözünme Özellikleri Üzerine Etkisi. Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 85-91.
- Erdoğan, Y.T.(2003). Beton, Metu Pres, Ankara, 478-512.
- Erdoğan, Ş., ve Kurbetçi, Ş.(2003).Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426,115-120.
- Gao, X., Yu, Q., ve Brouwers, H.(2016). Assessing the porosity and shrinkage of alkali activated slag-fly ash composites designed applying a packing model. Construction and Building Materials,119,175-184.
- Güzelkçük, S., ve Demir, İ.(2019).*Perlit Esaslı Geopolimer Kompozitlere Kür Süresi Ve Sıcaklığın Etkisi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2),730-737.
- Hardjito, D.,Wallah, S.E., Sumajouw, D.M.J., ve Rangan, B.V. (2005). On Development of Fly Ash- Based Geopolymer Concrete, ACIMaterials Journal,101.
- Hodson, V.(1990). Concrete Admixtures, New York.
- Kcfeliogiu, S.(1998).Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları" Teknoloji.
- Li Z., Ding, Z., ve Zhang, Y.(2004).Development of sustainable cementitious materials, International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology Conference Proceedings, 56.
- Luga, E., ve Atis, C. D.(2016).Strength Properties of Slag/Fly Ash Blends Activated with Sodium Metasilicate and Sodium Hydroxide+ Silica Fume,Periodica Polytechnica. Civil Engineering, 2, 223.
- Ma, Y., ve Ye, G.(2015).The shrinkage of alkali activated fly ash. Cement and Concrete Research,68, 75-82.
- Malolepszy, J.(1986).*Activation of synthetic melitite slags by alkalis*, 4, 104-107.
- Morrison, R.E.(1970).A Review of Ash Specifications Symposium on Fly Ash Utilization, 24-31.
- Nergiz, V.(2007).Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite ve İşlenebilirlik,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Niş, A. (2019). Mineral katkılı betonların kimyasal durabilitesinin toplam bağlayıcı miktarı ve eşdeğer su/çimento parametreleriyle beraber incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21, 459-473.
- Öner, M.(2001).Yüksek Fırın Cüruflarının Çimento Üretiminde Kullanımında Öğütmeye İlgili Parametrelerin Etkilerinin Belirlenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, Ankara, 23,61–69.
- Öztekın, E., ve Cimilli, T.(1987).History and Use of Blended Cements in Turkey, *Cement, Concrete and Aggregates*,9, 44-48.
- Patankar, S. V., Ghugal, Y. M., ve Jamkar, S. S.(2014). Effect of Concentration of Sodium Hydroxide and Degree of Heat Curing on Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Indian Journal of Materials Scienc.*
- Proctor, D.M., ve Et, A.(2000). Physical and Chemical Characteristics of Blast Furnace Basic Oxygen Furnace and Electric Arc Furnace Steel Industry Slags, *Environment Science and Technology*, 34 (8),1576-1582.
- Rangan, B.V.(2008).Fly Ash-Based Geopolymer Concrete,4,44.
- Revathi, V., Saravanakumar, R., ve Thaarrini, J. (2014). Effect of molar ratio of SiO₂/Na₂O, Na₂SiO₃/NaOH ratio and curing mode on the compressive strength of ground bottom ash geopolymer mortar. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 7, 1511-1516.
- Temuuşin, J., Rickard, W., Lee, M., ve Van Riessen, A. (2011). Preparation and Thermal Properties of Fire Resistant Metakaolin-Based Geopolymer-Type Coatings. *Journal of Non-Crystalline Solids*,357 (5), 1399-1404.
- Topçu, İ. B., ve Canbaz, M.(2018). Alkali aktivite edilmiş yüksek fırın cürufllu harçlarda donma çözülme, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2, 1-16.
- Wagh, A.S. (2011). Phosphate Geopolymers. *Ceramic Engineering and Science. Proceedings*, 32 (10), 91-103
- Wardhono, A., Gunasekara, C., Law, D. W., ve Setunge, S. (2017). Comparison of Long Term Performance Between Alkali Activated Slag and Fly Ash Geopolymer Concretes. *Construction and Building Materials*, 143, 272-279.
- Xiem Nguyen, T. (2016). Influence of Curing and Water to the Mechanical Properties of Geopolymer Mortar. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181*
- Yadollahi, M. M., Varol, S., ve İşsever, F. (2017). Na₂O, silika modülü, su/bağlayıcı oranı ve yaşlanmanın cüruf tabanlı geopolimerlerin basınç mukavemetinde olan etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(2), 26-31.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARADAĞ, Selin

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri :

Telefon :

Faks :

e-mail :

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ	
Lisans	AKSARAY ÜNİVERSİTESİ	2014
Lise	ŞEHREMİNİ LİSESİ	2018

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
01/2015	İSTANBUL(NÜANS YAPI DENETİM)	YAPI DENETİM SAHA KONTROL MÜHENDİSİ
11/2015	İSTANBUL(KUZU TOPLU KONUT İNŞAAT A.Ş.)	KABA İŞLER BLOK SORUMLUSU
03/2017	İSTANBUL(KUZU TOPLU KONUT İNŞAAT A.Ş.)	MEDİCANA HASTANE İNŞAATI ZEMİN İYİŞTİRME İŞLERİ
02/2018	İSTANBUL(KUZU TOPLU KONUT İNŞAAT A.Ş.)	MEDİCANA HASTANE İNŞAATI KABA İŞLER BLOK SORUMLUSU

10/2019-
DEVAM

İSTANBUL(KUZU TOPLU KONUT
İNŞAAT A.Ş.)

JUMEİRAH OTEL
PODYUM
KATLAR İNCE
İŞLER BLOK
SORUMLUSU

Yabancı Dil : İngilizce(orta düzeyde)

