

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YÜKSEK ORANDA CÜRUF İÇEREN GEOPOLİMER
BETONLARIN % 5 SÜLFÜRİK ASİT ETKİSİNDE
MEKANİK VE DURABİLİTE PERFORMANSLARININ
ZAMANLA İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sebahattin OLCAY

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Anıl NIŞ

İstanbul – 2021

TEZ TANITIM FORMU

Yazar Adı Soyadı : Sebahattin OLCAY

Tezin Dili : Türkçe

Tezin Adı : Yüksek Oranda Cüruf İçeren Geopolimer Betonların % 5 Sülfürik Asit Etkisinde Mekanik ve Durabilite Performanslarının Zamanla İncelenmesi

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, F-tipi uçucu kül, Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu

Dizin Terimleri : Yaşadığımız çevreye yayılan karbondioksitin azalması ve yüksek enerji gereksinimi azaltılması hususunda geopolimer beton olarak adlandırılan çimentosuz betonun sürdürülebilir bir yapı malzemesi olması yapılarda kullanılması faydalı olacaktır.

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

İmzası

Sebahattin OLCAY

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

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YÜKSEK ORANDA CÜRUF İÇEREN GEOPOLİMER
BETONLARIN % 5 SÜLFÜRİK ASİT ETKİSİNDE
MEKANİK VE DURABİLİTE PERFORMANSLARININ
ZAMANLA İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sebahattin OLCAY

**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.

Sebahattin OLCA Y

.../.../2021



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Sebahattin OLCAY'ın “Yüksek Oranda Cüruf İçeren Geopolimer Betonların % 5 Sülfürik Asit Etkisinde Mekanik ve Durabilite Performanslarının Zamanla İncelenmesi” 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

Yapılan tez çalışması kapsamında sürdürülebilir yeni nesil geopolimer veya alkali aktive edilmiş beton olarak da isimlendirilen betonların dayanım ve durabilite performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda atık malzeme olan düşük kalsiyum içerikli F tipi uçucu kül ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun sırasıyla %25 ve %75 oranlarda kullanılmasıyla farklı alkali aktive edilmiş betonlar üretilmiştir. Tez kapsamında bağlayıcı miktarı 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 ve 600 kg/m^3 olmak üzere 3 bağlayıcı miktarı kullanılmıştır. Alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranları olarak ise 0.45 ile 0.55 oranları kullanılmıştır. Alkali aktivatör olarak sodyum silikat ile sodyum hidroksit 2.5/1 oranlarında kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin molaritesi ise 14 M seçilmiştir. Üretilen 6 farklı alkali aktive edilmiş betonların 28., 120., ve 150. günlere kadar hem laboratuvar hem de %5 sülfürik asit çözeltilerinden bekletilerek alkali aktive edilmiş betonların zamanla kimyasal durabilitesinin değişimi araştırılmıştır. Tez kapsamında %5 sülfürik asit sebebiyle numune yüzeylerinde meydana gelen değişim, numune ağırlıklarında meydana gelen değişim ve basınç dayanımlarının değişimi detaylı olarak incelenmiştir. Bu tez çalışması, Portland çimentolu betonların yaşadığımız çevreye olan olumsuz etkisini azaltmak, enerji gereksinimini azaltmak ve atık malzemelerin yeniden beton üretiminde değerlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir. Sonuç olarak, üretilen bu yeni nesil alkali aktive edilmiş betonların yüksek mekanik dayanım ve iyi sülfürik asit durabilitesi gösterdiği için günümüz yapılarında kullanılması mümkündür. Alkali aktive edilmiş betonların yapılarda kullanımının standartlaşması ve gerekli yönetmeliklerin çıkması amacıyla bu yeni nesil betonlar üzerinde yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Geopolimer beton, F-tipi uçucu kül, Öğütülmüş granüle yüksek Fırın Cürufu

SUMMARY

Within the scope of the thesis study, it is aimed to examine the strength and durability performance of concretes, which are also named as sustainable new generation geopolymer or alkali activated concrete. In this context, different alkali activated concretes were produced by using low calcium content F-type fly ash and ground granulated blast furnace slag at 25% and 75% respectively. Within the scope of the thesis, 3 binder amounts were used: 400 kg / m³, 500 kg / m³ and 600 kg / m³. The ratios of 0.45 to 0.55 were used as alkali activator / binder amount ratios. Sodium silicate and sodium hydroxide were used at the ratio of 2.5 / 1 as alkaline activator. The molarity of sodium hydroxide was chosen as 14 M. The change of chemical durability of the 6 different alkali activated concretes was investigated over time by waiting from both laboratory and 5% sulfuric acid solutions until the 28th, 120th and 150th days. Within the scope of the thesis, the change in the sample surfaces due to 5% sulfuric acid, the change in the sample weights and the change in the compressive strength were examined in detail. This thesis study is important in terms of reducing the negative impact of Portland cement concrete on the environment we live in, reducing energy requirement and utilizing waste materials in concrete production. As a result, it is possible to use these new generation alkali activated concretes in today's structures as they show high mechanical strength and good sulfuric acid durability. There is a need for new studies on these new generation concretes in order to standardize the use of alkali activated concretes in buildings and to adopt the necessary regulations.

Key Words : Geopolymer concrete, F-type fly ash, Ground granulated blast Furnace Slag

İÇİNDEKİLER

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

BİRİNCİ BÖLÜM

1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
----------------------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

GEOPOLİMER BETON

2.1 Agrega.....	9
2.2 Uçucu Kül	10
2.2.1 Betonda Uçucu Kül Kullanımı	11
2.3 Yüksek Fırın Cürufu	13
2.3.1 Betonda Yüksek Fırın Cürufu Kullanımı	13
2.4 Alkali Aktivatörler	14
2.5 Geopolimer Beton Özellikleri.....	15
2.6 Taze Beton Özellikleri	16
2.6.1 Birim Ağırlık.....	16
2.6.2 İşlenebilirlik ve kıvam.....	17
2.6.3 Hava miktarı	18
2.7 Geopolimer Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler.....	18
2.7.1 Alkali Aktivatörler	18
2.7.2 SiO ₂ / Na ₂ O oranı.....	19
2.7.3 Sıcaklık ve Kürlenme	19
2.8 Beton Durabilitesini Etkileyen Faktörler.....	20

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Kullanılan Malzemeler.....	22
3.1.1 Yüksek Fırın Cürufu	22
3.1.2 Uçucu Kül.....	23
3.1.3 Agregalar	25
3.1.4 Alkali Aktivatörler.....	26
3.1.5 Kimyasal Katkı	27
3.2 Deneysel Çalışma.....	27
3.2.1 Kalıplar	27
3.2.2 Alkali Aktivatörlerin Hazırlanması.....	28
3.2.3 Karışım Hazırlanması	29
3.2.4 Geopolimer beton yapılışı döküm yöntemleri	33
3.2.5 Kürleme	35
3.2.6 Sülfürik Asit Çözeltilsinin Hazırlanması.....	35
3.2.7 Ağırlık Değişimi	38
3.2.8 Basınç dayanım testleri.....	38

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Görsel İnceleme	38
4.2 Ağırlık Değişimi	41
4.3 Geopolimer Betonun Mekanik Ve Dayanıklılık Testi	45
4.3.1 Basınç Dayanımı.....	45
SONUÇLAR.....	57
KAYNAKÇA.....	59
ÖZGEÇMİŞ	63

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

Si	:	Silisyum
H2SO4	:	Sülfürük asit
g/cm3	:	gram/santimetreküp
kg/m3	:	kilogram/metreküp
kg	:	kilogram
OPC	:	Normal Portland Çimento
AAEB	:	Alkali Aktive Edilmiş Beton
S75FA25	:	%75 Ögütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ,%25 F-tibi uçucu kül



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 Deneyde kullanılan yüksek fırın cürufu özellikleri	22
Çizelge 3.2 Deneyde kullanılan uçucu kül özellikleri	24
Çizelge 3.3 Deneyde kullanılan agregaların özellikleri	25
Çizelge 3.4 kullanılan sodyum silikatın özellikleri.....	26
Çizelge 3.5 Kullanılan kimyasal katkıının özellikleri.....	26
Çizelge 3.6 S75FA25-400-0,45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler.....	28
Çizelge 3.7 S75FA25-400-0,55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler	28
Çizelge 3.8 S75FA25-500-0,45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler.....	30
Çizelge 3.9 S75FA25-500-0,55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler.....	30
Çizelge 3.10 S75FA25-600-0,45 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler.....	31
Çizelge 3.11 S75FA25-600-0,55 Geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler.....	32

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 F-tipi uçucu kül malzemesi.....	11
Şekil 2.2 Öğütülmüş yüksek fırın cürufu malzemesi.....	13
Şekil 3.1 Kullanılan yüksek fırın cürufu.....	22
Şekil 3.2 Kullanılan uçucu kül.....	24
Şekil 3.3 Kullanılan iri agrega	25
Şekil 3.4 Kullanılan kalıplar	27
Şekil 3.5 Alkali aktivatörlerin hazırlanması	28
Şekil 3.6 Beton üretim aşamaları	33
Şekil 3.7 Numunelerin %5 sülfürik asit çözeltisinde bekletilmesi	34
Şekil 3.8 Sülfürik asite maruz bırakılan numunelerin tartılması	35
Şekil 3.9 Basınç dayanım testleri.....	36
Şekil 4.1 120. Ve 150. Günlerde sülfürik asitte bırakılan AAEB numunelerin ağırlık değişimi.....	40
Şekil 4.2 600 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin ağırlık değişimi	42
Şekil 4.3 500 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin ağırlık değişimi	43
Şekil 4.4 400 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin ağırlık değişimi	44
Şekil 4.5 S75FA25 AAEB numunelerin laboratuvar ortamında 28.gün basınç mukavemetleri.....	45
Şekil 4.6 S75FA25 AAEB numunelerin laboratuvar ortamında 120.gün basınç mukavemetleri.....	46
Şekil 4.7 S75FA25 AAEB numunelerin sülfürik asit ortamında 120.gün basınç mukavemetleri.....	47
Şekil 4.8 S75FA25 AAEB numunelerin laboratuvar ortamında 150.gün basınç mukavemetleri.....	48
Şekil 4.9 S75FA25 AAEB numunelerin sülfürik asit ortamında 150.gün basınç mukavemetleri.....	49
Şekil 4.10 600 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin basınç mukavemetleri.....	51

Şekil 4.11 500 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin basınç mukavemetleri.....	52
Şekil 4.12 400 kg/m ³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerin basınç mukavemetleri.....	53
Şekil 4.13 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcılı AAEB numunelerin mukavemetleri	54
Şekil 4.14 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcılı AAEB numunelerin mukavemetleri	56
Şekil 4.15 Tüm AAEB numunelerin basınç mukavemetleri	56



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 NİŞ**'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca yardımını hiç esirgemeyen değerli arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

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



GİRİŞ

Beton üretiminde kullanılan çimento üretimi esnasında çevreye fazlaca CO₂ salınımı yapar. Bu serbest bırakılan CO₂ çevre, çimento üreticileri ve insanlar için sorundur. Portland çimento üretimi esnasında açığa çıkan CO₂ miktarı geopolimer beton üretiminden %80 daha fazladır. Dolayısıyla çimento yerine alternatif betonların (geopolimer) üretimi gerekmektedir.

Yapı malzemelerinde aranmakta olan özellikler iyi mukavemet ve dayanıklılıktır. Portland çimentosu, iyi bir dayanıma sahip olmasına rağmen, şu ana kadar yapılan çalışmalarda, asit veya sülfat saldırısı gibi yüksek sıcaklık ve şiddetli çevresel koşullara karşı zayıf performans sergilediğini göstermektedir. Portland çimentosunun çevresel ve sürdürülebilirlik sorunları nedeniyle Geopolimer betonun ilerleyen günlerde daha fazla kullanılacağı açıktır. Bu sebeple geopolimer betonların yapıların inşaatında kullanılması için gerekli standartların oluşması için amacıyla bu çalışma yapılmaktadır.

Beton üretiminde Portland çimentosu yerine çevre dostu Geopolimer betonun geçmesi düşünülmektedir. Geopolimer betonun önemli çevresel üstünlüğünden dolayı Portland çimentosundan daha fazla kullanılacağı düşünülmektedir. Yapılan çalışmamızda Portland çimentosu yerine kullanılacak %75 oranında yüksek fırını içeren Geopolimer betonların %5 sülfürik asit çözeltisinde kimyasal durabilite performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tez daha çevreci bir beton olan Geopolimer betonların standartlaşarak yapıda kullanılması için önem arz etmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

Günümüzde yapılarda kullanılan en çok yapı malzemelerinin başında geleneksel Portland çimentosu gelmektedir. Çelik malzemesinin fiyatının yüksek olması ve korozyon ve yangına karşı dayanıksız olması nedeniyle ülkemizde çelik yapı kullanımı yaygınlaşmamaktadır. Ahşap malzemesi ise esnek olmasından ötürü deprem bölgelerinde kullanılabilir en iyi malzemelerden biri olmasına rağmen, yangına karşı dayanıksız olması ve üç kattan fazla inşaat edilememesi ve böcek problemlerinin olmasından ötürü tercih edilememektedir. Bu sebeplerden dolayı ülkemizde betonarme yapıların kullanımını yaygınlaşmaktadır.

Agregalar, bağlayıcı malzeme olarak çimento, katkı, su ile üretilen en temel yapı malzemesi beton olarak adlandırılır. Beton üretimi için kullanılan agrega çeşitleri; çakıl, kum ve kırmataştır. Agregalar sınıflandırma bakımından ince veya iri agrega olarak sınıflandırılmaktadır. Türk Standartlarına göre eleme sonucunda 4,0 mm delik çapındaki elekten geçemeyenler iri agregalar, geçebilen ve eleğin altında biriken agregalar ise ince agrega olarak adlandırılır. Çimento ise, bağlayıcılık özelliği gösteren ve beton dayanımını kazandıran malzeme olarak bilinmektedir. Fakat çimento tek başına bağlayıcı özelliği olmayan, çimentonun gerekli bağlayıcılığı kazanması için su ile karıştırılıp reaksiyona girmesi gerekmektedir. Bu elde edilen karışım ile de çimento hamuru elde edilir. Elde edilen çimento hamurunun görevi agregalar arası boşlukları doldurmak ve agregaların yüzey alanlarını kaplayarak betonu mümkün mertebe boşluksuz olacak şekilde bir bütün olarak davranmasını sağlamaktır. Çimento hamuru belli bir zaman içerisinde sertleşir. Bu sebeple beton dökümlerinin ilk anlarında betonun taşınabilir, işlenebilir ve şekil verilebilecek kıvamda olması çok önemlidir. Beton geçmiş yıllardan günümüze küçük veya büyük pek çok yapının en önemli ve en temel yapı malzemelerindedir. Kimya mühendisleri, inşaat mühendisleri, bilim insanları vb. pek çok meslek grubu betondaki mevcut sorunları ve betonu tanımada daha ileri adımlar atmak amacıyla çalışmalarına devam etmektedir. Beton;

- Rahat şekilde yerleştirilebilirliği,
- Çelik donatılar ile iyi bir aderansa sahip olması,
- Estetik amaçlara ve görselliğe hizmet edebilirliği,
- Şekil verilebilirliği,
- Sertleşmiş durumda iken yüksek basınç dayanımların elde edilebilirliği,

- Fabrikalarda üretimi yapılabildiği yerinde montajının yapılabilirliği,
 - Ekonomik olması
- ve benzeri gibi avantajlara sahip olmasının yanında;
- Sabit yükleme uygulandığında zamanla kalıcı şekil değiştirmeler göstermesi,
 - Ağırlığın fazla olmasından ötürü yapıya daha fazla deprem yüklerine maruz kalmasına,
 - Zaman zaman hacim değişikliği göstermesi,
 - Su ve kimyasal etki geçirimsizliğine karşı tam olarak beklentiyi karşılayamaması,

- Beton sertleşmiş durumdayken gevrek bir malzeme olması
- Taze ve sertleşmiş halde çatlakların meydana gelmesine
- Çekme dayanımının düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir.(Erdoğan,2013).

