



**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cebrail KAPLAN

**SÜLFÜRİK ASİTİN ÖĞÜTÜLMÜŞ
PROFİLLİT TOZU VE YÜKSEK FIRIN
CÜRUFU KATKILI HARÇLAR ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2020

**T.C.
OSMANİYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SÜLFÜRİK ASİTİN ÖĞÜTÜLMÜŞ PROFİLLİT TOZU VE
YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI HARÇLAR ÜZERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**



Cebrail KAPLAN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
TEMMUZ-2020**

TEZ ONAYI

SÜLFÜRİK ASİTİN ÖĞÜTÜLMÜŞ PROFİLLİT TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI HARÇLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Cebrail KAPLAN tarafından Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ümit YURT
İnşaat Teknolojisi Anabilim Dalı, DÜ

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şahin Tolga GÜVEL
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma OKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: OKÜBAP-2019-PT3-023

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Cebrail KAPLAN



ÖZET

SÜLFÜRİK ASİTİN ÖĞÜTÜLMÜŞ PROFİLLİT TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI HARÇLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Cebrail KAPLAN
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR

Temmuz 2020, 72 sayfa

Mineral katkıları, çimento esaslı kompozitlerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek ve çimento kullanımını azaltmak için tercih edilmektedir. Çimento esaslı kompozitlerin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi ile mühendislik yapılarının daha sağlam ve uzun ömürlü hale getirilmesi mümkün kılınmaktadır. Çimento kullanımının azaltılması ile de, çevre kirliliğinin ve çimento üretimi esnasındaki yüksek maliyetin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında, çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında ikame yoluyla kullanılan Öğütülmüş Profillit Tozu (ÖPT) ve Yüksek Fırın Cürufu (YFC) malzemelerinin, harçların mekanik ve fiziksel özellikleri ile Sülfürik Asit (SA) dirençleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Harç numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak CEM I 42.5/R tipi Portland Çimentosu (PÇ), agrega olarak 0-4 mm boyutlarında kırma kum kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında 40x40x160 mm boyutlarında üretilen mineral katkılı ve katkısız harçların; eğilme ve basınç dayanımları, ultrases geçiş hızları, kapiler su emme katsayıları, su emme ve porozite değerleri ile SA etkisindeki ağırlık ve dayanım kaybı değerleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler doğrultusunda ÖPT'nin mineral katkı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir. ÖPT kullanılarak üretilen harç numunelerinin SA saldırılarına karşı katkısız ve YFC katkılı harçlara göre daha yüksek direnç gösterdiği, ağırlık kayıplarını %21 oranına kadar ve basınç dayanımı kayıplarını %30'a kadar düşürdüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit Direnci, Mineral Katkı, Öğütülmüş Profillit Tozu, Yüksek Fırın Cürufu

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFURIC ACID ON GROUND PYROPHYLLITE POWDER AND BLAST FURNACE SLAG ADDED MORTARS

Cebrail KAPLAN
M.Sc., Department of Civil Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Behçet DÜNDAR

July 2020, 72 pages

Mineral additives are preferred to improve the physical, mechanical and durability properties of cement-based composites and to reduce the use of cement. By improving the physical, mechanical and durability properties of cement-based composites, it is possible to make engineering structures more durable and long-lasting. Reducing the use of cement ensures the prevention of environmental pollution and high cement production costs. Within the scope of this study, the effects of ground pyrophyllite powder (GPP) and blast furnace slag (BFS) materials used with, 5%, 10% and 15% by weight substitution with cement on mechanical and physical properties and sulfuric acid (SA) resistance of the mortars were investigated. In the production of mortar samples, CEM I 42.5/R type Portland cement was used as binder and 0-4 mm crushed sand was used as aggregate. The flexural and compressive strengths, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption coefficients, water absorption and porosity values of mineral added and unadulterated mortars that produced in laboratory with dimensions of 40x40x160 mm and their weight and strength loss values due to SA effect were investigated comparatively. According to the data obtained as a result of experimental studies, it has been determined that GPP can be used as mineral additive. It has been determined that the mortar samples produced by using GPP have higher resistance to sulfuric acid attacks than unadulterated and BFS added mortars, reduce weight losses by up to 21% and compressive strength losses by up to 30%.

Key Words: Acid Resistance, Mineral Additive, Ground Pyrophyllite Powder, Blast Furnace Slag



Çok kıymetli aileme...

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez çalışmamın yürütülmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Behçet DÜNDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecindeki yardım ve desteklerinden dolayı Arş. Gör. Emriye ÇINAR'a, İnşaat Mühendisi Ebru ŞAHİN'e, İnşaat Mühendisi Muhammet Onur SEFER'e, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne ait Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda görev yapan Tekniker Ramazan KAYA'ya ve İnşaat Mühendisliği Lisans öğrencisi Furkan İŞÇİ'ye teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını OKÜBAP-2019-PT3-023 numaralı proje ile destekleyen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca bölümdeki çalışmalarım süresince beni destekleyen diğer bölüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak çalışma sürecimde her zaman yanımda olup, maddi ve manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen kıymetli aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İTHAF SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM	11
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	11
3.1.1 Çimento.....	11
3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu	12
3.1.3 Öğütülmüş Profilit Tozu	13
3.1.4 Agregası.....	15
3.1.5 Karışım Suyu	15
3.1.6 Sülfürik Asit.....	15
3.2 Yöntem	16
3.2.1 ÖPT ve YFC'nin Karışım Oranlarının Belirlenmesi.....	17
3.2.2 ÖPT ve YFC Katkılı Harçların Hazırlanması	17
3.2.3 Harçların Kürlenmesi.....	19
3.2.4 Asit Çözeltilerinin Hazırlanması.....	20
3.2.5 Deneyisel Çalışmalar	21
3.2.5.1 Yayılma Tablası Deneyi.....	22
3.2.5.2 Su Emme ve Porozite Deneyi.....	23
3.2.5.3 Kapiler Su Emme Deneyi.....	25
3.2.5.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	26
3.2.5.5 Harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı deneyi.....	27
3.2.5.6 Asit Etkisiyle Ağırlık ve Dayanım Kaybı Deneyleri.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME.....	31
4.1 Pozolanik Aktivite İndeksinin Belirlenmesi	31

4.2	ÖPT Deneme Dökümlerine Ait Bulgular	31
4.3	Yayılma Değerleri	32
4.4	Su Emme ve Porozite Değerleri.....	34
4.5	Kapiler Su Emme Katsayıları	38
4.6	Ultrases Geçiş Hızı Değerleri	40
4.7	Eğilme ve Basınç Dayanımı Değerleri	43
4.8	Asit Etkisiyle Fiziksel Özelliklerin Değişimi	47
4.9	Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Değerleri	54
4.10	Asit Etkisiyle Dayanım Kaybı Değerleri	55
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
5.1	Sonuçlar.....	60
5.2	Öneriler.....	63
	KAYNAKLAR	64
	ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi.....	12
Çizelge 3.2. YFC'nin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları	13
Çizelge 3.3. ÖPT'nin kimyasal ve fiziksel analizi	14
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan sülfürik aside ait özellikler	16
Çizelge 3.5. Harç karışımları için gerekli malzeme miktarları (gr)	18
Çizelge 3.6. Asit çözeltilerinin hazırlanması için gerekli malzeme miktarları	21
Çizelge 3.7. Harç numunelerine uygulanan deneyler	22