Güneş, dalga, rüzgâr, akarsu, jeotermal ve biokütle vb. gibi kendini yenilemekte olan enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarı her geçen gün daha da artmaktadır. Ancak bu enerji her ne kadar artsa da enerji üretim kaynaklarından fosil yakıtlarının kullanım alanı yaklaşık olarak 100 yıl daha devam edeceği öngörülmektedir. Her geçen gün gelişen teknolojiyle beraber, baca gazlarının arıtılma yöntemleri de gelişmekte ve fosil yakıtların kullanılması çevreye çok daha duyarlı olmaktadır. Bu atıkların en önemlilerinden uçucu küllerin yeniden kazandırılması yönündeki çalışmalar ülkemizde yalnızca hazır beton üretim tesislerinde kullanılmaktadır.(Soner vd.) Uçucu küller atık malzeme olduklarından dolayı kullanılmadıkları takdirde bir yerlere gömülmesi veya bir yerlerde depolanması gerekir. Ülkemizde termik santral bacalarından çıkan uçucu kül atık malzemesinin rastgele bir alanlara atıldığı belirtilmektedir. Bu da yaşadığımız çevre açısından çok risklidir. Ayrıca uçucu kül malzemesinin nakliyesinin de bir maliyeti vardır. Uçucu küllerin bu sebeplerden ötürü atılması yerine betonların veya çimentoların üretiminde kullanılması çok büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde yapıların inşasında kullanılan geleneksel Portland çimentosu üretimi enerji tüketimi açısından en büyük paya sahiptir. Dünyada yaklaşık olarak 4,6 milyar ton kapasiteli üretime ulaşmıştır.(Bhagath ve Subramaniam, 2019) Çimento üretimi esnasında toplam maliyetin en yüksek payını, enerji maliyeti (%20- %40) oluşturur.(Bhagath ve Subramaniam,2019)(Wang vd., 2019). Dolayısıyla Portland çimentosunun yerine daha sürdürülebilir bağlayıcı malzemelerin kullanımına ihtiyaç

vardır. Ögütülmüş yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi atık malzemelerin sürdürülebilir bağlayıcı malzemeler olduğu açıktır. Bu sebeple günümüzde çimento sektörü %100 Portland çimentosu yerine katkılı çimentoların kullanmaktadır. Yüksek fırın cürufu katkısı Portland çimentoların üretiminde % 50 oranlarına kadar çimento yerine ikame edilebilmektedir. Çimento yerine uçucu kül kullanımı ise %40 oranlarına kadar çıkmaktadır. Bu malzemelerin kullanımı hem enerji tüketimini azaltması açısından hem de atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Son zamanlarda bu atık malzemelerin betonda tamamen kullanılması gündemdedir. Geopolimer veya alkali aktive edilmiş betonlar çimentosuz beton olarak adlandırılmaktadır. 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. Sodyum silikat, potasyum silikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi alkali aktivatörler kullanılmaktadır. Günümüzde geopolimer veya alkali aktive edilmiş betonlar ile yapılan çalışmalar devam etmektedir. Genelde geopolimer betonlar ve alkali aktivatör betonlar farklıdır ama ülkemizde benzer isimlendirilmektedir. Geopolimer betonlar tamamen F-tipi uçucu kül kullanılarak üretilen betonlara denilmekteyken, alkali aktive edilmiş betonlar ise ya tamamen ya da kısmen yüksek fırın cürufu içeren betonlara denilmektedir. Şu an karışıklık olmaması adına çalışmamızda çimento olmayan betonları geopolimer beton olarak isimlendireceğiz.

Geopolimerler yüksek yoğunluğa sahip alkali hidroksit veya katı alüminosilikat (silikat solüsyonlu) kaynaklarının reaksiyonu olan 3 boyutlu inorganik polimer olarak adlandırılabilirler. Yüksek fırın cürufu, kaolinit ve uçucu kül gibi alüminosilikat kaynakları da geopolimerlerin sentezlenmesinde kullanılabilirler.(Ozer ve Soyer-Uzun, 2015)

Geopolimerin basınç dayanımları kullanılan bağlayıcı malzemenin tipine alkali aktivatörlerin tipine, oranına ve sodyum hidroksit molarite oranlarına, uygulanan kür yöntemlerine göre farklılıklar gösterir. Genellikle geopolimerizasyon, alkali aktivatör ile kaynak malzemelerin kür şartlarında gerçekleşmektedir.(Logesh Kumar ve Revathi, 2016).Geopolimerlerin çimentosuz üretilmesinden dolayı çevreye duyarlı bir bağlayıcı özelliğinin olması, bağlayıcı malzeme olmasının yanı sıra araştırmacıları

betonun üretiminde agrega olarak değerlendirmeye de teşvik etmiştir.(Embong vd., 2016)

Geopolimerler; hızlı priz alma, hızlı basınç dayanımı artışı, donma-çözülme olaylarına ve asit ve yangına karşı direnç seviyesinin yeterli derecede olması gibi pek çok faydalı özelliği mevcuttur.(Luukkonen vd.2016).Fakat bu sayılan özelliklerin tamamı, bağlayıcı malzemenin tipine, kimyasal içeriğine ve dozajına, alkali aktivatörlerin ise tipine, oranına, molaritesine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle uçucu kül malzemesi ile üretilen betonların bağlayıcı malzeme ve alkali aktivatörlerin yanı sıra uygulanan kür şartlarının da betonlar üzerine son derece önemli etkileri vardır. Bu kadar çok özelliğin belirli bir aralıkta benzer mekanik performans ve durabilite özellikleri göstermesi için yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Mekaniksel dayanım değerlerine kısa sürede ulaşmış olması sebebiyle inşaat uygulamalarında karşılaşılabilen olumsuzlukları en aza indirmeye potansiyeline sahip alkali ile aktive edilen harçlar üzerinde pek çok çalışmalar yapılmaktadır (İlkenntapar, 2013).Özellikle uçucu külle üretilen geopolimer betonların ısı kürü uygulanması sonrası dayanımlarının büyük bir kısmını 24 saat içerisinde kazandıkları birçok çalışma tarafından rapor edilmiştir. Bu betonlar özellikle prekast endüstri uygulamalarında rahatlıkla kullanım alanı bulabilmektedir.

Geopolimerin sertleşmiş haldeki davranışları üzerinde, dane dağılımı, sodyum silikat – sodyum hidroksit karışımı oranları, uçucu kül tipi ve mineralojik kompozisyonu etkilidir.(Bignozzi vd., 2014).Aktivatör/uçucu kül oranı ve su/geopolimer oranının hem işlenebilirlik hem de basınç dayanımı üzerinde direkt etkisinin olduğu belirtilir ve bunun yanında alkali/su oranı da geopolimer betonların dayanımda en önemli faktördür.(Junaid vd., 2015).Özellikle geopolimer betonlara eklenen su miktarı direk olarak sodyum hidroksit molaritesini değiştirebileceğinden basınç dayanımı ve durabilite özelliklerine etkisi vardır. Sodyum hidroksit molaritesinin artmasıyla beraber geopolimer betonların basınç dayanımı genelde artmaktadır ve eklenen su ilk önce taze haldeyken işlenebilirliği, sertleşmiş haldeyken ise basınç dayanımını etkiler.

Genelde alkali aktive edilmiş ve geopolimer malzemeler ile üretilen betonların mekanik ve durabilite konusundaki çalışmaları daha çok F-tipi uçucu kül ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ile üretilen betonlar hakkındadır. Geopolimer betonlarda

alkali aktivasyon olarak potasyum hidroksit ve silikat, sodyum hidroksit ve silikat alkali solüsyonları kullanılır. Uçucu küllerin mineralojik yapısında düşük kalsiyum oksit içermesinden ötürü uçucu küllerin geopolimerizasyon reaksiyonları yavaş gelişmektedir. Hızlı bir şekilde geopolimerizasyon reaksiyonlarının tamamlanması için ısı kürü gerekmektedir. Isı kürü uygulanmadan 28. günde yüksek basınç dayanımı sonuçları elde etmek için öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanımı gerekmektedir. Yüksek fırın cürufu yüksek miktarda kalsiyum oksit içermesinden ötürü normal şartlarda ısı kürüne ihtiyaç duymadan dayanım kazanmaktadır. Yüksek fırın cürufu ile uçucu külün beraber kullanılması durumunda ise cüruf kullanım oranı fazla olduğu takdirde cüruf ve uçucu küllü betonların ısı kürüne ihtiyacı kalmamaktadır. Yüksek fırın cüruf ile uçucu külün geopolimerizasyon reaksiyonları sırasında C-A-S-N-H ortaya çıkmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Son zamanlarda yapılarda en çok kullanılmakta olan malzemelerin başında beton yer almaktadır. Betonda yer alan malzemelerin ülkemizde mevcut ve ucuz olması betonun ülkemizde en yaygın kullanılan malzeme olmasının önemini ortaya koymaktadır. Çünkü diğer yapı malzemelerinin olumsuz özellikleri fazladır. Ahşap yapılar süper elastik bir malzeme olmasından ötürü deprem gibi tersinir yüklere karşı en dayanıklı yapı malzemesidir. Fakat ahşap yapıların böceklenme problemi ve yangına karşı elverişsiz olması, ülkemizde yatay yerine dikey yapılaşma, ahşap yapıların ülkemizde kullanımını engellemektedir. Diğer yapı malzemelerinden birisi de çeliktir. Çelik malzemesi ise basınç ve çekme mukavemetleri bakımından eşit olması, çeliği aranan yapı malzemesi yapmaktadır. Fakat çelikteki en önemli problemlerden birisi de korozyondur. Korozyona karşı çelik yapılar yaklaşık 6 yılda bir boyanmaktadır bu da çelik yapıların maliyetini önemli derece artırmaktadır. Diğer olumsuz özelliği ise yangına karşı dayanıksız olmasıdır. Ayrıca çelik malzemesinin fiyatının uluslararası siyasetten etkilenmesinden dolayı aşırı artması ülkede çelik yapıların kullanımını etkilemektedir. Beton ise ilk üretim fiyatının ucuz olması ve sonrasında da bakım fiyatı gerektirmemesi, yangına karşı dayanıklı olması, kimyasal etkilere karşı durabilitesinin iyi olmasından dolayı ülkemizde kullanımı çok yaygındır. Ayrıca ülkemizin deprem kuşağında yer almasından ötürü eski konutların yenileşmesi gerekmekte ve depremlere karşı yeteri kadar elasto-plastik davranış göstermesi gerekmektedir. Bu da iyi bir beton tasarımı ve çelik donatı aderansıyla mümkün

olabilir. İyi bir beton tasarımı Şu an Őlkemizde yapılmakta olup, bağlayıcı malzeme olarak gŐnümüzde geleneksel Portland ęimentosu kullanılmaktadır. Dayanım Özellikleri olarak istenilen performansı sağlamasına karŐın, Portland ęimentosunun Őretimi esnasında yŐksek enerji gereksinimi ve ęevreye fazla karbondioksit salmasından ŐtŐrŐ kullanımı ęevre açısından olumsuzdur. Őlkemizde ęevreye verilen zararı minimuma indirmek için ęimentosuz betonların kullanımı Önemlidir. GŐnümüzde alkali aktive edilmiş beton ve/ya geopolimer betonlar ęimentosuz olarak Őretilmesinden dolayı son zamanlarda araştırma konusu haline gelmiştir. Bu ęimentosuz betonlar hakkında gŐnümüzde hem dayanım hem de durabilite ęalıŐmaları geręekleŐtirilmektedir. Bağlayıcı malzemeler olarak ęimentosuz betonlarda ęoęunlukla ŐęŐtŐlmŐŐ granŐle yŐksek fırın cŐrufu ve uçucu kŐller kullanılmaktadır. Bu malzemelerin yŐksek dayanım ve iyi bir durabilite Özelliği göstermesi için su yerine potasyum hidroksit, potasyum silikat, sodyum silikat ve sodyum hidroksit gibi alkali solŐsyonlara ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca yŐksek fırın cŐrufu kullanılan malzemelerde ısı kŐrŐnŐ de ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple, ęimentosuz betonların yapılar da kullanımının yolunu ağmak için standartlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez kapsamında ęimentosuz betonların standartlaŐmasına yŐnelik bir adım atılmıŐ olacaktır.

Yapılan tez ęalıŐmasında %75 ŐęŐtŐlmŐŐ granŐle yŐksek fırın cŐrufu ile % 25 F-tipi uçucu kŐl kullanılarak ęimentosuz betonlar Őretilenecektir. Alkali solŐsyon olarak ise sodyum silikat ile sodyum hidroksit kullanılacak olup, sodyum hidroksit molaritesi olarak 14 M seęilmiŐtir. Elde edilen alkali solŐsyonun sodyum silikat/sodyum hidroksit oranı 2.5 olacaktır. YŐksek fırın cŐrufu ile uçucu kŐl kullanılarak Őretilen ęimentosuz betonların basınę dayanımının deęiŐimini farklı alkali aktivatör/ bağlayıcı miktarı oranları ile farklı bağlayıcı dozajları ile beraber incelenecektir. Ayrıca Őretilen değişik dozaja ve alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip ęimentosuz betonların % 5 sŐlfŐrik asit (en tehlikeli kimyasal ortamlardan birisi) etkisindeki durabilite performansı da araştırılacaktır. Bu amağla sŐlfŐrik asidin etkimesi sebebiyle beton numunelerde en dış yŐzeylerinin değişimi, numunelerin ağırlığında asit dolayısıyla ortaya ęıkan azalma, ve basınę mukavemetlerindeki değişim 28., 120., ve 150., gŐnlerde araŐtırılmıŐtir. ęimentosuz betonların kŐr işlemi laboratuvar koşullarında oda sıcaklığında geręekleŐtirilmiŐtir. Tez kapsamında bulunan bulgular, ęimentosuz betonların yapılar da kullanılabilmesi için Öncelikle geręekleŐmesi gereken

standartlaşma konusunda literatüre fayda sağlayacağı beklenmektedir. Yaşadığımız çevreye yayılan karbondioksitin azalması ve yüksek enerji gereksinimini azaltması hususunda, alkali aktive edilmiş veya geopolimer beton olarak adlandırılan çimentosuz betonların sürdürülebilir bir yapı malzemesi olması açısından yapılarda kullanılması ülkemiz için çok faydalı olacaktır.



İKİNCİ BÖLÜM

GEOPOLİMER BETONUN BİLEŞENLERİ

2.1 Agregalar

Beton; karışımında kaba ve ince agregalardan oluşan, parçacıkların aralarındaki boşlukları doldurup bunların tümünü birleştiren kompozit yapıda bir malzemedir. Kaba ve ince agregalar betonun iskeletini oluşturur. Genellikle beton hacminin % 60-75'ini kaba ve ince agregalar oluşturur(Yaragal vd.,2019) Ülkemizde agregaların mevcut olması ve fiyatının çimento malzemesine göre çok daha ucuz olmasından ötürü agregalar beton hacminin yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Genellikle üretilen betonların özelliğini kullanan malzemeler belirler. Betonda kullanılan agregaların türü ve kalitesi betonun hem basınç dayanımını hem de kimyasal durabilite performansını büyük oranda etkiler. Uygun agrega kullanmak iyi bir beton üretmek için oldukça önemlidir. Agregaların mineralojik ve kimyasal bileşimi, dayanımı, özgül ağırlığı, boşluk yapısı, rengi, kimyasal ve fiziksel kararlılıkları, petrografik yapısı ve sertliği vb. özellikleri elde edildikleri kayaçların özelliklerine bağlıdır. Fakat, uygulamalarda genellikle agregaların yüzey yapılarına, boyutlarına, su emmelerine ve dane şekillerine dikkat edilmektedir. Agregaların tüm bu özelliklerinin betonun sahip olduğu özelliklerde büyük etkisi vardır.(Şengül vd., 2002)

Betonun içerisindeki en fazla orana sahip olan agregaların (kırma taş, kum, çakıl) doğal kaynakları gün geçtikçe tükenmektedir. Artan nüfusa bağlı olarak günümüzde beton ihtiyacı sürekli arttığından dolayı agregaların kaynakları azalmaktadır. Özellikle İstanbul gibi anakent şehirlerde agrega ocaklarının kapanması agregaya olan gereksinimi her geçen gün artırmaktadır. Bu nedenle kaliteli, uygun ve temiz agrega örnekler bulunması güçleşmiş, sektördeki stratejik önemi ise gün geçtikçe değer kazanmıştır.(<http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/agrega>).

Beton üretiminde agregaların kullanım sebebi sadece üretimin ekonomik olması değildir. Agregalar betonun birçok teknik özelliğine büyük katkı sağlar (Mehta vd., 2006). Agregalar, elde edilme biçimlerine göre, genellikle kırma agregalar ve doğal akarsu yataklarından temin edilir .(Simşek, 2004)

Agregaların maliyetleri çimentoya kıyasla daha az olduğu için dolgu malzemesi olarak düşünülebilir. Ancak agregaların kullanılmasının nedeni sadece ekonomiklik değildir. Kullanılan agregaların gayet önemli teknik avantajları vardır. Beton, çevre

etkilerine daha dayanıklı hale gelir ve çimento hamuruyla kıyasla hacim sabitliğini çok daha iyi korur. Özellikle büzölmeye karşı agregaların varlığı son derece önemlidir. Ayrıca betonun pompalanabilirliği, işlenebilirliği ve içerisinde bulunan hava miktarı kullanılan agrega tarafından belirlenir.(Neville,1975)

Geopolimer betonlarda da geleneksel betonlarda olduğu gibi agregalar kullanılmaktadır. Geleneksel betonlara benzer şekilde kullanılan agregalar iri ve ince agrega olarak sınıflandırılmakta ve elek analizleri gerçekleştirilip su ihtiyacını artırmayan ve en uygun agrega karışım oranları belirlenerek geopolimer beton numunelerinde kullanılırlar.

2.2 Uçucu küll

Geopolimer betonlar çimentosuz beton olduklarından dolayı elde edilen betonların dayanım kazanabilmesi için bağlayıcı malzemelere ihtiyaç duyarlar. Bunlardan birisi de uçucu küllerdir. Uçucu küller termik santrallerin atık malzemeleridir. Dolayısıyla bu atık malzemeleri betonda kullanmak hem çevre açısından hem de enerji maliyetlerini düşürmek açısından büyük önem arz etmektedir. Genelde uçucu küller düşük kalsiyum içeriğine sahip F-tipi ve yüksek kalsiyum içeriğine sahip C-tipi olarak adlandırılırlar. Genellikle geopolimer betonlarda düşük kalsiyum içeriğine sahip F-tipi uçucu küller yoğun olarak kullanılmaktadır. Uçucu küllerin taze betonlardaki katkıları şu şekilde sıralanabilir;

- Betonlarda hidrasyon ısını düşürür ve bu sayede sıcak havalarda da betonların dökülebilmesine imkân sağlar.

- Küresel yapıya sahip olmalarından dolayı betonda işlenebilirliği oldukça iyileştirir.

- Betonların yavaş yavaş fakat uzun zamanda dayanım kazanmalarına katkı sağlar.

- Su tutucu özellikleri sayesinde betonda terlemeyi önlerler.

- İnce malzeme olmasından dolayı betonda bulunan agrega ve çimento hamuru arasında oluşan aderansı güçlendirir.

- Klorür ile su geçirimsizliğini azaltır.