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Halkalı öğütücü.....	14
Şekil 3.2. Öğütülmüş Profillit Tozu	14
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan sülfürik asit.....	16
Şekil 3.4. Sarsma cihazı deney aleti.....	19
Şekil 3.5. Üç gözlü çelik kalıba yerleştirilmiş harç	19
Şekil 3.6. Standart kür havuzunda kür uygulanan numuneler	20
Şekil 3.7. Yayılma tablası deney düzeneği	23
Şekil 3.8. Su emme ve porozite deney düzeneği.....	24
Şekil 3.9. Kapiler su emme deneyi	25
Şekil 3.10. Ultrases deney düzeneği	26
Şekil 3.11. Harç numuneleri için dayanım deney cihazı.....	28
Şekil 3.12. Eğilme dayanımı deneyi uygulanan harç numunesi	28
Şekil 3.13. Basınç dayanımı deneyi uygulanan harç numunesi	29
Şekil 3.14. Sülfürik asit çözeltileri içerisindeki harç numuneleri	30
Şekil 4.1. Deneme dökümlerine ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri	32
Şekil 4.2. Taze halde belirlenen yayılma değerleri	33
Şekil 4.3. Harç numunelerinin porozite değerleri	35
Şekil 4.4. Harç numunelerinin su emme değerleri	37
Şekil 4.5. Su emme - porozite arasındaki ilişki.....	38
Şekil 4.6. Harç numunelerinin kapiler su emme katsayıları	40
Şekil 4.7. Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları.....	42
Şekil 4.8. Porozite- ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki	43
Şekil 4.9. Harç numunelerinin eğilme dayanımı değerleri	45
Şekil 4.10. Harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri	47
Şekil 4.11. 0.5 M çözeltideki numunelerin görsel değişimleri	48
Şekil 4.12. 1.0 M çözeltideki numunelerin görsel değişimleri	49
Şekil 4.13. 1.5 M çözeltideki numunelerin görsel değişimi.....	50
Şekil 4.14. Su emme değerlerinin asit etkisinde değişimi	52
Şekil 4.15. Porozite değerlerinin asit etkisinde değişimi	53
Şekil 4.16. Harç numunelerinin ağırlık kayıpları.....	55
Şekil 4.17. Numunelerin basınç dayanımı kayıpları	57

Şekil 4.18. ÖPT içeren numunelerin ağırlık kaybı - dayanım kaybı ilişkisi.....	58
Şekil 4.19. YFC içeren numunelerin ağırlık kaybı - dayanım kaybı ilişkisi.....	58



SİMGELER VE KISALTMALAR

Al_2O_3	Alüminyum Oksit
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
CaO	Kalsiyum Oksit (Sönmemiş Kireç)
Fe_2O_3	Demir (II) Oksit
H_2SO_4	Sülfürik Asit
HCl	Hidroklorik Asit
K_2O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
M	Molarite
Na_2CO_3	Sodyum Karbonat
Na_2O	Sodyum Oksit
NaOH	Sodyum Hidroksit
Na_2SiF_6	Sodyum Floro Silikat
Na_2SiO_3	Sodyum Silikat
ÖPT	Öğütülmüş Profillit Tozu
PÇ	Portland Çimentosu
SA	Sülfürik Asit
SiO_2	Silisyum Dioksit
SO_3	Kükürt Trioksit
TS	Türk Standartları
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

1. GİRİŞ

İnşaat sektörünün hızla gelişmesi, çimento esaslı kopmozitlerde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento üretiminin sürekli olarak artmasına neden olmaktadır. Bilindiği üzere çimento üretim süreci ciddi bir maliyet oluşturmakla birlikte fabrikaların açığa çıkardığı gazlar ve gürültü, çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu durum, araştırmacıları çimento yerine kullanılabilecek yeni mineral katkı arayışına itmektedir. Maliyet ve çevre problemlerinin yanı sıra, araştırmaların nedenleri arasında daha yüksek performansla sahip harçlar ve betonlar üretebilmek de önemli bir yer tutmaktadır. İnşaat sektöründe karşılaşılan bazı uygulamalarda yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlere ihtiyaç duyulabilmektedir. Mineral katkı kullanımı ile, su/bağlayıcı oranını düşürmek zorunda kalmadan ve yüksek maliyetli kimyasal kullanımı olmadan, yüksek mukavemet değerleri elde edebilmek amaçlanmaktadır (S.T. Erdoğan ve T.Y. Erdoğan, 2007).

İnşaat mühendisliği uygulamalarında en fazla kullanılan yapı malzemeleri arasında yer alan harçların ve betonların, yüksek mukavemet değerlerine ulaşması kadar yapısındaki bozulmalara karşı dayanıklı olması da büyük önem taşımaktadır. Yapı malzemelerinde dayanıklılık problemlerine neden olan bozulmalar; mekanik, fiziksel, biyolojik ve kimyasal kökenli bozulmalar olmak üzere farklı sınıflandırmalar ile incelenmektedir. Kimyasal bozulmalar, çimento esaslı kompozitlerin içeriğinden meydana gelebildiği gibi, dış etkenler yoluyla da oluşabilmektedir (Baradan, vd., 2010; Baradan ve Yazıcı, 2003).

Kimyasal bozulmalar, betonun hem yüzeyinde hem de içyapısında ciddi hasarlara neden olabilmektedir. Yüzeyde meydana gelen bozulmalar sonucunda geçirimli hale gelen beton, zararlı kimyasalların içyapısına nüfuz etmesiyle performans kaybına uğramaktadır. En sık karşılaşılan kimyasal etkenlerden biri asit saldırılarıdır. Çimento esaslı kompozitler organik veya inorganik asitleri içeren sıvılara maruz kalabilmekte ve bu durum dayanıklılık hususunda ana problemler arasında görülmektedir. Asit saldırıları, çimento esaslı kompozitlerin kalsiyum içeriği ile girdikleri reaksiyonlarda, iyon değişimi yoluyla kalsiyum tuzları oluştururlar. Kalsiyum tuzlarının çözünürlüklerine bağlı olarak çimento esaslı kompozitlerde

zaman içerisinde hasarlar oluşur. Kalsiyum tuzlarının çözünürlükleri arttıkça, reaksiyon hızı ve hasar miktarı artmaktadır. Asit saldırıları ile, çimento esaslı kompozitlerin bünyesinde yumuşama ve gözenekler oluşur. Hem yüzeyi hem de içyapıyı etkileyen asit saldırıları, C-S-H yapılarının bozulmasına da neden olarak harç ve betonların zamanla mukavemetlerini yitirmelerine neden olur (Baradan, vd., 2010; Bassuoni ve Nehdi, 2007; Basheer, vd., 1996; Zivica and Bajza, 2001; Beddoe and Dorner, 2005; ACI 201.2R-16, 2016).

Asidik ortamların oluşumuna genellikle yer altı sularında, tarımsal alanlarda, biyogaz tesislerinde, deniz suyunda ve kanalizasyon sistemlerinde karşılaşılmaktadır. Özellikle kanalizasyon ortamında ve asit yağmurlarının içeriğinde karşılaşılan SA, çimento esaslı kompozitlere karşı yüksek aşındırıcı etkiye sahiptir. SA saldırılarına maruz kalan çimento esaslı kompozitlerde, kalsiyum içeriği ile SA'nın reaksiyona girmesi sonucu alçı taşı oluşumları görülmektedir. Oluşan alçı taşı sulu ortamda kolayca çözülüp koparak kesit ve dayanım kayıplarına yol açmaktadır. Asit saldırıları önlenmediği sürece devam eden reaksiyonlar etrenjit oluşumuyla mikro yapıda genleşmelere, dolayısıyla çatlaklara neden olur. Bu nedenle asidik ortamlarda kullanılacak çimentolu kompozitlerde, SA saldırılarının neden olduğu temel bozulmaların önlenmesi gerekmektedir (Fan, vd., 2012; De Belie, vd., 2000; Bertron, vd., 2017; Grengg, vd., 2017).

Kimyasal etkenlere karşı alınabilecek önlemlerden biri geçirimsiz betonlar kullanmaktır. Asit saldırıları, harçlarda ve betonlarda yüzeyden başlamakta olan bozulmalara ve çözülmelere sebep olduğundan geçirimsiz beton kullanımı tek başına yeterli olmamaktadır. Asit saldırılarının etkisini en aza indirgeyebilmenin mantığı, yüzeyin korunmasına veya asidik ortama uygun harç bileşenleri kullanımına dayanmaktadır (C.L. Page ve M.M. Page, 2007; Baradan, vd., 2010; Alexander, vd., 2013; Koenig ve Dehn, 2016).

Bu çalışmada, SA'nın ÖPT ve YFC katkılı harçlar üzerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda ÖPT ve YFC, çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında ikame edilerek harç numuneleri üretilmiştir. Mekanik ve fiziksel özellikleri belirlemek için üretilen numuneler 7, 28, 56 ve 90 gün süre ile standart kür havuzunda 20 ± 2 °C su

içerisinde küre tabi tutulup, 7. günde yalnızca eğilme ve basınç dayanımları, 28, 56 ve 90. günlerde ise eğilme ve basınç dayanımları ile su emme değerleri, porozite değerleri, ultrases geçiş hızları ve kapiler su emme katsayıları tayin edilmiştir. SA etkisinin incelenmesi için 0.5, 1.0 ve 1.5 Molar derişime sahip SA çözeltileri hazırlanmıştır. Su küründe 28. gününü dolduran harç numuneleri hazırlanan asit çözeltilerine yerleştirilerek 7, 28, 56 ve 90. günlerde basınç dayanımı kaybı, ağırlık kaybı, su emme ve porozite değişimleri incelenmiştir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, ÖPT ve YFC kullanılarak, harçların mekanik ve fiziksel özellikleri ile asit etkisi altındaki ağırlık ve basınç dayanımı değerlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Bu nedenle tez çalışmasının bu kısmı, harçlarda mineral katkı kullanımının mekanik, fiziksel özelliklere etkisi ve asit saldırılarına maruz kalan harçlar üzerine yapılan çeşitli çalışmaları kapsamaktadır.

İnşaat mühendisliği uygulamalarında en fazla kullanılan yapı malzemeleri arasında yer alan harçların veya betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri, projelendirme ve uygulamada büyük önem arz etmektedir. Harçların göçme, ezilme veya kırılmaya karşı dayanma güçlerini ifade eden mekanik özelliklerine ve dayanıklılık özelliklerine doğrudan veya dolaylı biçimde etki eden fiziksel özellikler; bağlayıcı tipi, agrega cinsi ve boyutları, su/bağlayıcı oranı, işlenebilirlik, mineral ve kimyasal katkı çeşidi ve miktarı, ortam ve kür koşulları gibi birçok unsurdan etkilenmektedir. Dayanıklılık problemlerine yol açan, doğal yollarla veya atık malzemelerin girdiği reaksiyonlar sonucu oluşan asit içerikli ortamlar, harç ve beton gibi çimento esaslı kompozitlerde tahribatlar meydana getirmektedir. Yüzeyde başlayarak uzun vadede içyapıda da görülen asit etkisi, beton ve harçlarda çözülmelere, dolayısıyla çatlaklara, kırılma ve kopmalarla kesit kaybına ve dayanım kaybına neden olmaktadır. Statik açıdan daha sağlam ve servis ömrü uzun olan uygulamaları hayata geçirebilmek adına, bahsedilen özelliklerin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek dayanımlı, gözeneklilik oranı düşük, kapiler boşlukları az ve çeşitli çevresel etkilere karşı yüksek direnç gösterebilen harç ve betonların üretilmesi için mineral katkılar kullanılmaktadır. (S.T. Erdoğan ve T.Y. Erdoğan, 2007).

Topçu ve Canbaz (2008), harçlar üzerinde asit etkisini belirlemek için, çimento ile ağırlıkça %25, %50, %75 ve %100 oranlarında YFC ikame ederek ve YFC miktarının %1'i kadar kireç ekleyerek harç numuneleri üretmişlerdir. YFC'nin aktive edilmesi için NaOH, Na₂CO₃ ve Na₂SiO₃ alkalileri kullanılmıştır. SA çözeltisinde 56, 90 ve 250 günlük sürelerle bekletilen harç numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimler bağıl olarak hesaplanarak, YFC içeriklerine ve kullanılan

alkali çeşidine göre kıyaslanarak not edilmiştir. Birim ağırlık kayıpları incelendiğinde en olumlu sonuçlar alkali olarak NaOH ve Na₂CO₃'ün birlikte kullanıldığı %100 YFC içeren numunelerde görülmüştür. Basınç dayanımı açısından ise %100 YFC'nin NaOH ve Na₂SiO₃ ile aktive edildiği numuneler en olumlu sonuçları vermiştir. YFC içeriği %25 olan numunelerde en fazla birim ağırlık kayıpları görülmüştür. Alkali madde fark etmeksizin, YFC oranı arttıkça asit etkisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Düşük oranlarda aktive edilmiş YFC kullanımının asidik ortamlarda kötü etki oluşturduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Li, vd. (2009), yaptıkları çalışma ile SA etkisine maruz kalan harçların özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılmak üzere katkılı ve katkısız numuneler hazırlanmıştır. Geliştirilmiş numuneleri hazırlamak için kum, su ve çimentonun yanı sıra çözüdür cam, polivinil asetat, Na₂SiF₆, lignosülfonat ve tributil fosfat eklenmiştir. Ayrıca hem kontrol numunesi hem de geliştirilmiş numunede uçucu kül kullanılmıştır. SA etkisini gözlemleyebilmek için harç numuneleri, %1 SA çözeltisinde 5 yıl süre ile bekletilmiştir. SA çözeltisinde bekletildikten sonra numunelerin basınç dayanımlarındaki kayıplar tespit edilmiş, mikro yapıları incelenmiş ve gözeneklilik oranları ve gözenek boyutları belirlenmiştir. Deney sonuçlarında kontrol numunesinin asit etkisi sonrası gözeneklilik oranının %28.6, dayanım kaybının ise %50.6 daha yüksek olduğu görülmüştür. Geliştirilmiş harç numunesinde ise asit sonrası gözeneklilik %13.3, dayanım kaybı %27.4 daha az gözlemlenmiştir. Geliştirilmiş harç numunelerinin SA direncinin kontrol numunesinden daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Çağatay ve Özdemir (2009) yaptıkları çalışma kapsamında PÇ'ye ek olarak, YFC katkısı kullanarak 40x40x160 mm boyutlarında prizma harç numuneleri üretmişlerdir. Mineral katkı olarak YFC, PÇ ile ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30, %50 ve %75 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Artan YFC kullanımı ile erken yaşlardaki basınç dayanımının düştüğü, 28 gün ve daha sonraki yaşlarda ise %50 ve daha düşük oranlarda YFC kullanılan numunelerin kontrol numunesinin basınç dayanımı değerini yakaladığı veya geçtiği görülmektedir. Kullanılan katkı oranı %75 olduğunda ise, basınç dayanımı değeri 360 gün süre boyunca kontrol numunesinden daha düşük kalmıştır. Harç numunelerinin eğilme dayanımı

değerlerinde de basınç dayanımı değerlerine benzer sonuçlar gözlenmiştir. Mineral katkı olarak YFC kullanımının %5-%50 aralığında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Makhloufi, vd. (2014), harçların SA etkisine direncini araştırmak için kireçtaşı agrega ve farklı oranlarda üç mineral katkı (öğütülmüş kireçtaşı, doğal puzolan, YFC) içeren beş farklı bağlayıcı karışımı ile harç numuneleri üretmişlerdir. SA çözeltisinde bekletilen numunelerin 30, 60, 90, 120 ve 180. günlerde ağırlık ve dayanım kayıpları gözlemlenmiştir. Yalnızca kireçtaşı eklenmesinin numuneleri dayanıklılık yönünden kötü etkilediği görülmüştür. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre, üç mineral katkının birlikte kullanılmasının SA direncini olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.