- Betonu tüm kimyasal etkilere daha dayanıklı hale getirir.(Subaşı vd.,2011)

Uçucu küller kendi genel özellikleri kömür yakılma şekillerine ve yakılan kömürlerin özelliklerine bağlı biçimde değişkenlik gösterir. Genellikle silis ve

alüminli bileşimleri sayesinde puzolanik özellik gösterdiklerinden beton üretiminde katkı malzemeleri olarak faydalı olurlar. Küresel yani yuvarlak şekilde olmalarından dolayı ve oldukça ince dane yapıları sayesinde betonun işlenebilirliğini arttırlar (Türker vd., 2007) Bu özelliklerdeki artma miktarı ise uçucu kül kullanım oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Uçucu küller geopolimer betonlarda %100 oranlarında kullanılabilceği gibi, daha az oranlarda farklı bağlayıcı malzemelerle beraber de kullanılabilir. Uçucu kül kullanımının fazla olması hem işlenebilirliği artırır hem de betonda ayrışma ve kusmayı engeller. Dolayısıyla uçucu küller genelde kendiliğinden yerleşen beton tiplerinde oldukça fazla oranlarda kullanılırlar.

2.2.1 Betonda Uçucu Kül Kullanımı



Şekil 2.1 F-tipi uçucu kül malzemesi

Uçucu küller üzerinde yapılan çalışmalara, 1930 senesinde ABD'de yapılmış ve 1938 senesinde ilk kez Chicago'da yol yapımında çimentoya karıştırılmıştır. İkinci dünya savaşı sonrası, malzeme azlığından nedeniyle uçucu kül kullanımı hem ABD' de hem Avrupa'da oldukça yaygınlaşmıştır.(Postacıoğlu, 1986)

Türkiye'de uçucu kül kullanılarak yapılan yapılara ilk olarak 1967-1971 seneleri arasında yapılan Gökçekaya Barajı'nda ve 1966-1972 yılları arasında Porsuk barajı inşaatı yapımında kullanılmıştır. Çimento fabrikalarındaki ilk uçucu kül kullanımı, 1970 yılının başlarında Balıkesir ve Afyon'daki çimento üretim fabrikalarında Seyit Ömer ve Soma termik santrallerinden çıkan uçucu küllerin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir.(Orhun vd., 1970)

Topçu ve Canbaz 2001 senesinde betonda uçucu kül kullanılmasının betona olan etkilerini araştırmışlardır. Ulaştıkları sonuçlar doğrultusunda uçucu kül kullanımının betondaki basınç dayanımlarını düşürdüğü ve kullanılan miktarın artması ile de betondaki dayanım kazanma süresinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Yapılan maliyet analizleri sonucunda ise çimentonun yerine % 20 uçucu kül kullanıldığında betonun birim maliyetlerinde yaklaşık % 10'luk, % 40 uçucu kül kullanıldığında ise yaklaşık % 40'luk kadar ekonomik kazanç sağlandığı sonucuna ulaşmışlardır. Tüm bunların yanı sıra endüstriyel atık olarak oluşan uçucu küllerinde bu şekilde betonları üretiminde kullanılması ile de bu atıkların depolanma maliyeti de düşmüş olacaktır. (Topçu ve Canbaz, 2001) Ayrıca bu atık malzemeler betonlarda kullanılmazsa bu atık malzemelerden kurtulmak da hem ekonomik hem de çevre açısından sıkıntılara sebep olacaktır. Maalesef günümüzde atık malzemeler gelişigüzel yerlere atılmakta ve bu da çevre kirliliğine sebep olmaktadır.

Dünya'da ortaya çıkmakta olan uçucu külün miktarı bir senede 600 milyon ton kadardır. Türkiye'de 11 adet termik santral faaliyettedir. Bunlar; Yatağan, Soma, Çatalağzı, Kangal, Orhaneli, Afşin-Elbistan, Kemerköy, Yeniköy, Çayırhan, Seyit Ömer ve Tunç bilek santralleridir. Bu santrallerden bir yıl için yaklaşık 13 milyon ton kadar uçucu kül üretimi yapılmaktadır. Fakat doğalgaz santrallerinin faaliyete geçmesi ile seneden seneye bu miktar değişmektedir. (Türker vd., 2009). Bu üretilen miktarların betonlarda kullanımı ülkemiz için son derece önem arz etmektedir. Bu miktarlarda uçucu külün depolanması, nakliyesi ve daha sonra yakılması ve/ya gömülmesi ekonomik ve çevre açısından olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Bu sebeple uçucu küllerin betonlarda kullanımını tavsiye ediyoruz. Uçucu küller yukarıda bahsedildiği gibi yavaş yavaş dayanım kazandıklarından dolayı %100 oranlarında uçucu kül kullanımını ısı kürüne ihtiyacı gerektirmektedir. Tamamen uçucu kül kullanılarak geopolimer beton kullanılırsa betonların 70-100°C arasında yaklaşık 24 ile 72 saat arasında değişen ısı kürlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da başlı başına bir sorundur. Yerinde imal edilecek olan betonları bu derecelerde ısı kürüne tabii tutmak son derece zordur. Bu sebeple, uçucu küller yüksek kalsiyum oksit içeriğine sahip yüksek fırın cürufu ile kullanarak ısı kürüne ihtiyaç duyulmaksızın beton üretimi mümkün olmaktadır.

2.3 Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu genel itibarıyla fırında demir üretilirken ergimiş durumda elde edilen atık bir üründür.(Erdoğdu ve Kurbetçi,2003).Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimleri $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 'den oluşur. Ayrıca cürufların bu kimyasal bileşimlerinin yanı sıra kristal yapıları da oldukça önemlidir.(Yalçın ve Gürü,2006)

Yüksek fırın cürufları fırın çıkışlarında hızla soğutulmaları ve minimum 2/3 oranlarında camsı faz içermelidirler. Bununla birlikte içinde bulunan SiO_2 , CaO ve MgO miktar toplamları minimum 2/3 oranlarında ve $(\text{CaO} + \text{MgO})/ \text{SiO}_2$ oranı ise 1'den daha fazla olmalıdır. (Yeğınobalı, 2003)

Yüksek fırın cürüflü betonlar yüksek sıcaklıkta diğer katkılı betonlara kıyasla daha iyi mekanik özelliklere ve kimyasal durabilite performansına sahip olurlar. Yüksek fırın cüruf katkısı, kullanılan ve kullanılmayan çimento pastaları kıyaslandığında cüruf ile üretilmiş çimentonun ağırlık kaybında azalmalar, yüksek sıcaklıkta mekanik özellik açısından da katkısız kıyasla daha yüksek performans göstermişlerdir (Tang ve Lo,2009)(Mendes vd., 2008).

2.3.1 Betonda Cüruf Kullanımı



Şekil 2.2 Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu Malzemesi

Öğütülmüş yüksek fırın cürufları suyla karıştırıldıklarında genelde bağlayıcılık özelliği göstermez. Fakat alkali aktivatör katkıları kullanıldığında zamanla gizli bağlayıcılık özellikleri ortaya çıkar. Genelde alkali aktivatörler olarak sodyum silikat, sodyum

hidroksit, potasyum silikat ve potasyum hidroksit gibi alkali aktivatörler kullanılmaktadır. İnce öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufların aktif duruma getirilmesi için kullanılan yöntemlerden bazıları şunlardır:

Sodyum hidroksitle aktifleştirme,

Sülfat ile aktifleştirme,

Kireç ile aktifleştirme

Na(OH) ile yapılan deneylerde oldukça kısa zamanda sonuç elde edilebilir.(Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği, 1982)

Cürufların ısı izolasyonu özelliklerinin yanında işlenebilirlik kolaylığı, ısıya, donma çözünmeye karşı yüksek dayanım özelliği de gösterir. Bu avantajları sayesinde toplam maliyetlerde %10-15 oranlarında tasarruf sağlar.(Çevik,1993)(Bilgen vd., 2010).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufları yüksek oranda kalsiyum oksit içermektedir. Bu sebeple uçucu kül malzemesine nazaran basınç dayanımının gelişimi çok daha hızlı olmaktadır. Özellikle betonlarda erken kalıp almak, erken dayanım gibi özelliklere ihtiyaç duyulmasından ötürü öğütülmüş yüksek fırın cürufu genelde hem çimentoların tamamen veya kısmen yerine kullanılabilir. Son zamanlarda elde edilen öğütülmüş yüksek fırın cürufunun pahalı hale gelmesi ve çok hızlı reaksiyona girerek priz süresini düşürmesi gibi olumsuz etkilerden dolayı tamamen öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile üretilen alkali aktive edilmiş betonlar yerine uçucu küle beraber üretilen alkali aktive betonlar tercih edilmelidir. Böylece üretilen alkali aktive edilmiş betonların maliyetleri düşecek hem de ısı kütüne ihtiyaç duyulmayacaktır. İki malzeme birbirlerinin olumsuz özelliklerini en aza indirgeyecek şekilde tasarlanabilecektir.

2.4 Alkali Aktivatörler

Duran ve ark. yaptıkları çalışmalarında farklı farklı aktivatörler kullanıp aktivatörlerin cürüflü geopolimer harçlardaki etkilerini araştırmışlardır. Sodyum karbonat, Sodyum silikat ve sodyum hidroksiti alkali aktivatör olarak kullanmışlardır. Sodyum konsantrasyonlarında silikat artışıyla sodyum silikatla aktive edilen harcın kuruma rötresi Portland çimento ile üretilen harcın rötresinden 3-6 katı kadar fazla olduğu tespit edilmiştir. Sabit silikat modülü için sodyum konsantrasyonlarındaki

artışla kuruma rötreleri Portland çimentolu harçlardan 3-3.6 kat kadar daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sodyum konsantrasyonlarındaki artış ise sodyum karbonatlı ve sodyum hidroksitli harçlarda meydana gelen rötreyi arttırmıştır. Sodyum hidroksitli harçlarda artış 2.1-3 kat iken sodyum karbonatlı harçlarda 0.7-1 katına kadar ulaşmıştır ve sonuç olarak sodyum karbonat kullanılması önerilmiştir.(Duran Atis vd., 2009)

Krizan ve Zivanovic yaptıkları çalışmalarda silika miktarını incelemişlerdir. Silika miktarlarında uygulanan artışla erken zamanda hidrasyon gerçekleşmiş ve aktivatörlerin miktarının da rötreyi etkilediği sonucuna varılmıştır.(Krizan ve Zivanovic, 2002). Alkali aktivatörler çimentosuz betonlar için çok önemlidir. Yüksek fırın cürufu ve uçucu külün bağlayıcılık özelliği kazanması alkali aktivatörler ile mümkün olmaktadır. Alkali aktivatörler olarak sodyum silikat ve sodyum hidroksit, potasyum silikat ve potasyum hidroksitten daha ucuz olmalarından ötürü genelde silikat içerikli alkali aktivatörler kullanılmaktadır. Her iki alkali aktivatörler de geopolimerizasyon sürecinde aktif rol oynarlar. İleride alkali aktivasyon olarak bu kimyasallar kullanılırsa daha uygun üretim şekilleri ortaya çıkabilir. Yerel olarak temin edilebilmesi bu ürünlerin kullanımını açısından da önem arz etmektedir.

2.5.Geopolimer Beton Özellikleri

Ukraynalı araştırmacı Glukhovsk'nin 70-80 sene öncesinde inorganik malzemeler üzerine ilk araştırmalarını yapmıştır. Bu bilim insanının yaptığı çalışmalarda yüksek kalsiyumlu cüruflar ile alkali çözelti karışımlarından ürettiği oldukça dayanıklı ve bir o kadar sert malzemeleri bina yapım inşaatında kullanmıştır. Glukhovsky geopolimer tanımını alkali ile aktive edilen çimento şeklinde yapmıştır (Duxson vd., 2005)

Davidovits ise 1980'li yıllarda cüruf kullanmak yerine kaolen kullanarak bir çok çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmalarda düşük sıcaklık altında alkali silikat çözeltileri ile kaolenin reaksiyona girmesiyle kısa bir zaman sonra sertleşmiş ve mukavemetini kazanmış aynı zamanda da çevre koşullarında da kimyasallara dayanıklı malzemeler üretmeyi başarmıştır. Fazlaca alümina içermekte olan inorganik hammadde kullanımıyla üretilmiş olan malzemelere geopolimer denilmiş ve bu literatüre Davidovits tarafından geçirilmiştir.(Xu ve Deventer, 2000).

Geopolimer malzemeler inorganiktir ve ticari amaç için üretilenler yapıştırıcı, kaplama ve refrakter olarak kullanılabilirler. Geopolimerler 2 grup olarak sınıflandırılabilirler. Bunlardan biri saf inorganik olan geopolimerler, diğeri ise doğal oluşan büyük moleküller içeren yani organik geopolimerlerdir. Genelde pirinç kabuğu külleri, uçucu küller, silis dumanı, kırmızı kil, yüksek fırın cürufu vb. malzemeler geopolimer yapımında kullanılır. Bu kullanılan malzemeler maliyet, uygulama, uygunluk ve tip gibi faktörlerle değişiklik gösterebilir. Geopolimerizasyonlarda sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) ile sodyum silikat (Na_2SiO_3) veya potasyum silikat (K_2SiO_3) karışımları kullanımı en yaygın olan alkali aktivatör çözeltilerdir.(Komnitsas, 2011).

Geopolimerler kimyasal yapıları itibariyle bilinen malzemeler olmalarına rağmen, örnekler genelde şekilsizdir ve boyutsal yapıdadır. Yüksek fırın cürufu gibi kalsiyumca zengin sistemlerde C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) jeli çimento hidrasyonuna etkilidir.(Erdoğan, 2014). Bu sebeple yüksek kalsiyum içerikli öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak elde edilen alkali aktive edilmiş betonların basınç mukavemetleri uçucu külle üretilen geopolimer betonlara göre çok daha yüksek olmaktadır.

2.6.Taze Betonun Özellikleri

2.6.1 Birim Ağırlık

Betondaki birim ağırlık; birim hacimde bulunan taze beton ağırlığını belirtir. Betondaki birim ağırlığın yüksek ya da düşük olması, beton içindeki boşluk miktarlarına ve kullanılan malzemelerin özelliklerine göre değişir. Agregaların granülometrilerinin kötü olması, taze betonun sıkıştırılması işleminin düzgün yapılamaması ve maksimum agrega boyutlarının küçük olması gibi nedenler betonun içerisindeki boşluk miktarını arttıran bununla birlikte de birim hacminin düşmesine sebep olan temel faktörlerdir.(Erdoğan, 2003)

Bir yapının hafifletilmesi betonarme elemanlarının öz ağırlıklarının azaltılarak birim hacim ağırlıklarının düşürülmesiyle mümkündür. Bu sayede taşıyıcı sistemlerin kesitleri küçültülebilir ve daha ekonomik bir imalat sağlanabilir. Bir diğer yandan da ülkemizin büyük bölümü birinci derece deprem bölgesi olduğundan, yapının ağırlığının az olması yapıyı etkileyecek deprem yüklerini de azaltır ve böylece yapı

depremden en az hasarla kurtulmuş olur. Bunun yanı sıra betonun birim ağırlığı ne kadar az ise ısı iletkenliği de o kadar küçülür ve betondaki ses yutuculuğu fazla olur.

Betondaki birim hacim ağırlığı azaltılması bu 3 şekilde yapılabilir;

- Normalde kullanılan agreganın yerine içerisi boşluklu doğal ya da hafif agregalar kullanılması ile üretilen betonlar,

- Betonun içerisinde kimyasal veya fiziksel yollarla büyük miktarlarda boşluklar oluşturarak üretilen köpük ve gaz betonlar,

- Betondaki ince agregaları çıkartarak üretim yapılan kumsuz betonlar.(Neville,1975)(Akman ve Taşdemir,1977).

Geopolimer betonların birim ağırlıkları Portland çimentolara nazaran daha azdır. Kullanılan çimentoların özgül ağırlığının 3.14 olması, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun yaklaşık 2.9 olması ve uçucu küllerin 2.2-2.3 arasında olması, geopolimer betonlarındaki düşük birim ağırlığı açıklamaktadır.

2.6.2 İşlenebilirlik Ve Kıvam

Taze betondaki su miktarı, betonun işlenebilirliğini arttıran en önemli faktördür. Betonun kıvamı betonun akışkanlığı/akıcılığını gösteren ölçüdür. Su miktarı ne kadar artarsa beton akıcılığı da o kadar artar.(Özkul vd., 2004)

Beton karışımları hazırlanırken;

- Betonlar kolayca karıştırılabilmeli, taşınabilmelidir.

- Beton karışımının içerisindeki malzemeler iyi bir şekilde karılmalı yani homojen olmalıdır.

- Beton akışkan olmalıdır.

- Tasarımına uygun olarak kalıbı tamamen doldurmalıdır.

- Normalden çok daha fazla enerji sarfiyatına ihtiyaç duymadan sıkıştırılabilmelidir ve bu işlem uygulanırken de ayrışma olmamalıdır.

- Yüzey düzeltme işlemi kolay bir biçimde yapılabilirdir.

Betondan beklenen bu özellikler işlevler betonun kıvamı, akışkanlığı, taşınabilirliği, pompalanabilirliği ve sıkıştırılabilirliği olarak adlandırılabilir. Tüm bu özelliklerin en genel adlandırmasıyla “işlenebilirlik” şeklinde tanımlanabilir. (Arslantürk, 2007).

Geopolimer betonlarda işlenebilirlik geleneksel Portland çimentolu betonlara göre benzer olmalıdır ki yapılarda kullanımı mümkün olsun. Bu sebeple üretilen Geopolimer betonların alkali aktivatör/bağlayıcı oranı seçilirken işlenebilirlik göz ardı edilmemelidir. Geleneksel Portland çimentolu betonlarda su/çimento oranının artmasıyla işlenebilirlik artmaktadır. Benzer şekilde geopolimer betonlarda alkali aktivatör/bağlayıcı oranının artması çimentosuz betonların işlenebilirliğini artıracaktır.