Usman ve Sam (2017), yaptıkları çalışmada, palmiye yağı yakıt külü ve metakaolin içeren harç numuneleri kullanmışlardır. SA dirençleri incelenmek üzere sadece çimento kullanılan kontrol numuneleri, %20 oranında palmiye yağı yakıt külü ve çimento içeren ikili karışım numuneleri, %20 oranında metakaolin ve çimento içeren ikili karışım numuneleri, %10 oranında palmiye yağı yakıt külü, %10 oranında metakaolin ve çimento içeren üçlü karışım numuneleri üretilmiştir. SA çözeltisi %3 konsantrasyon olarak tercih edilip numuneler 30, 60, 90 ve 180 gün süreler ile asit saldırısına maruz bırakılmıştır. Ağırlık kaybı ve dayanım kaybı değerleri incelendiğinde üçlü karışımın, kontrol numunesinden ve palmiye yağı yakıt külü ve çimento içeren ikili karışımdan daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Bu bulgular neticesinde palmiye yağı yakıt külü, metakaolin ve çimento içeren üçlü karışımın asidik ortamlardaki dayanıklılığı arttıracığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zhuang, vd. (2017), geopolimer harçlar üzerinde SA ve sodyum klorür etkisini incelemek için potasyum silikat ile aktive edilmiş uçucu kül ve metakaolin tabanlı ve polipropilen lif ilaveli numuneler üretmişlerdir. Deney sürecinde numuneler, 3 farklı sıvı (musluk suyu, SA çözeltisi ve sodyum klorür çözeltisi) içerisinde 360 gün süre ile bekletilmişlerdir. 360 günlük süreçte numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında görülen maksimum bozulmalar sırasıyla %6 ve %11 olarak görülmüştür. SA çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanımlarındaki

dalgalanmaların, sodyum klorür çözeltisinde bekletilen numunelerinkinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Potasyum silikat ile aktive edilmiş, metakaolin ve uçucu kül tabanlı ve polipropilen lif ilaveli geopolimer harçların, SA ve sodyum klorür içeren ortamlarda dayanıklı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Vafaei, vd. (2018), atık cam tozu ve kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı geopolimer harçların asit direncini incelemişlerdir. Deney ortamı olarak hafif konsantrasyonda (pH=3) HCl ve H₂SO₄ çözeltileri hazırlanmıştır. 24 ay süre ile asit çözeltilerinde bekletilen geopolimer harç numunelerinin ağırlık kayıpları, basınç dayanımı kayıpları ve mikro yapı özellikleri portland çimento harçları ve yüksek alümina çimento harçları ile kıyaslanmıştır. SA çözeltisinde bekleyen numunelerden alınan sonuçlara göre; geopolimer harçlarda görülen ağırlık kaybı %29, portland çimento harcında görülen ağırlık kaybı %57, yüksek alümina çimento harcında görülen ağırlık kaybı ise %70 oranında gerçekleşmiştir. SA saldırılarının neden olduğu basınç dayanımı kayıpları incelendiğinde; geopolimer harçlarda meydana gelen basınç dayanımı kaybı %64, portland çimento harcında ve yüksek alümina çimento harcında meydana gelen basınç dayanımı kaybı %100 olarak hesaplanmıştır. Hidroklorik asit etkisiyle meydana gelen ağırlık kayıpları ve basınç dayanımı kayıpları ise sırasıyla, geopolimer harçta %3 ve %1, portland çimento harcında %16 ve %24, yüksek alümina harcında 16% ve %68 olarak görülmüştür. SA saldırılarından kaynaklanan aşınmaların hidroklorik aside göre daha hızlı gerçekleştiği görülmüştür. Her iki asit için de geopolimer harç numunelerinin portland ve yüksek alümina çimento harçlarına kıyasla çok daha yüksek dirence sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Zeng, vd. (2018), yüksek hızlı demiryolu inşaatlarında kullanılan çimento-asfalt harçlarının asit yağmuru etkisine karşı dirençlerini incelemişlerdir. Çimento, ince agrega, asfalt emülsiyonu ve alüminyum tozu içeriği ile iki farklı harç üretilmiştir. Asit yağmurlarını temsil etmesi için, SA ve nitrik asit karıştırılıp saf su ile seyreltilerek 3, 4 ve 5 pH değerlerine sahip üç çözelti elde edilmiştir. Üretilen çimento-asfalt harç numuneleri 21 ay süre ile asit çözeltilerinde bekletilmişlerdir. Tüm numunelerin 21 ay sonunda mukavemet özelliklerini yitirerek tamamen aşındıkları görülmüştür. Asit çözeltilerindeki pH farklılıklarının dayanım kaybı üzerinde belirgin bir etkisi görülmediği aktarılmıştır. Çimento-asfalt harçlarında

bulunan su içeriğinin normal çimento tabanlı kompozitlerde bulunan su içeriğinden yüksek olması dolayısıyla gözenekli yapının oluştuğu tespit edilmiştir. 21 ay sonunda yapılan SEM incelemelerinde, çimento-asfalt harçlarında çoğunlukla $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ oluşumu ve çok az C-S-H jeli oluşumu, biyolojik incelemelerde ise 21 aylık asit çözeltilerinde büyük miktarda lifli mantar ve maya oluşumu görülmüştür. Bu durumlar sebebi ile asit saldırılarının çok daha etkili olduğu düşünülmektedir. Yüksek hızlı demiryolu inşaatlarında kullanılan çimento-asfalt harçlarının olası asit yağmurlarına karşı yetersiz dirence sahip olduğu ve geliştirilmelerinin gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kwasny, vd. (2018), Litomarj (düşük saflıkta kaolin) tabanlı geopolimer harçların sülfat ve asit dirençlerini incelemiştir. Normal (37.5 MPa) ve yüksek (>60 MPa) 28 günlük basınç dayanımına sahip olacak şekilde iki geopolimer harç üretilmiş ve normal PÇ harçları ile mukayese edilmiştir. Sülfat deneyleri için 25x25x285 mm boyutlarında harç çubukları üretilirken, asit deneyleri için 50x50x50 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Sülfat ataklarına karşı direnci gözlemlemek için 0.352 mol/L derişimine sahip sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltileri, asit saldırılarına karşı direncin incelenmesi için ise 0.10, 0.31 ve 0.52 mol/L derişimlere sahip SA ve hidroklorik asit çözeltileri hazırlanmıştır. Numuneler sülfat çözeltilerinde 52 hafta süre ile bekletilirken, asit çözeltileri içinde 8 hafta bekletilmiştir. Sülfat çözeltisi türü fark etmeksizin her iki geopolimer harç türü, normal PÇ harçlarından daha iyi performans sergilemiştir. Her iki sülfat çözeltisi etkisinde de normal PÇ harçlarında önemli boyutta genişmeler ve görünür bozulmalar meydana gelirken geopolimer harçlarda minimal genişmeler görülmüş ve mikro yapılarında bir değişiklik gözlenmemiştir. Geopolimer harçlarda yüzey bozulmaları ve ağırlık kayıpları, normal PÇ harçlarına kıyasla her iki asit çözeltisinde de daha az görülmüştür. SA çözeltilerinde bekleyen numunelerde, hidroklorik asit çözeltisinde bekleyenlere göre daha fazla yüzey aşınması ve ağırlık kaybı görülmüştür. Yüksek dayanımlı geopolimer harçların asit direnci, normal dayanımlı geopolimer harçlarından daha yüksek olmuştur.