2.6.3 Hava Miktarı

Betondaki agregaların boşlukları hariç, betonun içerisindeki hava hacminin tüm beton hacmine oranı yüzde olarak ifade edilir, bu da betondaki hava miktarının ifade şeklidir.(TS 4834, Beton ile İlgili Terimler T.S.E., 1986).Betonun içindeki hava miktarı; betonun karılma süresine, kullanılan katkı madde tipine ve miktarına, beton sıcaklığına, su/ çimento oranına, çimento miktarına ve agrega dağılımına bağlı olarak değişkenlik gösterir.(Erdoğan, 2003).Beton içerisindeki hava miktarı arttıkça beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple betonda hava miktarını mümkün mertebe azaltmak gerekir. Betonlarda hava miktarını azaltırken vibratörler kullanılmaktadır. Bu vibratörler sayesinde beton içerisindeki hava beton yüzeyine çıkarak iç kısmın daha geçirimsiz olmasına, agrega çimento ara yüzünün güçlenmesine ve betonları dayanımlarının artmasına sebep olmaktadır. Geopolimer betonlarda kullanılan bağlayıcılar (uçucu kül, cüruf vb), çimentodan daha ince oldukları için agregalar arası boşlukları daha kolay dolduracaklarından ötürü geopolimer betonda hava miktarının daha düşük olması beklenmektedir.

2.7. Geopolimer Betonun Dayanımını Etkileyen Faktörler

2.7.1 Alkali Aktivatörler

Huseien v.d. (2018) sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinin 2M ile 6M arasında değişkenlik gösteren molarite konsantrasyonları altında ortam sıcaklığının geopolimer beton numuneleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Geopolimer numuneler üzerinde, eğilme mukavemeti, basınç ve yarmada çekme mukavemetleri gibi testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geopolimerlerin işlenebilirlikleri ve priz alma sonuçları alkali miktarlarındaki artan molarite ile beraber azalma göstermiş ve bununla birlikte de artan alkali molaritesi ile yarmada çekme, basınç, eğilme mukavemetinde de artış gözlemlenmiştir (Huseien vd., 2018).

Omar vd. (2015), farklı yüksek sıcaklıklarda (200°C, 400°C, 600°C, 800°C) sodyum hidroksit molaritelerinin harçlardaki basınç mukavemetlerine olan etkilerini 1 gün önce 1 gün sonra ve 7 gün önce 7 gün sonra olacak şekilde incelemişlerdir. Arttırılan sodyum silikat molaritesi ile basınç mukavemetinde de artış gözlemlenmiştir. Sodyum silikat sodyum hidroksit oranı arttırıldığında ise basınç mukavemetinde arttığından, yüksek sıcaklığa maruz kalmayla benzer sonuç verdiği için, genel tutum olarak yüksek sıcaklığa ne kadar fazla maruz kalırsa basınç mukavemeti de o kadar azalmıştır.(Omer vd., 2015).

Yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi sodyum hidroksit molaritesi arttığı zaman geopolimer betonların taze hal özelliklerinde azalma meydana gelmektedir. Fakat sodyum hidroksit molaritesi arttığından mekanik özelliklerde iyileşme olduğu için sodyum hidroksit molaritesinin belirli değerlere kadar artması geopolimer betonların mukavemetini olumlu etkilemektedir.

2.7.2. SiO₂/ Na₂O Oranı

Bignozzi v.d. (2014), Na₂O/SiO₂ molar oranlarını 0.12 ve 0.20 aralıklarında değiştirmiş ve 2 tür uçucu kül ile aktifleştirmiştir. Hem taze hem priz almış durumdaki geopolimer davranışlarının uçucu külden kullanımından daha çok etkilendiğini gözlemlemiştir.(Bignozzi vd., 2014).

2.7.3 Sıcaklık Ve Kürleme

Ghani ve diğ, 2006; hem düşük hem de yüksek sıcaklığın betona etkisini incelemiştir. İncelenen özellikler; çekme dayanımı, kırışın kopma modülleri ve betonun basınç dayanımlarıdır. Bu hedefle düşük sıcaklık (5°C), oda sıcaklığı (28°C) ve yüksek sıcaklık (55°C) kullanılmıştır. Bu numuneler 3., 7. ve 28 gün kürleme işleminin ardından karşılaştırılmıştır. Kürleme işlemi esnasındaki yüksek sıcaklık betondaki başlangıç basınç dayanımlarını arttırmıştır. Sonuçta başlangıçtaki basınç dayanımları 5°C sıcaklıkta en düşük, 28°C için yüksek ve 55°C için ise en yüksek değerde bulunmuştur. Aynı şekilde 3. gün ve 7. gün için gözlemlenmiş ancak 28. günde sıcaklığın artması basınç dayanımında ters etki yaratmıştır. Yani 5°C deki basınç dayanım değeri maksimum, 28°C’de daha düşük, 55°C’ de ise en düşük değerine ulaşmıştır. Sıcaklık değişimleri kopma modülü ve çekme dayanımı için oldukça az etki meydana getirmiştir (Usman Ghani vd., 2006).

2.8.Beton Durabilitesini Etkileyen Faktörler

Betonun, üretim öncesinde hedeflenen özelliklerin zamanla kaybolmaması ve çevre koşullarına dayanıklı olması betonda istenilen en önemli özelliklerdendir. Durabilite adı altında betonda istenilen dayanıklılık şöyle sıralanmıştır;

Tuz ve asitlere karşı dayanım,

Hacimsel değişikliğe sebep olan kimyasal reaksiyona karşı dayanım

Donma ve çözünme olaylarına karşı dayanım

Isınma ve soğuma olaylarına karşı dayanım

Aşınmaya karşı dayanım

Yangına karşı dayanım

Islanma ve kuruma olaylarına karşı dayanım.(Erdoğan, 1995)

Geopolimer betonlarda bu bahsedilen özellikler betonun dayanımını zamanla azaltmaktadır. Bunlar arasında en tehlikeli yani beton dayanımını en çok azaltan etkilere birisi de kimyasal etkilere karşı durabilitedir. Betonun maruz kalabileceği kimyasal etkiler arasında sülfürik asit, magnezyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorür gibi kimyasal etkiler vardır. Sodyum klorür özellikle donatılı betonlarda korozyon açısından tehlikelidir. Bu olayda donatı üzerinde korozyon ürünleri birikerek donatı ile reaksiyon sonucu donatı çapının azalmasına ve dayanım düşmesine sebep olmaktadır. Diğer kimyasallar saldırılarda ise betonun en dış yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru zararlı iyonlar betona nüfuz etmekte ve beton dış yüzeylerinde alçıtaşı oluşturarak çatlaklara, dökülmelere ve kesit kayıplarına sebep olurlar. Sonuç olarak betonda kimyasal saldırılar betonun kesitinde azalmaya sebep olacağından dolayı mevcut betonda dayanımın düşmesine sebep olurlar. Yeraltı suları, atık sular ve fabrika ortamlarında karşılaşılabilecek bu tür kimyasallar için uygun bir geopolimer beton üretilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda geopolimer ve alkali aktive edilmiş betonların değişik kimyasal solüsyonlar altında (sülfürik asit, magnezyum sülfat, sodyum klorür v.b.) kimyasal durabilitesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Bu çalışma kapsamında %75 öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve %25 F-tipi uçucu kül kullanılarak alkali aktive edilmiş beton numuneleri üretildi. Üretilen alkali aktive edilmiş betonların alkali aktivasyonu için sodyum hidroksit ile sodyum silikat solüsyonları kullanıldı. Sodyum hidroksit molaritesi 14 M ve sodyum silikat/hidroksit

oranı 2.5 olacak şekilde karışımlar hazırlanmıştır. Tez kapsamında 3 değişik dozaj; 400 kg/m^3 (300 kg/m^3 cüruf + 100 kg/m^3 uçucu kül), 500 kg/m^3 (375 kg/m^3 cüruf + 125 kg/m^3 uçucu kül) ve 600 kg/m^3 (450 kg/m^3 cüruf + 150 kg/m^3 uçucu kül) kullanıldı. Ayrıca alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olarak ise 2 farklı oran 0.45 ve 0.55 kullanılmıştır. Bu çalışmada hedefimiz, normal oda sıcaklığında kür ortamına bırakılan %25 uçucu küllü ve %75 yüksek fırın cürüflü alkali aktive edilmiş numunelerin 28., 120., ve 150. günlerde basınç dayanımının gelişimini ve de % 5 sülfürik asit ortamında durabilite performansını araştırmaktır. Bunun için üretilen beton numuneler üzerinde asit etkisinde görünümünde meydana gelen değişim, numune ağırlığında meydana gelen değişim ve beton basınç dayanımında meydana gelen değişimleri irdelemek ve birbirleri arasında bağıntı kurmaktır. Bu çalışmanın çimentosuz betonların yapılarda kullanılabilmesi için gerekli olan standartlaşması amacıyla bir ön ayak oluşturacağı düşünülmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri, ve bu betonlara uygulanan deneylerin yapılışı hakkında bilgi verilmektedir.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, yüksek fırınlarda demir üretilirken elde edilen silis, kalsiyum alümin silis ve bazik kökenli bileşikler içeren ve ergimiş halde elde edilen atık bir malzemedir. Bu çalışma süresince kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiş olup, Şekil 3.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Kullanılan Yüksek Fırın Cürufu

Çizelge 3.1. Deneyde kullanılan yüksek fırın cürufu özellikleri

Kompozisyon	Yüksek fırın cürufu
CaO(%)	37.25
SiO ₂ (%)	38.37

Al ₂ O ₃ (%)	11.89
Fe ₂ O ₃ (%)	1.05
MgO(%)	8.13
SO ₃ (%)	0.38
Na ₂ O(%)	0.28
K ₂ O(%)	1.28
Kızdırma kaybı(%)	0
Özgül ağırlık(g/cm ³)	2.93
Özgül yüzey (cm ² /gr)	4320
Dayanım aktivite indeksi(%) (gün)	85(28)

3.1.2. Uçucu Kül

Uçucu kül, santrallerdeki kömürün yakılması esnasında baca gazlarındaki taneciklerin elektro filtrelerde tutulması ile oluşan küldür. Yakılan kömürün kaynağına ve bileşimine bağlı olarak, uçucu kül bileşenleri önemli ölçüde değişir, ancak tüm uçucu küller, önemli miktarlarda silisyum dioksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃), fakat düşük oranda kalsiyum oksit (CaO) içerir. Özellikle uçucu küller F-tipi ve C-tipi olmak üzere 2 tip uçucu küle ayrılırlar. Deneyde kullandığımız uçucu kül F-tipi uçucu küldür. F-tipi uçucu külden CaO içeriği 10% daha azdır. Deneylerde kullandığımız F-tipi uçucu kül Şekil 3.2’ de gösterilmiştir ve özellikleri Çizelge 3.2’ de belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Kullanılan Uçucu Kül

Çizelge 3.2. Deneyde kullanılan uçucu kül özellikleri

Kompozisyon	Uçucu kül
CaO(%)	2.10
SiO ₂ (%)	54.76
Al ₂ O ₃ (%)	25.26
Fe ₂ O ₃ (%)	6.28
MgO(%)	2.08
SO ₃ (%)	0.2
Na ₂ O(%)	0.38
K ₂ O(%)	4.04
Kızdırma kaybı(%)	3.3
Özgül ağırlık(g/cm ³)	2.13
Özgül yüzey(cm ² /gr)	3870
Dayanım aktivite indeksi (%) (gün)	83(28) -97(90)

3.1.3 Agregalar

Yaptığımız çalışmada agregalar, kaba ve ince agrega olarak kullanılmıştır. Kaba agregaların büyüklüğü 16 mm ile 4 mm arasındadır. İnce agregalar ise 4 mm'den daha küçüktür. Çizelge 3.3'de agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri belirtilmiştir. Kullanılan iri agregada Şekil 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde kullanılan 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



Şekil 3.3. Kullanılan iri agrega

3.1.4 Alkali Aktivatörler

Çalışma kapsamında kullanılan alkali aktivatörler, sodyum hidroksit ve sodyum silikat sıvılarının belirli oranlarda karışımı ile oluşturulmuştur. Sodyum bazlı alkaliler, potasyum bazlılara kıyasla daha ekonomik olduğundan dolayı deneyde sodyum bazlı aktivatörler kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) karıştırılmadan 6 saat önce suda eritilip, soğuması için laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Kullanılan sodyum silikatın (Na_2SiO_3) özellikleri ise Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan sodyum silikatın özellikleri

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

3.1.5. Kimyasal Katkı

Kullanılan yüksek fırın cürufunun geopolimer harcı olarak kullanılabilirliği kimyasal katkı ile sağlanmıştır. Çizelgede kullanılan kimyasal katkının özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri

Özellikler	Kimyasal katkı
Ürün adı	YAPRHEO HYPER SCC 900
Renk	Opak
Durumu	Sıvı

Özgöl 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

Deneyde, mekanik ve durabilite deneylerinde üretilen betonların dökülmesi amacıyla Şekil 3.4’de gösterildiği gibi küp kalıplar (150 mm x 150 mm x 150 mm) kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Kullanılan Kalıplar

3.2.2. Alkali Aktivatörlerin Hazırlanması

Deneyde sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltileri kullanıldı. Mikser kapasitesini düşünerek alkali aktive edilmiş betonları üretmek amacıyla 1482 gr NaOH çözeltisi elde etmek için, 525 gr NaOH ve 957 gr su kullanılarak elde edilmiştir. Bu alkali çözelti, beton dökümünden önce hazırlanmış olup, oluşan karışımın sıcaklığını düşürmek için 6 saat laboratuvarda bekletilmiştir. Şekil 3.5’de hazırlanan alkali aktivatörler miksere ilave edilmiştir.



Şekil 3.5. Alkali Aktivatörlerin Hazırlanması

3.2.3. Karışım Hazırlanması

Geopolimer beton üretiminde çimento yerine cüruf, uçucu kül gibi malzemeler kullanılır. Bunun yanı sıra su yerine de sodyum silikat ve sodyum hidroksit gibi alkali sıvılar kullanılmaktadır. Karışımlarda 1 m³ beton üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları Çizelge 3.6 – 3.11’de verilmiştir. Üretilen betonlar S75FA25 betonları olup, %75 oranında öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ile %25 F-tipi uçucu kül kullanılmıştır. Toplam bağlayıcı miktarları 400, 500, ve 600 kg/m³ olarak değişmektedir. Alkali aktivatör/ bağlayıcı oranı olarak ise 0.45 ve 0.55 olmak üzere 2 farklı tip alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranı seçilmiştir.

Çizelge 3.6. S75FA25-400-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	500
	No II	500
İnce agrega	Kum	321
	Kırma kum	321

Yüksek fırın cürufu	300
Uçucu kül	100
Kimyasal katkı	9.10
Na ₂ SiO ₃	128.57
NaOH	51.43
İlave su	30

Çizelge 3.7. S75FA25-400-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	467
	No II	467
İnce agrega	Kum	301
	Kırma kum	301
Yüksek fırın cürufu		300
Uçucu kül		100
Kimyasal katkı		9.10
Na ₂ SiO ₃		157.14
NaOH		62.86
İlave Su		30

Çizelge 3.8. S75FA25-500-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	427
	No II	427
İnce Agrega	Kum	274
	Kırma kum	274
Yüksek fırın cürufu		375
Uçucu kül		125
Kimyasal katkı		4.55
Na ₂ SiO ₃		160.71
NaOH		64.29
İlave su		37.50

Çizelge 3.9. S75FA25-500-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	387
	No II	387
İnce agrega	Kum	248
	Kırma kum	248
Yüksek fırın cürufu		375

Uçucu kül	125
Kimyasal katkı	4.55
Na ₂ SiO ₃	196.43
NaOH	78.57
İlave su	37.50

Çizelge 3.10. S75FA25-600-0.45 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	354
	No II	354
İnce agrega	Kum	227
	Kırma kum	227
Yüksek fırın cürufu		450
Uçucu kül		150
Kimyasal katkı		3.03
Na ₂ SiO ₃		192.86
NaOH		77.14
İlave su		45

Çizelge 3.11. S75FA25-600-0.55 geopolimer betonların üretiminde kullanılan malzemeler

Malzeme		Miktar (kg/m ³)
İri agrega	No I	306
	No II	306
İnce agrega	Kum	196
	Kırma kum	196
Yüksek fırın cürufu		450
Uçucu kül		150
Kimyasal katkı		3.03
Na ₂ SiO ₃		235.71
NaOH		94.29
İlave su		45

3.2.4. Geopolimer Beton Yapılışı Ve Döküm Yöntemi

Geopolimer beton karışımlarının üretiminde, standart yöntem kullanılmıştır. Öncelikle farklı boyutlardaki agregalar geopolimer betonların üretimi için eklenmiştir. Sonrasında kum, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül mikserine eklenmiştir. Kuru karışım homojen olması amacıyla 2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra sodyum silikat ve sodyum hidroksit içeren alkali sıvı ve kimyasal akışkanlaştırıcının yarısı mikserine ilave edilip 2 dakika kadar karıştırılmıştır. En son olarak ise su ve akışkanlaştırıcının kalan kısmı mikserine ilave edilip 2 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında üretilen betonlar küp numune kaplarına döküldü. Kalıplar sıkıştırılıp, hava boşluklarını ortadan kaldırmak amacıyla titreşim yapıldı. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra 48 saat plastik torbalar kullanılarak kaplanmıştır. Bunun amacı kullanılan alkali çözeltinin buharlaşmasını önlemektir. Şekil 3.6'da beton üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Beton Üretim Aşamaları

3.2.5. Krleme

Üretilen numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra test günlerine kadar laboratuvar ortamında tutulmuştur. Numunelere ısı kr veya su kr uygulanmamıştır. Normal şartlar altında alkali aktive edilmiş betonların mekanik ve kimyasal durabilite performanslarının incelenmesi hedeflenmiştir.

3.2.6. Sülfürik Asit zeltisinin Hazırlanması

Küre tabii tutulan geopolimer numuneler ağırlık ölçümleri yapıldıktan sonra %5 sülfürik asit içeren çözeltilere konulmuştur. 120. gün ve 150. gün sonunda sülfürik asit çözeltilerinden Şekil 3.7'de gösterildiği gibi çıkartılıp ağırlık ölçümleri, fotoğraf çekimleri ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. Numunelerin %5 Sülfürik Asit zeltisinde Bekletilmesi

3.2.7. Ağırlık Değişimi

Numuneler asit çözeltisine maruz bırakılmadan önce numunelerin ilk ağırlıkları ölçüldü. 120 ve 150 gün sonlarında sülfürik asite maruz bırakılan numuneler kovalardan çıkartılıp 24 saat boyunca kuruması için beklenilmiştir. Daha sonra sülfürik asite maruz bırakılan numuneler Şekil 3.8'deki gibi tek tek tartılıp, ilk ağırlıkları ile karşılaştırıldı ve ağırlık değişimi aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

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

A= Başlangıç ağırlığı

B= Aside maruz kaldıktan sonraki ağırlığı



Şekil 3.8. Sülfürik asite maruz bırakılan numunelerin tartılması

3.2.8 Basınç Dayanımı Testleri

Basınç dayanımı testi, betonun dayanım özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Betonun sahip olduğu bütün mekanik özellikleri basınç dayanımı ile ilişkilidir. Basınç dayanımı deneyleri AS1012.9-1999'a göre gerçekleştirilmiştir. Maksimum 2000 kN kapasiteli bir basınç test makinesi kullanılmıştır ve yapılan testler

Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Basınç dayanımı testleri 28, 90 ve 120 günlük sürelerde gerçekleştirilmiş ve asite maruz kalan betonların basınç dayanımı sonuçları asite maruz kalmayan betonların basınç dayanımları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.9. Basınç Dayanımı Testleri

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışmasında % 5 sülfürik asit ortamında bırakılan %75 yüksek fırın cürufuyla %25 F tipi uçucu külün beraber kullanımıyla üretilen alkali aktive edilmiş beton (AAEB) numunelerinin mekanik dayanımı ve sülfürik asit ortamında durabilitesi araştırma konusu olarak ele alınmıştır. AAEB numuneleri 28 güne kadar laboratuvarda (asite uğramamış-kontrol), 120. ve 150. günlerde hem % 5 sülfürik asitte hem de kontrol ortamlarına bırakılmış olup, üretilen farklı bağlayıcı miktarına ve alkali aktivatör/bağlayıcı oranlarına sahip betonların mekanik dayanımı ve durabilitesi incelenmiştir. Çalışma kapsamında F tipi uçucu kül ve yüksek fırın cüruf miktarı $100 + 300 \text{ kg/m}^3$, $125 + 375 \text{ kg/m}^3$ ve $150 + 450 \text{ kg/m}^3$ olmak üzere 3 farklı oranlarda kullanıldı. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranları olarak ise 0.55 ile 0.45 olmak üzere 2 farklı oranlarda kullanıldı. Burada amaç olarak değişen bağlayıcı miktarıyla ve alkali aktivatör/bağlayıcı oranı parametrelerinin AAEB numunelerin mekanik dayanımını ve durabilitesini hangi oranda etkilediği araştırılacaktır. Bu sebeple, üretilen 6 farklı AAEB numuneler üzerinde sülfürik asit etkisi sonrası numunelerin yüzeyindeki değişme (görsel inceleme), numune ağırlıklarında zamanla oluşan artma veya azalma ve basınç dayanımlarında oluşan azalma gibi değişimler üç farklı ana başlıkta incelenmiştir.


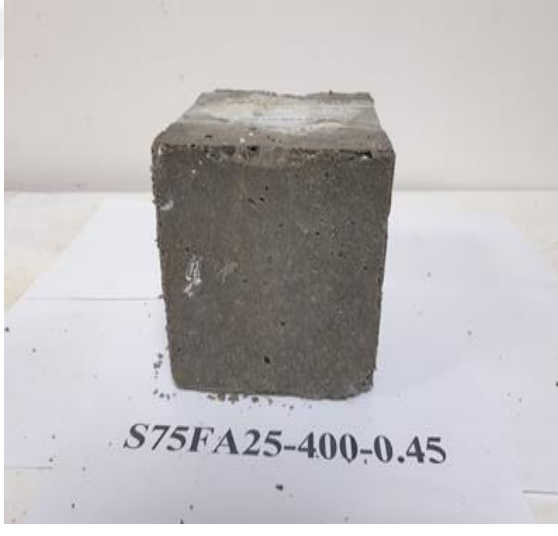
4.1 Görsel İnceleme

F tipi uçucu kütle yüksek fırın cürufunun 1/3 oranda kullanılmasıyla elde edilmiş AAEB numuneler, %5 sülfürik asite maruz kalmış ortamda hem 120. hem de 150.günlerde yüzey fotoğrafları ayrı ayrı çekilip, numunelerin en dış kısmında 5% sülfürik asit etkisiyle oluşan değişimler Şekil 4.1’de belirtilmiştir.

Sülfürik asite maruz kalan AAEB küp numunelerin yüzey kısmında alçıtaşı oluşumu nedeniyle beyaz renkli lekeler ve matrisin ve agregaların yüzeyden dökülmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. 5 % sülfürik asit ortamına maruz kalması sebebiyle AAEB numunelerin en dış kısmında oluşan erozyon, kalsiyum monosülfoalüminatla kalsiyum hidroksitin tepkimesi sonucu ortaya çıkan arasında beyaz renge sahip alçı kristali tabakaların oluşumdan kaynaklanır. Oluşan bu alçıtaşı ürünleri AAEB numunelerin yüzey kısımlarını yumuşatarak ilk önce pul pul

dökülmelerine daha sonra çatlamlarına ve parça dökülmesine sebep olarak numunelerin basınç mukavemetlerinin düşmesine neden olurlar.

Şekil 4.1'de yüzey fotoğrafları incelendiğinde AAEB numunelerinin yüzeylerinde gerçekleşen alçıtaşı miktarının sülfürik asite maruz kalma zamanına bağlı olarak arttığı gözlemlenmektedir. Beyaz renge sahip lekelerin sayıca artması, numune çevresinde oluşan mikro ve makro boyutta çatlaklar, AAEB numunelerde bozulmayı işaret etmektedir. Oluşan alçıtaşı miktarına bağlı olarak gri olan mevcut beton rengi oluşan alçıtaşları sebebiyle zamanla beyazımsı renge dönüşmektedir. Numunelerdeki beyaz lekeler incelendiğinde en çok beyaz renkli lekelerin 500 kg/m^3 bağlayıcıya sahip AAEB numunelerde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranı olarak 0.55 olan AAEB numunelerinde oluşan alçıtaşı miktarı 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı miktarına sahip AAEB numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir.

120 GÜN	150 GÜN
	
S75FA25-400-0.45	S75FA25-400-0.45



S75FA25-400-0.55



S75FA25-400-0.55



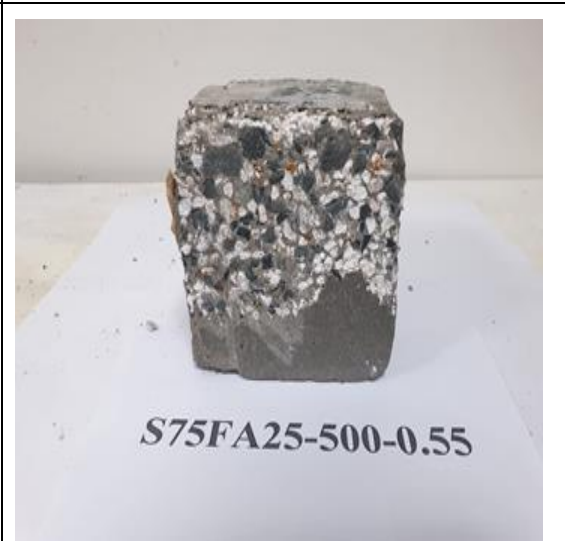
S75FA25-500-0.45







S75FA25-500-0.45



S75FA25-500-0.55



S75FA25-500-0.55

S75FA25-500-0.55	S75FA25-500-0.55
	
S75FA25-600-0.45	S75FA25-600-0.45
	
S75FA25-600-0.55	S75FA25-600-0.55

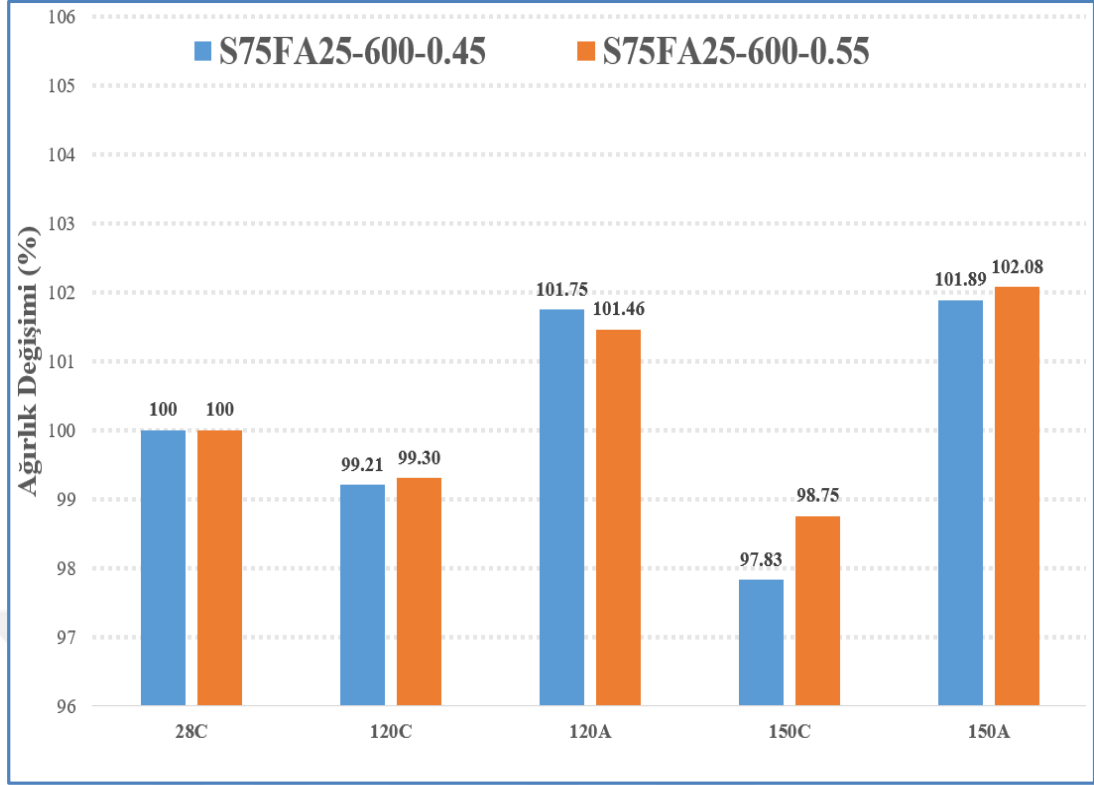
Şekil 4.1 120. ve 150. Günlerde Sülfürik Asitte Bırakılan AAEB Numunelerinde Değişim

4.2. Ağırlık Değişimi

Numune ağırlığında zamana bağlı olarak oluşan değişimler betondaki bozulma miktarını işaret ederler. Şekil 4.2.' de 150 kg/m^3 F tipi uçucu kül ile 450 kg/m^3 yüksek fırın cürufu katkılı AAEB numune ağırlıkları değişimleri gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde C işareti laboratuvar-kontrol ortamını ifade ederken, A işaretiyse %5 sülfürik asit ortamını işaret etmektedir. 28, 120 ve 150 rakamlarıysa AAEB numunelerin

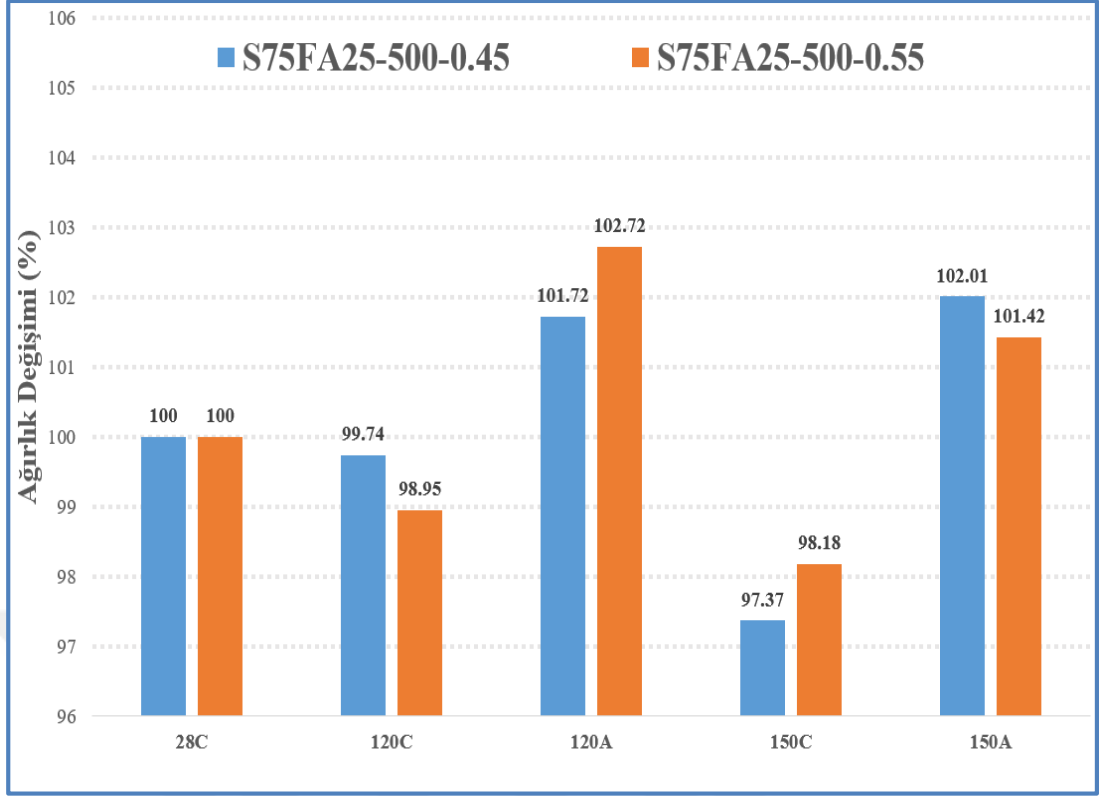
toplam yaşını gün olarak göstermektedir. Tez kapsamında kullanılmış şekillerde, 28C numunelerin laboratuvar ortamında 28 gün boyunca beklediğini, 120C numunelerin laboratuvar ortamında 120 gün boyunca beklediğini, 120A ise numunelerin 28 gün boyunca laboratuvar ortamında beklediğini ve daha sonra kalan 92 gün boyunca sülfürik asitte tutulduğunu ifade etmektedir. 150C numunelerin laboratuvar ortamında 150 gün boyunca beklediğini, 150A ise numunelerin 28 gün boyunca laboratuvar ortamında beklediğini ve daha sonra kalan 122 gün boyunca sülfürik asitte tutulduğunu ifade etmektedir.

Şekil 4.2 AAEB numunelerinin 120. gündeki ve 150. gündeki ağırlıklarının 28. gündeki ağırlıklarına kıyasla yüzde (%) oranda artmayı veya azalmayı göstermektedir. Şekil 4.2'deki grafiklerde 150 kg/m^3 kül ve 450 kg/m^3 cüruf kullanılarak üretilen betonların ağırlık değişimleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %0.79 düşerken, 120 gün boyunca %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.75 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %2.17 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.89 yükselmiştir. 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %0.7 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.75 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %2.17 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %2.08 yükselmiştir.



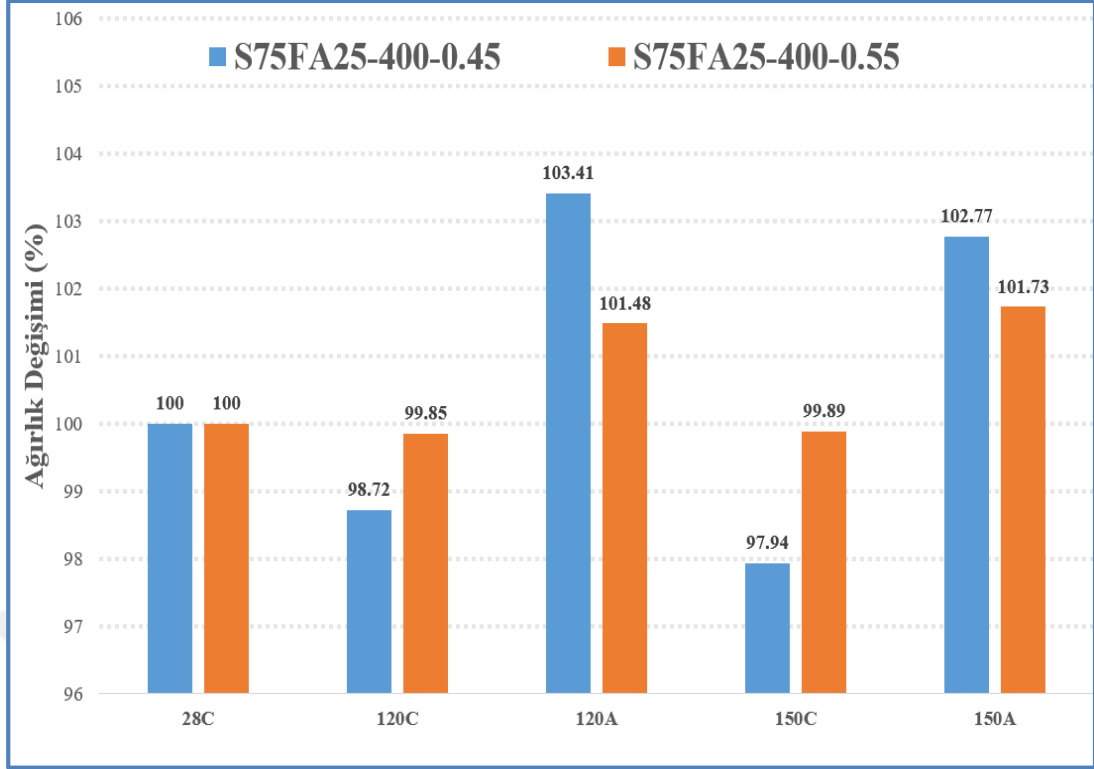
Şekil 4.2. 600 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Ağırlık Değişimi

Şekil 4.3 AAEB numunelerinin 120. gündeki ve 150. gündeki ağırlıklarının 28. gündeki ağırlıklarına kıyasla yüzde (%) oranda artmayı veya azalmayı göstermektedir. Şekil 4.3'deki grafiklerde 125 kg/m³ kül ve 375 kg/m³ cüruf kullanılarak üretilen betonların ağırlık değişimleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %0.26 düşerken, 120 gün boyunca %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.72 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %2.63 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %2.01 yükselmiştir. 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %1.05 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %2.72 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %1.82 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.42 yükselmiştir.