Sturm, vd. (2018), YFC katkılı ve katkısız, zengin silika içerikli geopolimer harçlar üreterek SA dirençlerini incelemiştir. Üretilen harç numuneleri 70 gün süre ile

agresif (pH=1) SA çözeltisinde bekletilmiştir. Asit ortamına maruz kalan harçların basınç dayanımlarındaki ve mikro yapılarındaki değişimler incelenmiştir. Geopolimer harçların asit dirençlerindeki gelişim, asit çözeltisinden çok az etkilenen silika içeriğinin silika jeller oluşturarak harç-asit ara yüzünde koruyucu görev üstlenmesine bağlanmıştır. YFC katkısı kullanımı ile asit direncinde kayıplar görülmüş ve bu kaybın kalsiyum içeriği ile SA'nın reaksiyona girmesi sonucu kalsiyum sülfat (alçı taşı) oluşmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Dündar, vd. (2019), ÖPT katkısı ve polipropilen lif ilavesi ile üretilen harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. ÖPT ikamesi çimentoyla ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında, polipropilen lif ise hacimce %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında kullanılarak 40x40x160 mm boyutlarında prizma harç numuneleri üretilmiştir. Mineral katkı olarak ÖPT kullanılabileceği ve polipropilen lif ile birlikte kullanıldığında fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tokgöz, vd. (2019), yaptıkları çalışma ile sülfürik asitin, mineral katkı olarak kolemanit kullanılan harçların üzerindeki etkisini incelemiştir. Kolemanit, çimento ile %1, %2.5 ve %5 oranlarında (ağırlıkça) ikame edilerek kullanılmıştır. Prizma harç numuneleri (40x40x160 mm) 0.5 M, 1.0 M ve 1.5 M SA çözeltilerine bırakılmıştır. Harç numuneleri 28 gün süre ile asit çözeltilerinde bekletilmiş ve 1, 7, 14, 21 ve 28. günlerde ağırlık kayıpları kontrol edilmiştir. Kolemanit kullanımının %1 ve %2.5 olduğu durumlarda, ağırlık kayıplarında ciddi düşüşler görülmüştür.

Tuyan, vd. (2020), kalsiyum alüminat çimentosu ile üretilen harçların mekanik, dayanıklılık, termal ve içyapı özelliklerini incelemek üzere, mineral katkı olarak YFC ve uçucu kül kullanarak harç numuneleri üretmişlerdir. Harç karışımlarında YFC ve uçucu kül, çimento ile ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Basınç dayanımı değerlerinde YFC oranı arttıkça düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüşün, YFC ile kalsiyum alüminat çimentosu ürünleri arasında reaksiyon oluşmamasından ve YFC'nin yeterli incelikte olmadığından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Jeon, vd. (2020), çimento harçlarında SA etkisi üzerine yaptıkları çalışmada ince agrega yerine ağırlıkça %10'a kadar silisyum karbür tozu kullanmışlardır. SA çözeltisinde (pH=1) 10, 20 ve 30 gün bekletilen numunelerin basınç dayanımı kayıpları, ağırlık kayıpları, ultrases geçiş hızı değişimleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Çalışma kapsamındaki araştırma bulgularına göre, silisyum karbür içeriğinin artışıyla harç numunelerinin SA dirençlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Yurt vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada, Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (ÖYFC), NaOH, Na₂SiO₃, agrega, hiperakışkanlaştırıcı ve su kullanarak geopolimer betonları üretilip asit saldırısına karşı dayanıklılığını incelemiştir. Asit saldırısına dayanıklılık için 0.5, 1 ve 1.5 M SA çözeltileri hazırlayarak geopolimerleri belirli sürelerde asit içerisinde bekletmişlerdir. Bekleme süreleri 1, 7, 14, 21 ve 28 gündür ve her bekleme süresinden sonra su emme, porozite ve ağırlık kaybı değerlerini belirlemişlerdir. Asit molaritesinin ve bekleme süresinin artmasıyla birlikte geopolimerlerin, su emme ve porozite değerleri ile birlikte ağırlık kayıplarının arttığını gözlemlemişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Malzeme bölümünde çalışma kapsamına yönelik; ÖPT, YFC, PÇ, kırma kum agregası ve karışım suyu hakkında bilgi verilmektedir. Yöntem kısmında ise üretilen harç numunelerine ait karışım oranları ve miktarları ile numuneler üzerinde yapılan deneyler verilmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Çimento, beton ve harç karışımlarının temel malzemelerindendir. Hidrolik bağlayıcılar arasında yer alan çimento, su ile hidrasyon tepkimesine girerek betonun bir diğer temel malzemesi olan agregalarla homojen bir bütün oluşturarak havada ve suda priz alarak dayanım kazanabilmektedir. (Ersoy, 1995; Şimşek, 2016).

Deneyisel çalışma için kullanılacak olan harç numunelerinin hazırlanmasında bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş olan ÇİMSA CEM I-42.5/R tipi PÇ kullanılmıştır (TS EN 197-1, 2012). Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento fabrikasından alınmış olup, fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42.5/R çimentosunun kimyasal ve fiziksel analizi.

Kimyasal Analiz	CEM I (%)
SiO ₂	20.62
Al ₂ O ₃	5.75
Fe ₂ O ₃	4.05
CaO	62.81
MgO	2.55
Na ₂ O	2.67
Kızdırma Kaybı	1.55
Fiziksel Özellikler	
Özgöl Yüzey (cm ² /g)	3054
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	3.11

3.1.2 Yüksek Fırın Cürufu

YFC kalsiyum, silis, alümin ve bazık bileşikler içeren ve harç, beton ve çimento üretiminde yapay puzolan olarak kullanılan bir endüstriyel atıktır. Demir-çelik fabrikalarının demir üretimi aşamalarında, 1500 °C sıcaklığa ulaşan yüksek fırınlarda ergimiş halde oluşan bir yan üründür (Siddique ve Klaus, 2009; Hiraskar ve Patil, 2013; Hosseini, vd., 2016).

Hatay ili İskenderun ilçesinde bulunan İskenderun Demir Çelik Fabrikası'ndan temin edilen YFC'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. YFC'nin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları

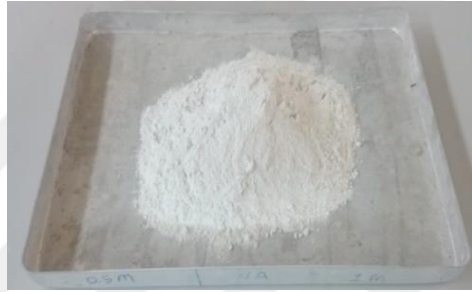
Kimyasal Analiz	YFC (%)
SiO ₂	32.80
Al ₂ O ₃	11.80
Fe ₂ O ₃	1.45
CaO	39.80
MgO	4.15
Na ₂ O	0.51
Kızdırma Kaybı	2.20
Fiziksel Özellikler	
Özgöl Yüzey (cm ² /g)	4282
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)	2.8