Şekil 4.3. 500 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Ağırlık Değişimi

Şekil 4.4 AAEB numunelerinin 120. gündeki ve 150. gündeki ağırlıklarının 28. gündeki ağırlıklarına kıyasla yüzde (%) oranda artmayı veya azalmayı göstermektedir. Şekil 4.4'deki grafiklerde 100 kg/m³ kül ve 300 kg/m³ cüruf kullanılarak üretilen betonların ağırlık değişimleri gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %1.28 düşerken, 120 gün boyunca %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %3.41 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %2.06 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %2.77 yükselmiştir. 120 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan ve 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerin ağırlığı %0.15 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.48 yükselmiştir. 150 gün boyunca laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığı %0.11 düşerken, %5 sülfürik asit ortamına bırakılan AAEB numunelerin ağırlığıysa %1.73 yükselmiştir.



Şekil 4.4. 400 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Ağırlık Değişimi

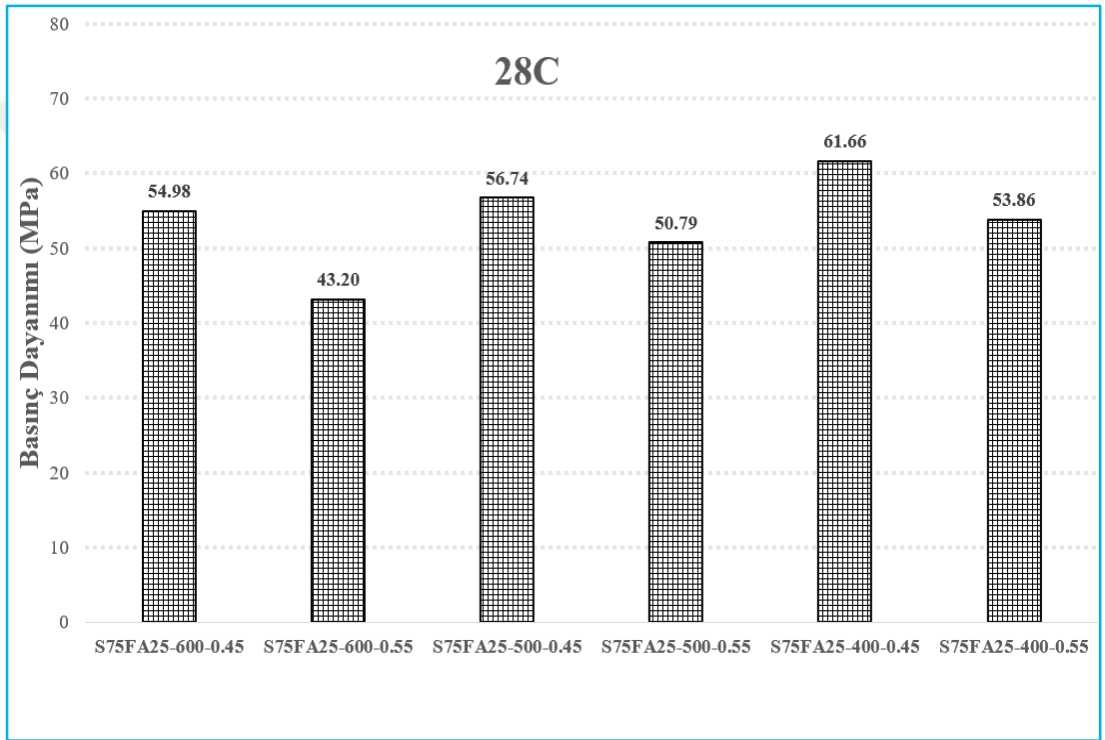
AAEB numunelerinde oluşan ağırlık değişimi incelendiğinde 5% sülfürik asitte bırakılan betonların bazısında hem 120. hem de 150. günlerde ağırlık artması olurken, bazısında 120. güne kadar ağırlıkta artma daha sonra 150. günde ise ağırlıkta düşme olmuştur. AAEB numunelerinin ağırlıklarının artması sülfürik asit solüsyonunun emilmesinden kaynaklanmaktadır. AAEB numunelerinde görülen ağırlık azalması ise asit sonrası oluşan parça (agrega, matris) dökülmelerinden ötürü ağırlıklarda düşme meydana gelmektedir. Laboratuvar ortamına bırakılan AAEB numunelerinin ağırlıklarında meydana gelen azalma ise betonların hacmindeki su kaybından veya devam eden alkali aktivasyon reaksiyonundan dolayı meydana gelmektedir.

4.3 Geopolimer Betonun Mekanik Ve Dayanıklılık Testi

4.3.1. Basınç Dayanımı

Şekil 4.5 S75FA25 AAEB (alkali aktive edilmiş beton) numunelerinin laboratuvar ortamında 28. gündeki basınç mukavemetlerini göstermektedir. 600 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 54.98 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 43.20 MPa bulunmuştur.

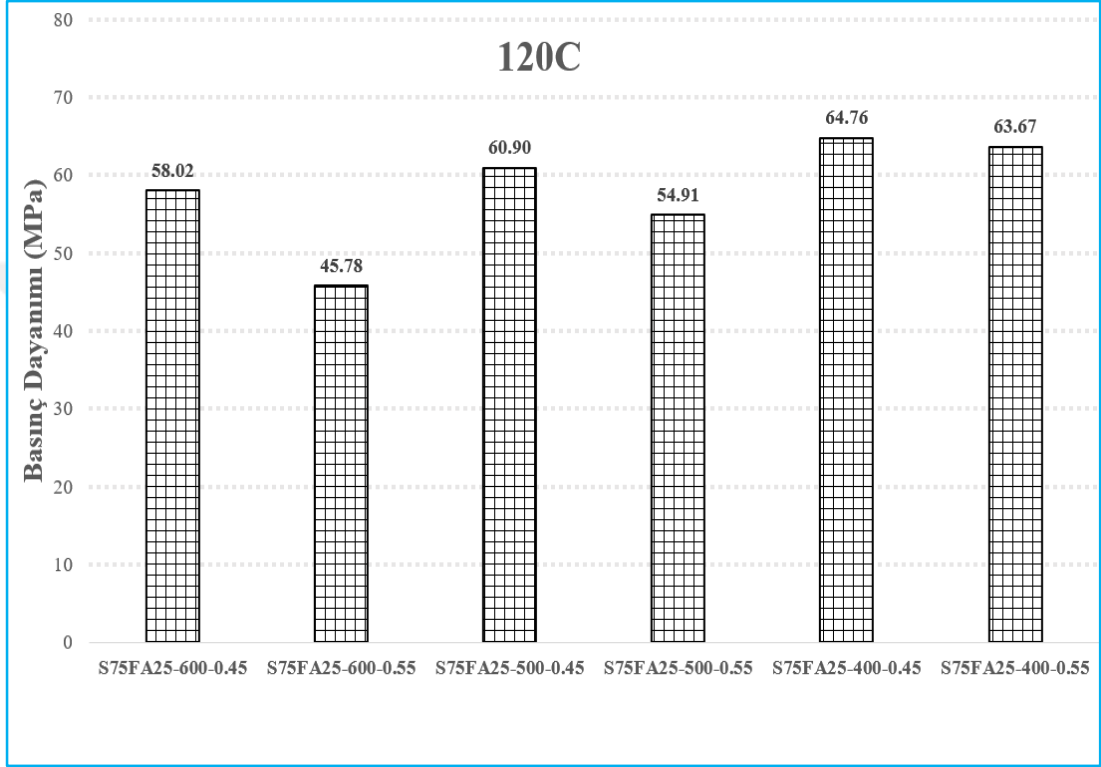
500 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 56.74 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 50.79 MPa bulunmuştur. 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 61.66 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 53.86 MPa bulunmuştur. 28.günde en yüksek basınç dayanımını S75FA25-400-0.45 AAEB numuneleri verirken, en düşük basınç dayanımını ise S75FA25-600-0.55 AAEB numuneleri göstermiştir.



Şekil 4.5. S75FA25 AAEB Numunelerin Laboratuvar Ortamında 28.Gün Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.6 S75FA25 AAEB (alkali aktive edilmiş beton) numunelerinin laboratuvar ortamında 120. gündeki basınç mukavemetlerini göstermektedir. 600 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 58.02 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 45.78 MPa bulunmuştur. 500 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 60.90 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 54.91 MPa

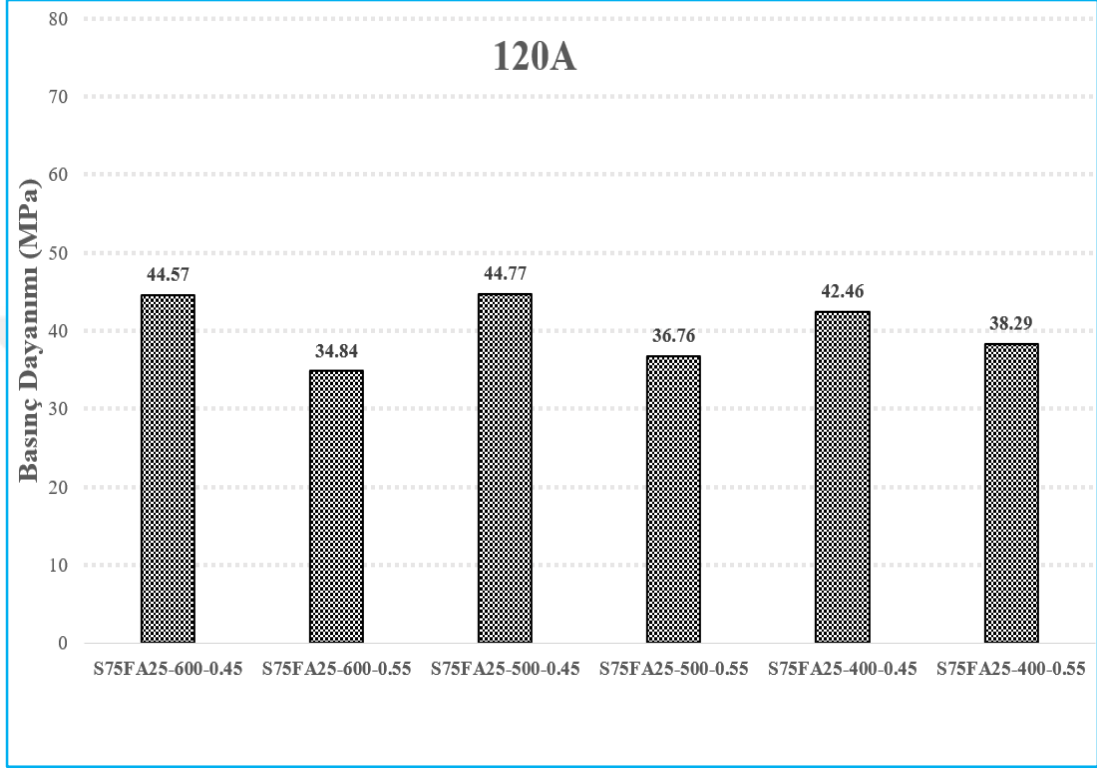
bulunmuştur. 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 64.76 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 63.67 MPa bulunmuştur. 120.günde laboratuvar ortamında en yüksek basınç dayanımını S75FA25-400-0.45 AAEB numuneleri verirken, en düşük basınç dayanımını ise S75FA25-600-0.55 AAEB numuneleri göstermiştir.



Şekil 4.6. S75FA25 AAEB Numunelerin Laboratuvar Ortamında 120.Gün Basınç Mukavemeti

Şekil 4.7 S75FA25 AAEB (alkali aktive edilmiş beton) numunelerinin 5% sülfürik asit ortamında 120. gündeki basınç mukavemetlerini göstermektedir. 600 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 44.57 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 34.84 MPa bulunmuştur. 500 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 44.77 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 36.76 MPa bulunmuştur. 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 42.46 MPa, 0.55 alkali

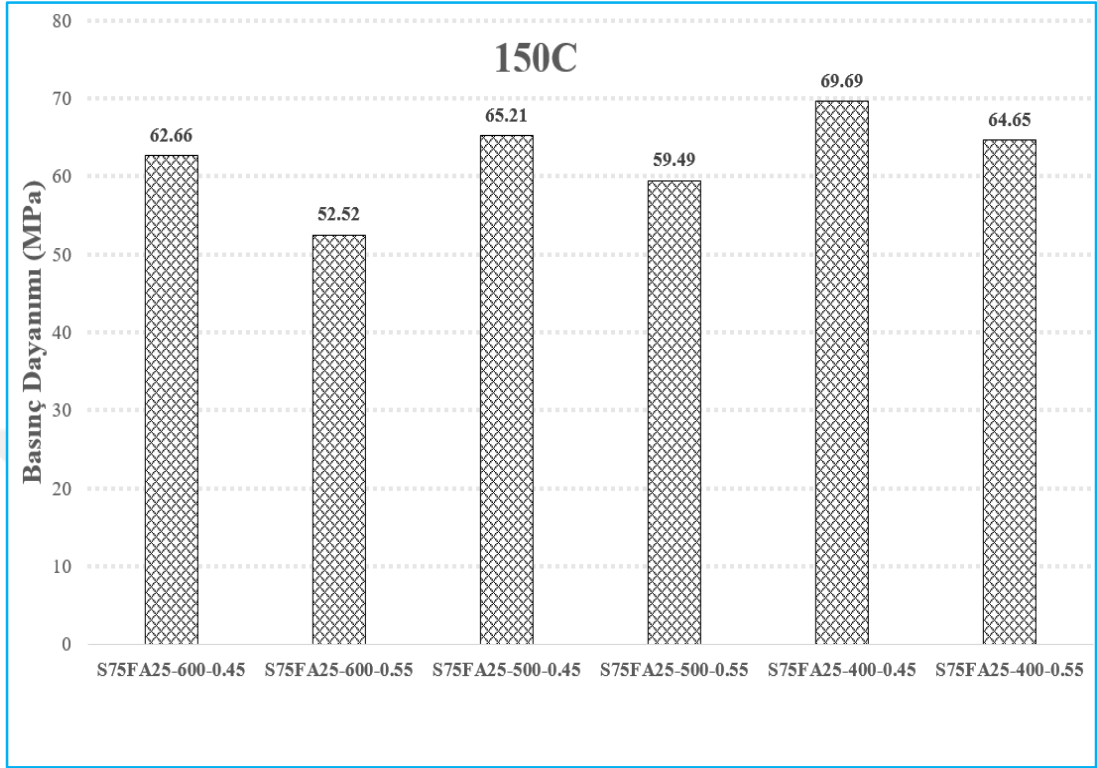
aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 38.29 MPa bulunmuştur. 120.günde 5% sülfürik asit etkisine maruz kalan AAEB numunelerinde en yüksek basınç dayanımını S75FA25-600-0.45 ile S75FA25-500-0.45 AAEB numuneleri verirken, en düşük basınç dayanımını ise S75FA25-600-0.55 AAEB numuneleri göstermiştir.