3.1.3 Öğütülmüş Profillit Tozu

Beyaz çimento üretiminde kullanılan profillit, H₂Al₂(SiO₃)₄ formülü ile ifade edilen bir alüminyum silikattır. Sert ve yüksek sıcaklık etkisine dayanıklı olan hidrate olmuş bir doğal mineraldir (Erdem ve Karaoğlu, 2005; Özkaya, 2011). Çalışmada kullanılan profillit Malatya-Pütürge yöresinden kayaç halinde elde edilip, kırıcı yardımı ile 4 mm boyutlarına getirilmiş ve ardından halkalı öğütücüde 25-40 mikron boyutlarında öğütülmüştür (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Öğütülüp, çimento ile ağırlıkça ikame edilerek kullanılan ÖPT malzemesinin kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1. Halkalı öğütücü



Şekil 3.2. Öğütülmüş Profillit Tozu

Çizelge 3.3. ÖPT'nin kimyasal ve fiziksel analizi

Kimyasal Analiz	ÖPT (%)
SiO ₂	75-30
Al ₂ O ₃	20-74
Fe ₂ O ₃	0.08
CaO	0.08
SO ₃	0.08
K ₂ O	0.21
Kızdırma Kaybı	3.67
Fiziksel Özellikler	
Özgül Kütle (g/cm ³)	2.8-2.9
Erime sıcaklığı	1700 °C

3.1.4 Agregalar

Agregalar, su ve çimento ile birlikte harçları oluşturan temel malzemelerdir. Harç numunelerinin üretiminde 0-4 mm tane boyutlarına sahip kırma kum kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kırma kum Osmaniye il sınırlarında bulunan ocaktan temin edilip, deneylerde kullanım uygunluğu Türk standartlarından kontrol edilmiştir (TS 706 EN 12620+A1, 2009). Kullanılan kumun incelik modülü 3.21 olarak hesaplanmıştır. Agregaların su emme kapasiteleri ve yoğunlukları TS EN 1097-6'ya göre bulunmuştur (TS EN 1097-6, 2013). Kırma kumun yüzey kuru suya doygun yoğunlukları 2.67 gr/cm^3 , su emme kapasiteleri ise %1.15'dir. Kullanılan agregaların granülometrisi standartlara uygundur.

3.1.5 Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyu, betona işlenebilme özelliği kazandırmak ve hidrasyon ürünlerini meydana getirerek betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlamak görevlerini üstlenmektedir. Harç ve beton gibi çimento esaslı kompozitlerin üretiminde su kalitesi ve kimyasal bileşimi önemlidir. (Kadiroğlu, 2005; Aktürk, 2019). Deneyisel çalışmada, standartlara uygun olan Osmaniye ili, içilebilir şehir şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003).

3.1.6 Sülfürik Asit

Kanalizasyon, atık depolama, arıtma tesisi vb. ortamlardaki tepkimeler sonucu meydana gelen ve asit yağmurlarının içeriğinde de yer edinen sülfürik asitler çimento esaslı malzemeler için yüksek aşındırıcı etkiye sahip olup, etki derecesi malzemelerin maruz kaldığı asidin özelliklerine, çözeltinin derişimine ve pH derecesine bağlıdır (Baradan, vd., 2010). Çalışmada kullanılan SA Şekil 3.3'te, özellikleri ise Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan sülfürik asit

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan sülfürik aside ait özellikler

Özellik	Açıklama
Formül	H ₂ SO ₄
Molar kütle (g/mol)	98.079
Yoğunluk (g/cm ³)	1.83-1.84
Erime noktası (°C)	10
Kaynama noktası (°C)	337
Safılık (%)	95-98

3.2 Yöntem

Önceden planlanmış agrega-bağlayıcı karışım suyu oranlarına göre malzeme miktarları hesaplanarak harç karışımları hazırlanmış ve taze haldeki karışımların işlenebilirlikleri standarda uygun olarak yayılma tablası deneyi ile kontrol edilmiştir (TS EN 1015-3, 2000). Kalıplara yerleştirilen harçlar 24 saat süre sonunda kalıplardan alınarak standart kür havuzlarına bırakılmıştır. Gerekli kür sürelerini (7, 28, 56 ve 90 gün) tamamlayan numuneler incelenmek istenen özelliklerine göre ilgili deneylere tabi tutulmuştur. ÖPT ve YFC kullanımının, harçların (90 günlük süreç içerisinde meydana gelen) mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişim ile SA etkisindeki davranışları incelenmiştir.

Bu çalışmada kullanılmak üzere üretilen harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1 ÖPT ve YFC'nin Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Çalışmanın uygulanabilmesi ve değerlendirilebilmesi için, öncelikle ÖPT malzemesinin kullanılabilir oranlarını belirlemek amacıyla %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında ikame gerçekleştirilerek deneme dökümleri yapılmıştır.

Deneme dökümleri sonrasında numune özelliklerinin kabul edilebilir seviyelerde kalabilmesi için ÖPT ikamesinin, çimento ağırlığınca %15'e kadar gerçekleştirilebileceği tespit edilmiş ve çalışmanın genelinde kullanılacak harç numunelerinin üretimi için %5, %10 ve %15 oranında ÖPT ikamesi içeren karışımların kullanılmasına karar verilmiştir. Literatürde %5-%50 aralığında kullanılabileceği belirtilen YFC'nin, çalışmada sağlıklı kıyaslamalar yapabilmek adına ÖPT içeren numunelerde olduğu gibi %5, %10 ve %15 oranlarında ikame edilerek kullanılması tercih edilmiştir.

3.2.2 ÖPT ve YFC Katkılı Harçların Hazırlanması

Çalışma kapsamında kullanılacak olan harç numuneleri için agrega/bağlayıcı/karışım suyu oranları ağırlıkça 3/1/0.5 olarak belirlenmiştir. Miktarları belirlenen malzemeler elektronik terazi kullanılarak tartılıp kaplara koyularak karışıma hazır hale getirilmiştir. Çalışma kapsamında çeşitli deneylere tabi tutulan numunelerin üretilmesi için uygun görülen malzeme miktarları Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Harç karışımları için gerekli malzeme miktarları (gr)

Numune İsmi	Çimento	ÖPT	YFC	Kum	Su
REF	450	0	0	1350	225
ÖPT5	427.5	22.5	0	1350	225
ÖPT10	405	45	0	1350	225
ÖPT15	382.5	67.5	0	1350	225
YFC5	427.5	0	22.5	1350	225
YFC10	405	0	45	1350	225
YFC15	382.5	0	67.5	1350	225

Numune üretiminde çimento harcı dayanımı standardına uygun olarak çalışan otomatik harç mikseri kullanılmıştır. Harç karışım oranlarında belirlenen miktarlarda agrega, çimento, su ve mineral katkı (üretilcek numuneye göre ÖPT veya YFC) cihazın standarda bağlı olan yönlendirmeleri ile karıştırılmıştır (TS EN 196-1, 2016). Hazırlanan harç karışımları, harç yayılma tablasında uygulanan işlenebilirlik kontrolünün ardından önceden yağlanmış 40×40×160 mm boyutlarındaki üç gözlü çelik prizma kalıplara doldurulup, sarsma cihazı yardımıyla yerleştirme işlemine tabi tutulmuştur. İşlenebilirlik kontrolü, harcın kesik koniye iki tabaka halinde doldurulup iki tabakanın da özel tokmak ile sıkıştırılmasının ardından 15 kez düşüş yaptırılması ile sağlanmıştır (TS EN 1015-3, 2000). Harçların kalıplara yerleştirilmesi işleminde ise, ilk olarak kalıpların yarısına kadar doldurulan harçlar sarsma cihazında 60 düşüş yaptırılarak sıkıştırılmış, daha sonra kalıplar tamamen doldurularak yine 60 düşüş ile yerleştirilmiştir. Harç yüzeyinin düzeltilip kalıp kenarları temizlendikten sonra anlaşılır bir etiket hazırlanarak harç üzerine bırakılmıştır. Kalıplarda 24 saat süre ile bekletilen harç numuneleri, kalıplardan çıkarılarak standart kür havuzuna bırakılmıştır. Yerleştirme işleminde kullanılan sarsma cihazı Şekil 3.4'te, yukarıda bahsedilen işlemlerden geçerek kalıba yerleştirilmiş harç numunesi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Sarsma cihazı deney aleti



Şekil 3.5. Üç gözlü çelik kalıba yerleştirilmiş harç

3.2.3 Harçların Kürlenmesi

Standartların belirlemiş olduğu gibi 24 saat süre boyunca kalıplarda bekletilen harç numuneleri, kalıplardan çıkarılmasının ardından 20 ± 2 °C sıcaklık ve %100 nem ortamı sağlayan kür havuzları içerisinde beklemeye bırakılmıştır (TS EN 12390-2, 2019). Harç numunelerine 7, 28, 56 ve 90 günlük sürelerle kür uygulanmıştır.

Standart kür havuzu içerisinde bekletilen harç numuneleri Şekil 3.6’da görülmektedir.



Şekil 3.6. Standart kür havuzunda kür uygulanan numuneler

3.2.4 Asit Çözeltilerinin Hazırlanması

Çimento esaslı kompozitlerin etkilendiği asidik ortamları simüle etmek amacıyla SA çözeltileri hazırlanmıştır. SA ortamları için 0.5, 1.0 ve 1.5 Molar derişimlere sahip üç farklı çözelti elde edilmiştir. Hazırlanan SA çözeltilerinin pH değışimleri gözlenerek 14 gün aralıkla çözeltiler yenilenmiştir. Çözeltilerin hazırlanması aşamasında gereken malzeme miktarları aşağıda belirtilen denklemler kullanılarak hesap edilmiştir.

Denklem 3.1 yardımıyla elde edilen ‘m’ değeri, ihtiyaç duyulan saf asit ağırlığını, $V_{\text{çözelti}}$ değeri çözelti hacmini, M değeri çözelti molaritesini ve M_A değeri kullanılan asitin molar kütlesini ifade etmektedir.

$$M = \frac{m}{M_A \cdot V_{\text{çözelti}}} \quad (3.1)$$

Denklem 3.2’de hesaplanan ‘X’ değeri, kullanılması planlanan belli oranda saflığa sahip asitten çözeltiye eklenmesi gereken miktarı ağırlık cinsinden ifade etmektedir.

$$X = \frac{m}{\text{Kullanılacak Asidin Saflık Yüzdesi}} \quad (3.2)$$

Hesaplama işleminin son adımı olan denklem 3.3 sonucunda elde edilen V_{asit} değeri belli saflık oranına sahip asitten çözeltiye eklenecek miktarı hacim cinsinden ifade etmektedir. Asitin yoğunluğu d ile gösterilmiştir.

$$V_{asit} = \frac{X}{d} \quad (3.3)$$

Her bir çözeltiden 1 litre elde edebilmek için gereken malzeme miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Asit çözeltilerinin hazırlanması için gerekli malzeme miktarları

Çözelti İsimleri	Asit Miktarı (ml)	Su Miktarı (ml)
0.5 M Sülfürik Asit	27.20	972.80
1.0 M Sülfürik Asit	54.39	945.61
1.5 M Sülfürik Asit	81.59	918.41

3.2.5 Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan 40x40x160 mm boyutlarındaki harç numuneleri, fiziksel ve mekanik özellikleri ile asit etkisi altındaki davranışları incelenmek üzere Çizelge 3.7'de verilen çeşitli deneylere tabi tutulmuştur.

Çizelge 3.7. Harç numunelerine uygulanan deneyler

Numune Yaşı	Uygulanan Deneyler						
	Yayılma Tablası	Su Emme ve Porozite Deneyi	Kapiler Su Emme	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	Eğilme Dayanım ₁	Basınç Dayanım ₁	Asit Etkisi ile Ağırlık ve Dayanım Kaybı
0 (Taze Hal)	X						
7					X	X	
28		X	X	X	X	X	
56		X	X	X	X	X	
90		X	X	X	X	X	
28+7							X
28+28							X
28+56							X
28+90							X
Not: Numune yaşında bulunan “28+” ifadelerinde, ilk “28” ifadesi nihai dayanıma ulaşan harç numunelerini, “+7” vb. ifadeler ise asit içerisinde bekleme sürelerini göstermektedir.							

3.2.5.1 Yayılma Tablası Deneyi

Her bir numune karışım işlemlerinin ardından taze haldeki işlenebilirliğinin kontrolü için yayılma tablası deneyine tabi tutulmuştur. Deney öncesinde kesik koninin iç yüzeyi ve yayılma tablasının üstü hafif nemli bir bez yardımı ile temizlenmiştir. Karışım işlemi gerçekleşen harç vakit kaybedilmeden tablanın üzerine yerleştirilen kesik koni içerisine doldurulmaya başlanmıştır. Otomatik miksera ait hazne içerisinden spatula yardımı ile alınan harç kesik koninin yaklaşık yarısına kadar bir tabaka halinde doldurulmuştur. Yayılma tablası deney düzeneğine ait özel tokmak yardımı ile ilk tabakanın sıkışması sağlanmıştır. İlk tabakaya ait işlemlerin ardından kesik koninin boş kalan kısmı da taze harç ile doldurulup sıkıştırma işlemi tekrar edilmiştir. Tamamen doldurulan kesik koni yukarı doğru kaldırıldıktan sonra yayılma tablasında 15 defa düşüş gerçekleştirilmiştir. Düşüşlerin ardından yayılan harcın iki eksende yayılma çapı değerleri ölçülerek not edilmiştir (TS EN 1015-3, 2000). Yayılma tablası deneyi düzeneği Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yayılma tablası deney düzeneği

3.2.5.2 Su Emme ve Porozite Deneyi

Tüm numuneler üzerinde, özgül ağırlık sehpası ve alttan ölçüm özelliğine sahip elektronik terazi kullanılarak porozite ve su emme özellikleri belirlenmiştir. Harç numuneleri 28, 56, ve 90. günlerde kür havuzundan çıkartılıp su içerisindeki tel sepete koyularak Arşimet terazisi yardımıyla ağırlıkları kaydedilmiştir. Su içerisinde çıkarılan numuneler bez kullanılarak kuru yüzey doygun hale getirilmiş ve ağırlıkları alınmıştır. Numuneler 105 °C sıcaklıkta çalışan etüvde 24 saat boyunca bekletilerek etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüv cihazından çıkarılan numunelerin sıcaklığı oda sıcaklığına düşünceye kadar beklenmiş ve etüv kurusu haldeki ağırlıkları alınarak not edilmiştir. Ağırlık ölçümleri her seri için 3'er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri alınmıştır. Su emme ve porozite deneylerinde kullanılan düzenek Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Su emme ve porozite deney düzeneği

Elde edilen veriler (su içerisindeki ağırlık, kuru yüzey doymuş ağırlık ve etüv kurusu ağırlık) kullanılarak Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) yardımı ile numunelere ait porozite ve su emme değerleri hesaplanmıştır (TS EN 1170-6, 1999).

$$SE(\%) = \left(\frac{KYD - EK}{EK} \right) * 100 \quad (3.4)$$

$$P(\%) = \left(\frac{KYD - EK}{KYD - S} \right) * 100 \quad (3.5)$$

Denklem (3.4) ve Denklem (3.5)'teki ifadeler;

SE: Su Emme Değeri (%)

P: Porozite Değeri (%)