Şekil 4.7. S75FA25 AAEB Numunelerin Sülfürik Asit Ortamında 120.Gün Basınç Mukavemeti

Şekil 4.8 S75FA25 AAEB (alkali aktive edilmiş beton) numunelerinin laboratuvar ortamında 150. gündeki basınç mukavemetlerini göstermektedir. 600 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 62.66 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 52.52 MPa bulunmuştur. 500 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 65.21 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 59.49 MPa bulunmuştur. 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 69.69 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa

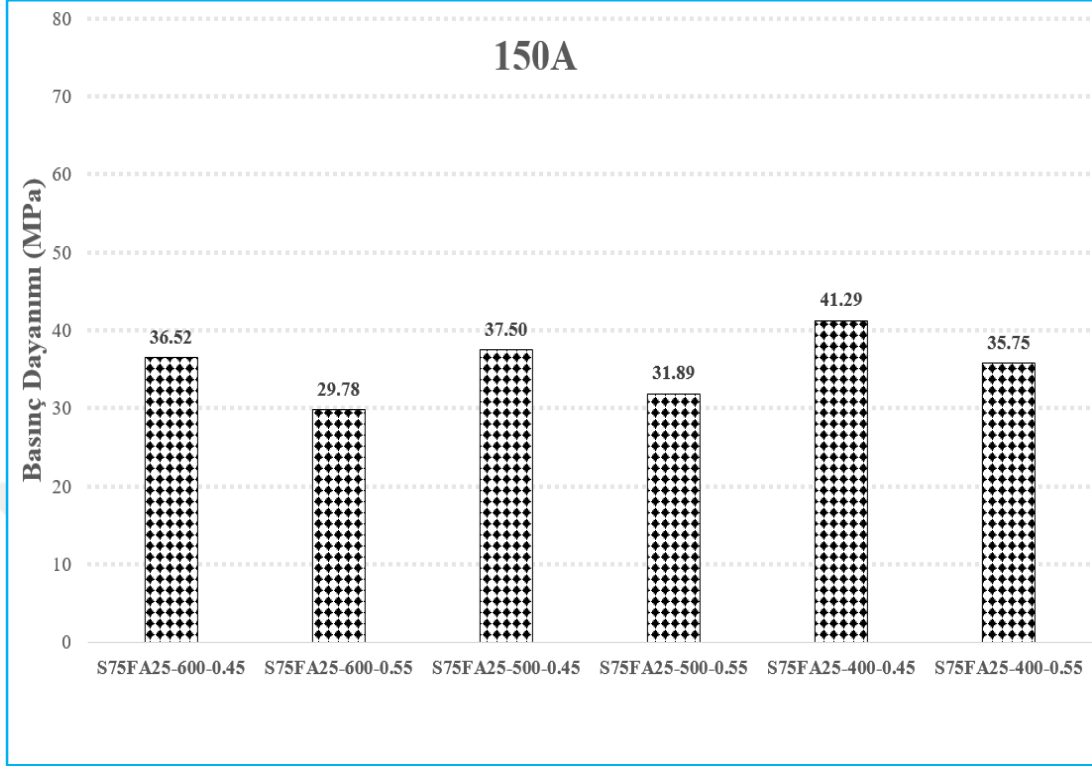
64.65 MPa bulunmuştur. 150.günde laboratuvar ortamında en yüksek basınç dayanımını S75FA25-400-0.45 AAEB numuneleri verirken, en düşük basınç dayanımını ise S75FA25-600-0.55 AAEB numuneleri göstermiştir.



Şekil 4.8. S75FA25 AAEB Numunelerin Laboratuvar Ortamında 150.Gün Basınç Mukavemeti

Şekil 4.9 S75FA25 AAEB (alkali aktive edilmiş beton) numunelerinin 5% sülfürik asit ortamında 150. gündeki basınç mukavemetlerini göstermektedir. 600 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 36.52 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 29.78 MPa bulunmuştur. 500 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 37.50 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 31.89 MPa bulunmuştur. 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımı 41.29 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç dayanımıysa 35.75 MPa bulunmuştur. 150.günde 5% sülfürik asit etkisine maruz kalan AAEB numunelerinde en yüksek basınç dayanımını S75FA25-400-0.45 AAEB numuneleri

verirken, en düşük basınç dayanımını ise S75FA25-600-0.55 AAEB numuneleri göstermiştir.



Şekil 4.9. S75FA25 AAEB Numunelerin Sülfürik Asit Ortamında 150.Gün Basınç Mukavemeti

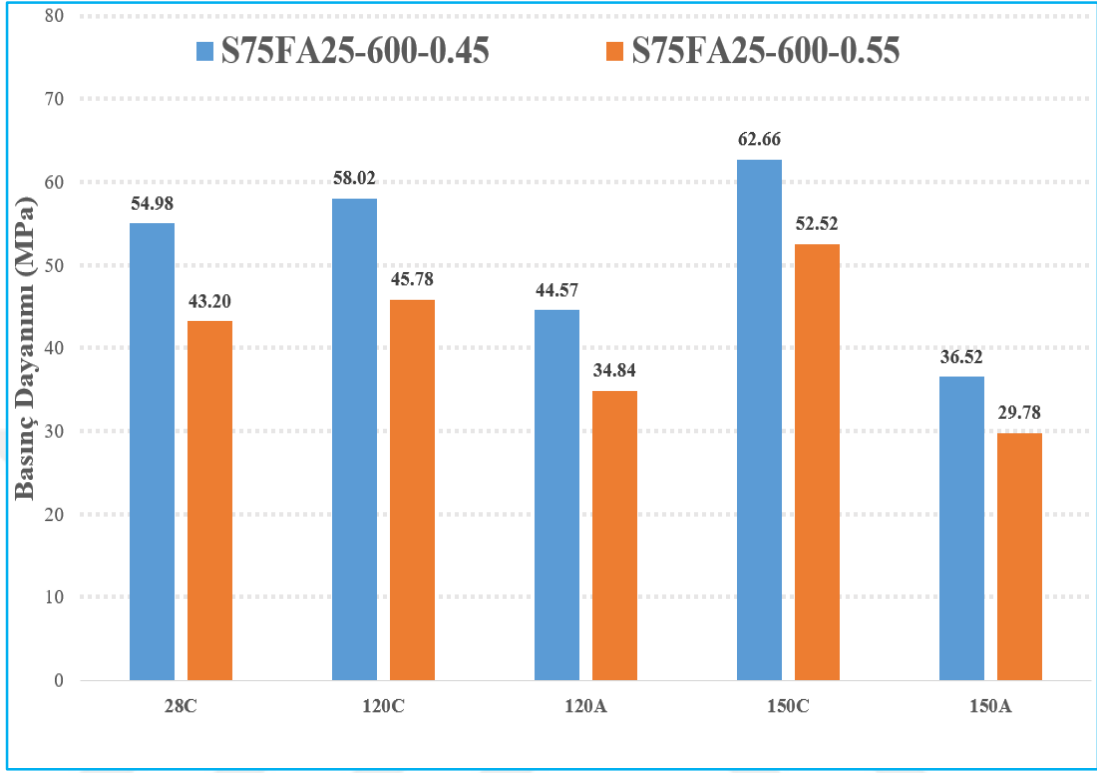
Laboratuvarda kürlenmiş AAEB numunelerinin basınç mukavemetleri değerleri incelendiğinde, aynı bağlayıcı miktarına sahip AAEB numunelerde alkali aktivatör/bağlayıcı oranının azalması basınç mukavemetinin artmasını sağlamaktadır. Bütün AAEB numunelerde 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı AAEB numunelerinin basınç mukavemetleri 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı AAEB numunelerine nazaran daha yüksektir. Bunun yanı sıra bağlayıcı miktarının artması AAEB numunelerin basınç mukavemetlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bunun sebebi ise karışıma konulan ilave su miktarıyla açıklanabilir. Bütün karışımların S4 kıvamına sahip olması için karışım içine bağlayıcı miktarının (kg) %7.5 oranında ilave su eklenmiştir. Bu ilave su alkali aktivatörlerdeki sodyum hidroksit molaritesinin azalmasına sebep olmuş olabilir. Bunun sonucu olarak ise basınç mukavemetinde azalmaya sebep olmuş olabilir. Diğer farklı bir neden olarak ise geopolimerizasyona uğramayan düşük kalsiyum içerikli uçucu küllerden kaynaklanabilir.

%5 sülfürik asit ortamında tutulan AAEB numunelerinde ise zamanla dayanımlarda kayıp meydana gelmiştir. Laboratuvar ortamında tutulan beton basınç dayanım sonuçlarına benzer olarak bağlayıcı miktarının düşmesiyle AAEB betonların basınç dayanımı artmıştır. Bunun sebebi olarak ise 600 kg/m^3 betonlarda daha fazla yüksek fırın cürufu bulunmasından dolayı kaynaklanabilir. Çünkü yüksek fırın cürufu içerisindeki yüksek CaO miktarının daha fazla olması sebebiyle sülfürik asidin (H_2SO_4) reaksiyonu sonucu kalsiyum sülfat oluşturmasından kaynaklanmaktadır. 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerinin basınç mukavemetleri 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerinden daha yüksektir. Bu da geleneksel Portland çimentolu betonlarda olduğu gibi alkali/bağlayıcı oranının artmasıyla alkalilerdeki serbest su miktarının artması basınç dayanımında azalmaya sebep olmaktadır.

Şekil 4.10 - 4.15'lerde değişik bağlayıcı miktarına ve alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerin 28., 120. ve 150. günde laboratuvar ortamında tutulan AAEB numuneler sırasıyla 28C, 120C ve 150C ile gösterilirken, 120. ve 150. günlerde 5% sülfürik asite maruz bırakılmış AAEB numunelerse 120A ve 150A ile gösterilmektedir.

Şekil 4.10'da 150 kg/m^3 F tipi uçucu kül ile 450 kg/m^3 yüksek fırın cürufu AAEB (S75FA25-600) numunelerinin 28., 120. ve 150. günde laboratuvar ortamında (28C,120C,150C) ve 120. ve 150. günde asit ortamında (120A, 150A) basınç mukavemetleri değerleri gösterilmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 28 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 54.98 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 43.20 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 120 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 58.02 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 45.78 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 120 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 44.57 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 34.84 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 150 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 62.66 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 52.52 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu

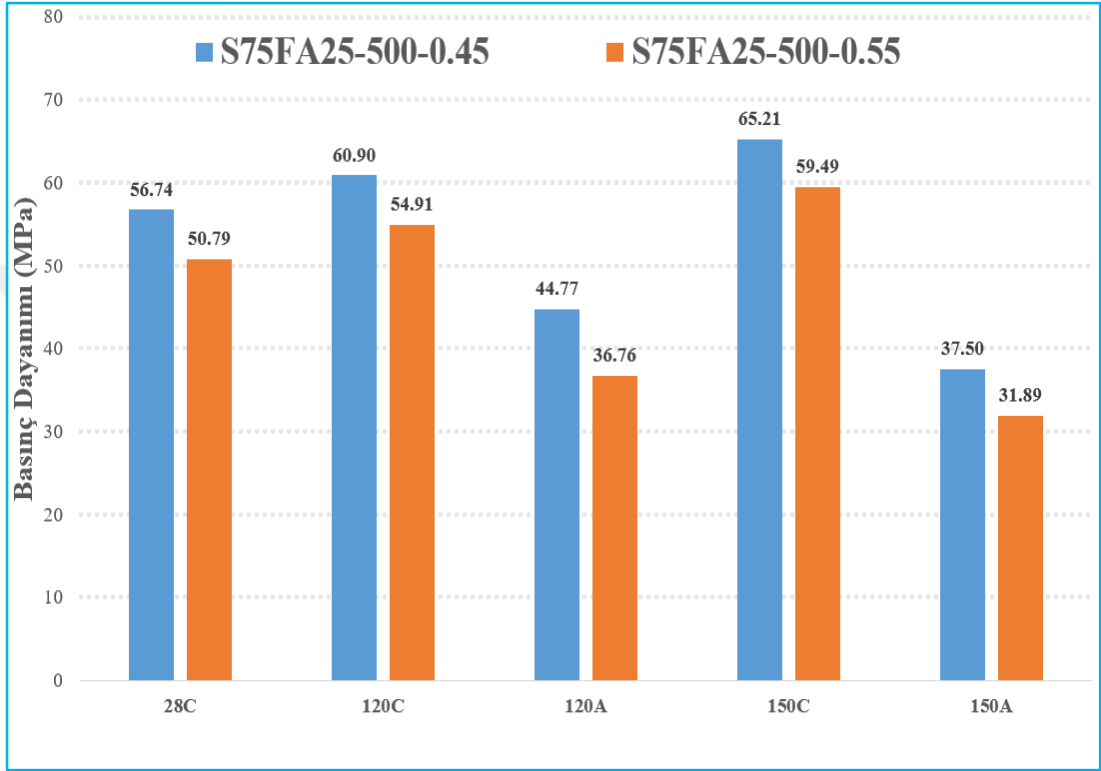
AAEB numunelerinin 150 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 36.52 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 29.78 MPa bulunmuştur.



Şekil 4.10. 600 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.11’de 125 kg/m³ F tipi uçucu kül ile 375 kg/m³ yüksek fırın cürufllu AAEB (S75FA25-500) numunelerinin 28., 120. ve 150. günde laboratuvar ortamında (28C,120C,150C) ve 120. ve 150. günde asit ortamında (120A, 150A) basınç mukavemetleri değerleri gösterilmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 28 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 56.74 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 50.79 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 120 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 60.90 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 54.91 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 120 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 44.77 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 36.76 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu

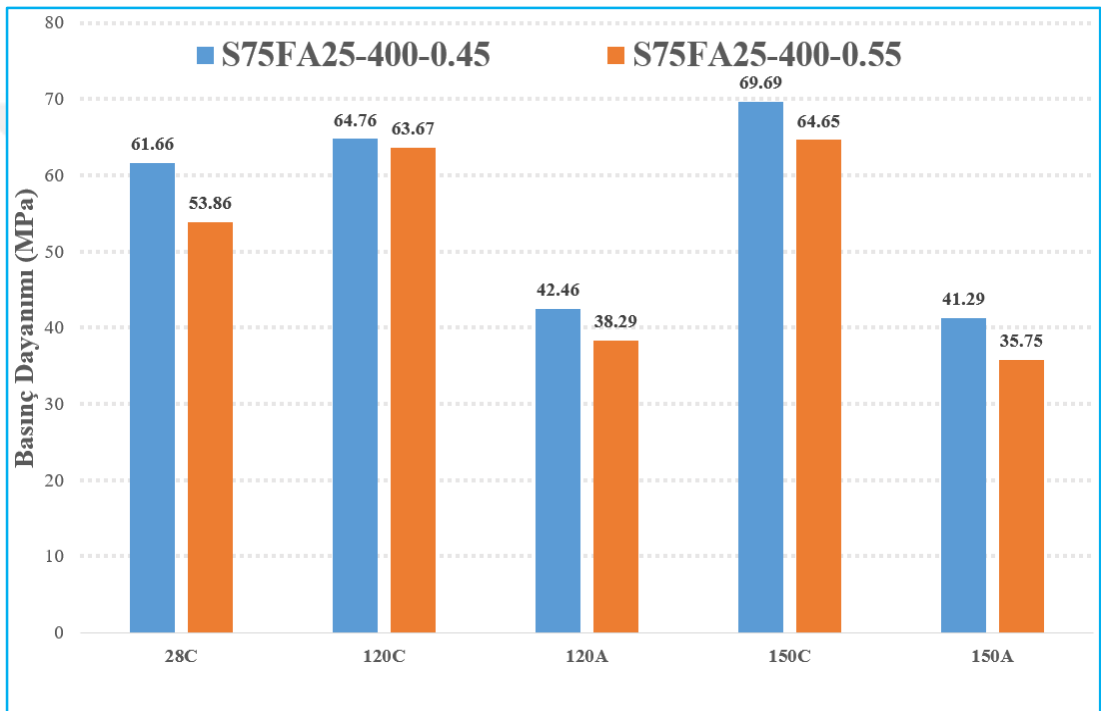
AAEB numunelerinin 150 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 65.21 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 59.49 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 150 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 37.50 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 31.89 MPa bulunmuştur.



Şekil 4.11. 500 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.12’de 100 kg/m³ F tipi uçucu kül ile 300 kg/m³ yüksek fırın cürufllu AAEB (S75FA25-400) numunelerinin 28., 120. ve 150. günde laboratuvar ortamında (28C,120C,150C) ve 120. ve 150. günde asit ortamında (120A, 150A) basınç mukavemetleri değerleri gösterilmiştir. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 28 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 61.66 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 53.86 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 120 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 64.76 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 63.67 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu

AAEB numunelerinin 120 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 42.46 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 38.29 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 150 gün laboratuvar ortamında basınç mukavemeti 69.69 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 64.65 MPa bulunmuştur. Alkali aktivatör/bağlayıcı oranının 0.45 olduğu AAEB numunelerinin 150 gün 5% sülfürik asit ortamında basınç mukavemeti 41.29 MPa, 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranına sahip AAEB numunelerinin ise basınç mukavemeti 35.75 MPa bulunmuştur.



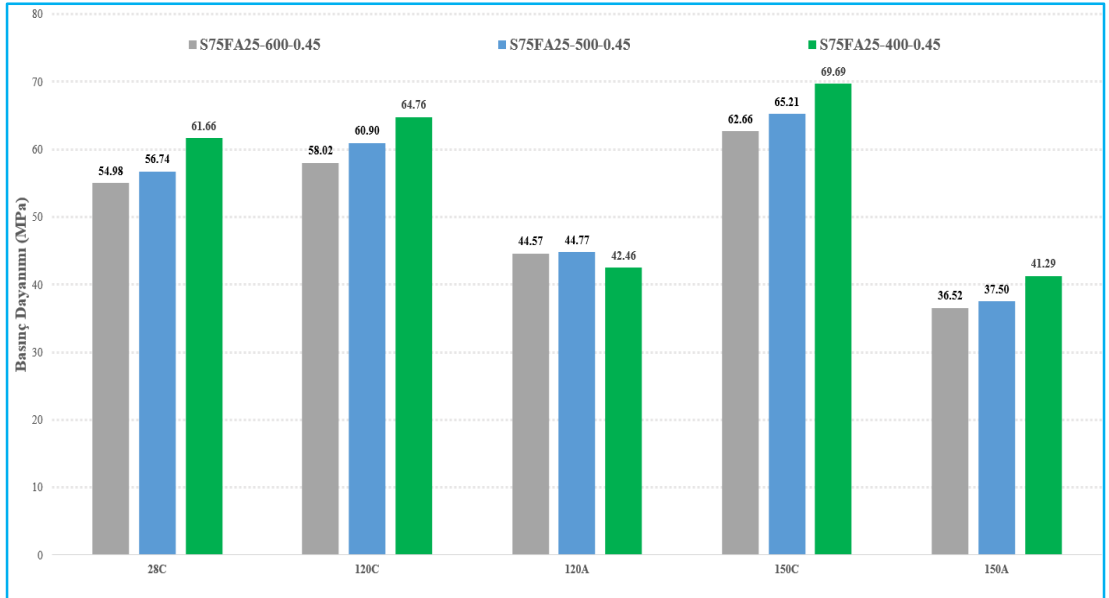
Şekil 4.12. 400 kg/m³ Bağlayıcıya Sahip S75FA25 AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.13’de 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemetleri MPa birimi kullanılarak verilmiştir. 28. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 54.98 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 56.74 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 61.66 MPa bulunmuştur.

120. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 58.02 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25

AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 60.90 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 64.76 MPa bulunmuştur. 120. günde 5% sülfürik asit ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 44.57 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 44.77 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 42.66 MPa bulunmuştur.

150. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 62.66 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 65.21 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 69.69 MPa bulunmuştur. 150. günde 5% sülfürik asit ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 36.52 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 37.59 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 41.29 MPa bulunmuştur. 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerin içerisinde en yüksek dayanıma 150 günlük kontrol ortamdaki S75FA25-400-0.45 betonlardan elde edilirken, en düşük dayanım ise 150 günlük asit ortamındaki S75FA25-600-0.45 AAEB numunelerde görülmüştür.

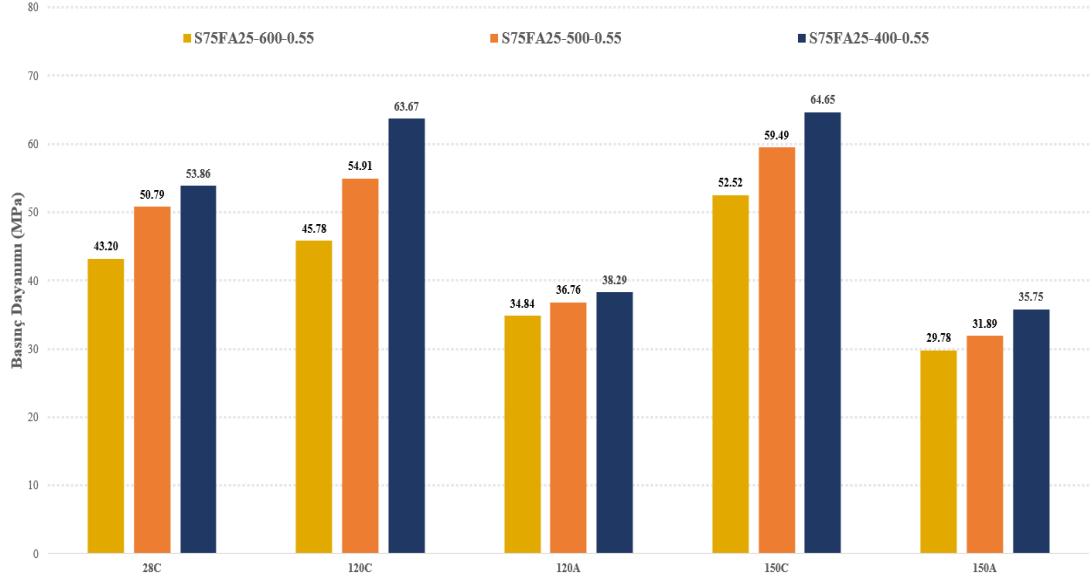


Şekil 4.13. 0.45 Alkali Aktivatör/Bağlayıcılı AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.14'de 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemetleri MPa birimi kullanılarak verilmiştir. 28. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 43.20 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 50.79 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 53.86 MPa bulunmuştur.

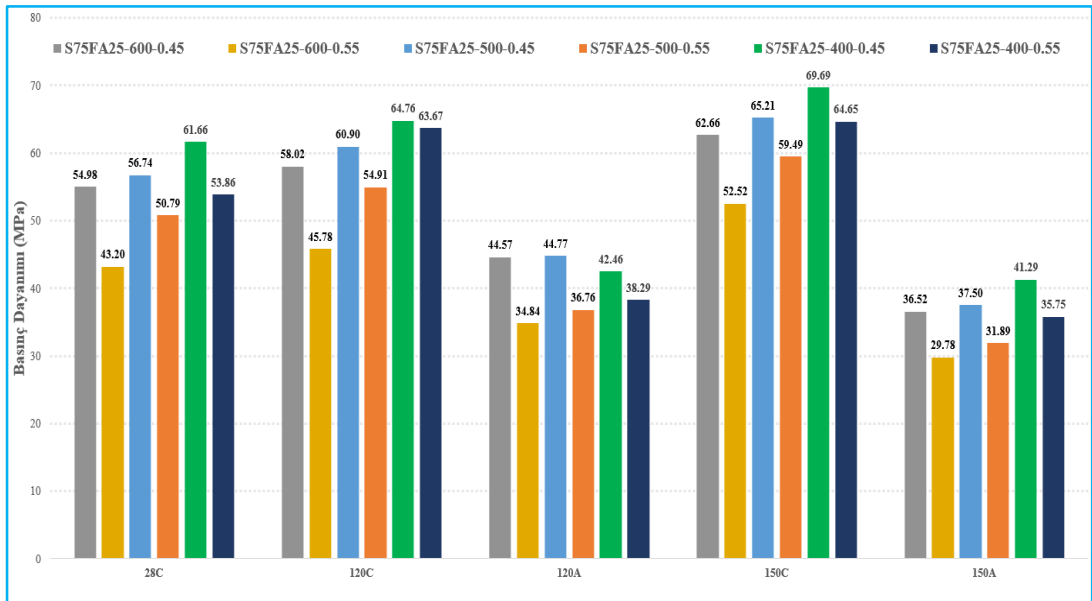
120. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 45.78 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 54.91 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 63.67 MPa bulunmuştur. 120. günde 5% sülfürik asit ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 34.84 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 36.76 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 38.29 MPa bulunmuştur.

150. günde laboratuvar ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 52.52 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 59.49 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 64.65 MPa bulunmuştur. 150. günde 5% sülfürik asit ortamında 600 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 29.78 MPa, 500 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 31.89 MPa, 400 kg/m³ bağlayıcıya sahip S75FA25 AAEB numunelerinin basınç mukavemeti 35.75 MPa bulunmuştur. 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerin içerisinde en yüksek dayanıma 150 günlük kontrol ortamdaki S75FA25-400-0.55 betonlardan elde edilirken, en düşük dayanım ise 150 günlük asit ortamındaki S75FA25-600-0.55 AAEB numunelerde görülmüştür.



Şekil 4.14. 0.55 Alkali Aktivatör/Bağlayıcı AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

Şekil 4.15’de ise tüm AAEB numunelerinin değişik ortamda basınç mukavemetleri verilmiştir. Sonuçlara göre, en fazla basınç mukavemeti 150 gün laboratuvar ortamında bekletilen 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı ve 400 kg/m^3 bağlayıcıya sahip AAEB numunelerinde 69.69 MPa çıkmıştır. En düşük basınç mukavemetine sahip AAEB numuneleri ise 150 gün asite maruz kalan 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı ve 600 kg/m^3 toplam bağlayıcıya sahip AAEB numunelerde 29.78 MPa bulunmuştur.



Şekil 4.15. Tüm AAEB Numunelerin Basınç Mukavemetleri

SONUÇLAR

Yapılan tez kapsamında %75 yüksek fırın cürufu ile %25 F tipi uçucu külle üretilmiş AAEB numunelerinin mekanik dayanımı ve kimyasal durabilitesi araştırılmıştır. Bu hedefle, 400, 500 ve 600 kg/m³ bağlayıcı miktarlarına ve 0.55 ile 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcı oranlarına sahip alkali aktive edilmiş beton (AAEB) numuneleri laboratuvar (kontrol) ve %5 sülfürik asit ortamlarında 120. ve 150. günlere kadar bekletilip, görsel inceleme, ağırlık değişimi ve basınç dayanımı değişimi incelenmiştir. Elde edilen AAEB numune sonuçlarına göre;

- Görsel inceleme sonuçlarına göre, yüzeylerinde gerçekleşen bozulmanın asite maruz kalma zamanına bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bağlayıcı miktarının artmasıyla veya azalmasıyla yüzey bozulması ilişkilendirilememiştir. En çok yüzey bozulması 500 kg/m³ bağlayıcılı numunelerde görülmüştür. Alkali aktivatör/bağlayıcı miktarı oranı olarak 0.55 olan numunelerde oluşan yüzey bozulması 0.45'den daha fazladır.
- Ağırlıklar incelendiğinde, asite maruz kalan numunelerde ilk önce asit emilimi dolayısıyla ağırlık artışı gerçekleşmiş, daha sonra da bazı numunelerde parça dökülmelerinden ötürü ağırlık kaybı olurken bazılarında ise asit emiliminden dolayı ağırlık artışı zamanla devam etmiştir. Kontrol ortamında zamanla meydana gelen ağırlık kaybı ise beton hacmindeki su kaybından ve devam eden alkali aktivasyon reaksiyonlarından kaynaklanmaktadır.
- Laboratuvar (kontrol) ortamında tutulan benzer bağlayıcı miktarlı AAEB numunelerinde alkali aktivatör/bağlayıcı oranı azaldıkça basınç mukavemeti artmıştır. Bütün AAEB numunelerinde 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip numunelerin basınç mukavemeti 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcıya göre daha fazladır.
- Laboratuvarda kürlenmiş AAEB numunelerinde basınç mukavemeti bağlayıcı miktarının artmasıyla beraber düşmektedir. Bunun nedeni ise bağlayıcının artmasıyla karışımdaki ilave su miktarının artışıyla açıklanabilir. Kontrol ortamında maksimum basınç mukavemeti 400 kg/m³ bağlayıcıya ve 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerinde gerçekleşirken, minimum basınç mukavemetiyse 600 kg/m³ bağlayıcı ve 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcı oranı olan AAEB numunelerde gerçekleşmiştir.

- %5 sülfürik asit ortamında, laboratuvar ortam sonuçlarına benzer şekilde bağlayıcı miktarının düşmesiyle asite maruz AAEB numunelerin basınç dayanımı artmıştır. Bunun sebebi olarak ise 600 kg/m³ betonlarda daha fazla yüksek fırın cürufu olmasından dolayı kaynaklanmaktadır.
- 0.45 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerin asit durabilitesi 0.55 alkali aktivatör/bağlayıcıya sahip AAEB numunelerin asit durabilitesinden daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



KAYNAKÇA

- Akman, M.S. ve Taşdemir, M.A.(1977). Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu, I. Ulusal Perlit Kongresi, Ankara, 20-22 Aralık,40-48.
- Arslantürk, C. (2007). Uzun süre karıştırmaya maruz uçucu kül ve silis dumanlı betonlarda süper akışkanlaştırıcı ile kıvam iyileştirilmesi.Doctoral dissertation, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bhagath Singh, G.V. ve Subramaniam, K. V.(2019).Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste,Journal of Cleaner Production, 239,118024
- Bignozzi, M. C., Manzi, S., Natali, M. E., Rickard, W. D., & Van Riessen, A. (2014). Room Temperature Alkali Activation of Fly Ash: The Effect of Na₂O/SiO₂ Ratio. Construction and Building Materials, 69, 262-270.
- Bignozzi, M.C., Manzi, S., Natali, M.E., Rickard, W.D.A., Riessen, A. (2014). Room temperature alkali activation of fly ash: The effect of Na₂O/SiO₂ ratio. Const. Build. Mater,69, 262-270.
- Bilgen, G., Kavak, A., Yıldırım, S.T. ve Çapar, Ö.F.(2010). Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi, 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi Bildirileri,1,506-513.
- Çevik, M. (1993). Yüksek Fırın Cüruf ve Uçucu Külden Taşıyıcı Hafif Agrega Üretimi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı Senpozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları,235-242.
- Duran Atis, C., Bilim, C., Çelik, Ö. ve Karahan, O.(2009). Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar. Constr. Build. Mater, 23,548–555.
- Duxson, P., Provis J. L., Lukey, G. C., Mallicoat, S. W., Kriven, W. M. ve Deventer, J. S. J. (2005). Understanding The Relationship Between Geopolymer Composition, Microstructure And Mechanical Properties, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 269, 47-58.
- Embong, R., Kusbiantoro, A., S-hafiq, N. ve Nuruddin, M. F.(2016). Strength and microstructural properties of fly ash based geopolymer concrete containing highcalcium and water-absorptive aggregate, Journal of Cleaner Production, 112,816822,
- Erdoğan, S. T. (2014). Are geopolymers environmentally friendly? Materials of Construction Laboratory, METU Department of Civil Engineering, Ankara. Cement Concrete World, 107, 32–44.
- Erdoğan, T. Y. (2013). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 757,11

- Erdoğan, T. Y.(1995). Betonun Oluşturan Malzemeler,Karışım ve Bakım Suları, Agregalar, Çimentolar,ODTÜ, Ankara
- Erdoğan, T.(2003). Beton, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara,1,12
- Erdoğan,Ş. ve Kurbetçi, Ş.(2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426,115-120.
- <http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/agrega/> (erişim tarihi 16.09.2016)
- Huseien, G.F., Ismail, M., Khalid, N.H.A., Hussin, M.W. ve Mirza, J. (2018). Compressive Strength and Microstructure of Assorted Wastes Incorporated Geopolymer Mortars: Effect of Solution Molarity. Alexandria Engineering Journal, 57(4), 3375-3386.
- İlçentapar, S.(2013). Kimyasal Katkı İçeren Alkali İle Active Edilmiş Cüruf Harçlarının Farklı Kür Koşulları Altındaki Özellikleri, Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Junaid, M.T., Kayali, O., Khennane, A. ve Black, J.(2015).A mix design procedure for low calcium alkali activated fly ash-based concretes,79, 301-310.
- Komnitsas, K.A. (2011). Potential of geopolymer technology towards green buildings and sustainable cities. Procedia Engineering, 21, 1023-1032.
- Krizan, D. ve Zivanovic, B.(2002). Effects of dosage and modulus of water glass on early hydration of alkali–slag cements. Cement and concrete research, 32, 1181-1188.
- Logesh Kumar, M. ve Revathi, V.(2016). Metakaolin bottom ash blend geopolymer mortar - A feasibility study. Construction and Building Materials, 114, 1–5.
- Luukkonen, T., Sarkkinen, M., Kempainen, K. ve Lassi, J. R.U.(2016).Metakaolin geopolymer characterization and application for ammonium removal from model solutions and landfill leachate, Applied Clay Science ,119,266–276.
- Mehta, P.K. ve Monteiro, J.M.P.(2006). Concrete, Microstructure-Properties and Materials, Mc Graw Hill,3.
- Mendes, A., Sanjayan, J. ve Collins, F.(2008).Phase Transformations and Mechanical Strength of OPC/Slag Pastes Submitted to High Temperatures, Materials and Structures,41,345-350.
- Neville, A.M.(1975). Properties of Concrete, Pitmann Publishing, London
- Omer, S. A., Demirboga, R. ve Khushefati, W. H. (2015).Relationship between Compressive Strength and UPV of GGBFS Based Geopolymer Mortars Exposed to Elevated Temperatures. Construction and Building Materials, 94, 189-195.

- Orhun, M., Günday, F., Özden, N. ve Atbas, M.(1970).The Use of Fly Ash in Turkey For Cement and Cement Products", Europe Committe on Eletric Power, Symposium on The Use of Fly Ash,2.
- Ozer, I. ve Soyer-Uzun, S.(2015).Relations between the structural characteristics and compressive strength in metakaolin based geopolymers with different molar Si/Al ratios. *Ceramics International*, 41, 10192–10198.
- Özkul, H., Taşdemir, M. A., Tokyay, M. ve Uyan, M.(2004). Her Yönüyle Beton, Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Postacıoğlu, B.(1986).Bağlayıcı Maddeler,1.
- Simşek, O.(2004). Beton ve Beton Teknolojisi.
- Soner, T.O.P. ve Vapur, H. Artık malzemelerden Box Behnken test dizaynı kullanılarak hafif geopolimer beton üretimi,11, 689-700.
- Subaşı, S., İşbilir, B. ve Ercan, İ. (2011). Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi,14,141-148.
- Şengül, Ö., Taşdemir, C. ve Taşdemir, M.A.(2002).Influence of Aggregate Type on the Mechanical Behavior of Normal and High Strength Concretes, *ACI Materials Journal*,6, 528-533.
- Tang, W.C. ve Lo, T.Y.(2009).Mechanical and Fracture Properties Normal and High-Strength Concretes with Fly Ash after Exposure to High Temperatures,61,323-330.
- Topçu, İ.B. ve Canbaz, M.(2001).Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, *Osmangazi*,14,2.
- TS 4834(1986).Beton ile İlgili Terimler T.S.E.
- Türker, P., Erdoğan, B., Kantaş, F. ve Yeğınobalı, A.(2007).Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar – Ge*.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A.(2009).Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri,17-42.
- Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği,Çimento Bülteni.(1982).Cüruflu Çimentoların Mikroyapısı, 178,20-30.
- Usman, G., Faisal, S. ve Kamran Muzaffar, K.(2006).Effect of temperature on different properties of concrete,Article Online Id: 100031018.
- Wang, J.,Dai Y. ve Gao, L.(2009).Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry,*Applied Energy*, 6, 941-948.

Xu, H. ve Deventer, J. S. J. (2000). The Geopolymerisation Of Alumino-Silicate Minerals, Int. J. Miner. Process,59, 247-266.

Yalçın, H. ve Gürü M.(2006).Çimento ve beton.

Yaragal, S. C. ve Basavana Gowda, S. N. ve Rajasekaran, C. (2019). Characterization and performance of processed lateritic fine aggregates in cement mortars and concretes. Construction and Building Materials, 200, 10–25. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.072>

Yeğınobalı, A.(2003).Çimentoda yeni standartlar ve mineral katkıları, 426,56-6



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : OLCAY,Sebahattin

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri :

Telefon :

Faks :

e-mail :

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İST.GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ	2021
Lisans	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ	2002
Lise	VAN SERHAT LİSESİ	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2009	İSTANBUL	ŞANTIYE ŞEFİ
2009-DEVAM	İSTANBUL	KENDİ İŞİM

Yabancı Dil

İNGİLİZCE(Orta Düzeyde)

Hobiler

Futbol,Gezmek