S: Su İçerisindeki Ağırlık

KYD: Kuru Yüzey Doymuş Ağırlık

EK: Etüv Kurusu Ağırlık

3.2.5.3 Kapiler Su Emme Deneyi

Karışımlara ait harç numuneleri üzerinde Türk Standartları referans alınarak kapiler su emme deneyi gerçekleştirilmiştir (TS EN 1015-18, 2004). Kapiler su emme deneyinden önce eritilmiş mum, numunelerin yan yüzey kenarlarına sürülmek suretiyle numunelerin sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Harç numunesinin alt yüzeyinin su ile temasının ardından geçen belirli bir süre (t) sonra su numune içerisinde yükselmiş ve numunenin ağırlığının ölçülmesi ile numunenin kapiler su emme miktarı belirlenmiştir. Kapiler su emme katsayılarının belirlenmesi işlemi Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Kapiler su emme deneyi

Zamana bağlı numune ağırlıklarının ölçülmesinin ardından kapiler su emme katsayıları Denklem (3.6) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$k_c = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \times \frac{1}{t} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6)’da belirtilen kavramlar;

Q: t zaman aralığında emilen su miktarı (gr)

A: Su ile temas eden yüzey alanı (cm²)

t: yüzey alanının su ile temas süresi (sn)

3.2.5.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Numunelerin ultrases geçiş hızı ölçümleri Ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır. 28, 56, ve 90 günlük numuneler etüv kurusu hale getirilerek ultrases deneyi ilgili Türk standardına göre uygulanmıştır (TS EN 12504-4, 2012). Numunelerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçölüp, ölçüm yapılacak yüzeylerde hava boşluğunun kalmaması için ultrason jeli ile pürüzsüz olması sağlanmıştır. Probların (verici-alıcı) arasına numune yerleştirilerek aynı hizaya getirilmiş ve cihaz çalıştırılmıştır. Cihazdaki ses dalgasının geçiş süresi kaydedilmiştir. Ultrases geçiş hızlarının ölçölmesinde kullanılan deney düzeneği şekil 3.10’da verilmiştir.



şekil 3.10. Ultrases deney düzeneği

Problar arası mesafe ve kayıt aldığımız ses geçiş hızı yardımı ile Denklem (3.7)’de gerekli hesaplamalar yapılarak ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır (TS EN 12504-4, 2012).

$$V(m/s) = X(m)/t (s) \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'te belirtilen kavramlar;

$V(m/s)$: Ultrases geçiş hızı

$X(m)$: Ses dalgasının aldığı yol

$t(s)$: Ses dalgasının geçiş süresi

3.2.5.5 Harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı deneyi

Standart kür havuzu içerisinde bekletilen harç numuneleri 7, 28, 56 ve 90. günlerin sonunda eğilme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur. Eğilme ve basınç dayanımı deneylerinde kullanılan, basınç dayanımı deneyi için 200 kN ve eğilme dayanımı deneyi için 20 kN yükleme kapasitesine sahip Baz Makina harç presi Şekil 3.11'de verilmiştir. Eğilme dayanımı deneyi uygulanırken yüklemenin tam ortadan yapılması için, numune uçlarının her iki mesnetten 30 mm mesafede kalması cetvel yardımı ile sağlanmıştır. 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelere eğilme dayanımı deneyi uygulandıktan sonra elde edilen 40x40 mm² kesit alanına sahip 2 parçaya da basınç dayanımı deneyi uygulanarak iki değerin ortalaması alınmıştır. Dayanım tayini deneyleri uygulanırken numunelerin kalıplanmamış yüzeyine yük uygulanmasından kaçınılmıştır. (TS EN 196-1, 2016). Eğilme dayanımı ve basınç dayanımına tabi tutulan harç numuneleri sırasıyla Şekil 3.12'de ve Şekil 3.13'te görölmektedir.



Şekil 3.11. Harç numuneleri için dayanım deney cihazı



Şekil 3.12. Eğilme dayanımı deneyi uygulanan harç numunesi



Şekil 3.13. Basınç dayanımı deneyi uygulanan harç numunesi

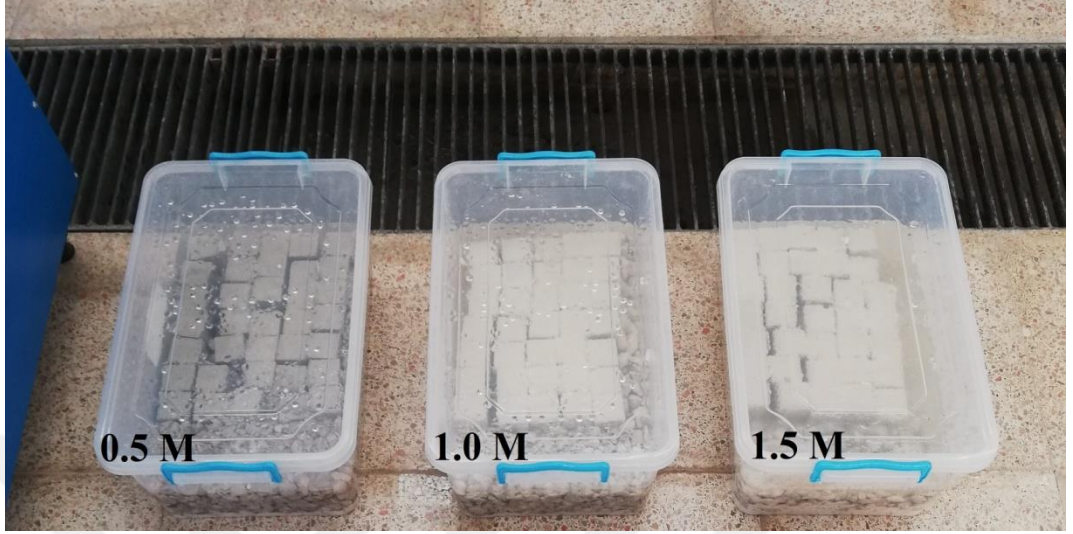
3.2.5.6 Asit Etkisiyle Ağırlık ve Dayanım Kaybı Deneyleri

Hazırlanan asit çözeltileri, plastik kaplar içerisine doldurularak kapakları kapatılmıştır. Çözeltilerin buharlaşmasının engellenmesi için kapakların altına çöp poşetleri örtülerek kapakların sıkıca kapanması sağlanmış ve koli bandıyla etrafları çevrilmiştir. Asit çözeltilerine bırakılmadan önce numunelerin, kuru yüzey doygun ağırlıkları, su içerisindeki ağırlıkları ve etüv kurusu ağırlıkları alınmış ve asit çözeltilerine bırakılmıştır.

Asit çözeltisinde bekleyen numuneler, dayanım ve ağırlık numuneleri olarak iki gruba ayrılmıştır. Ağırlık numuneleri asit çözeltilerine bırakıldıktan 7 gün sonra dışarı çıkarılarak yıkanmış, Arşimet terazisi yardımıyla su içerisindeki ağırlıkları ve kuru yüzey doygun haldeki ağırlıkları belirlenmiş, sonrasında 105 °C sıcaklıkta çalıştırılan etüve koyulmuştur. Etüvde 24 saat süre ile bekletilen numuneler fırından çıkarılarak, sıcaklıkları oda sıcaklığına düşene kadar soğumaları beklenmiştir. Oda sıcaklığındaki numunelerin etüv kurusu ağırlıkları 0,01 gr hassasiyete sahip elektronik terazi yardımıyla belirlenerek not edilmiştir. Aynı işlemler 28, 56 ve 90. günlerde de tekrar edilerek elde edilen verilerle numunelerin, 3 farklı asit çözeltisi içerisinde beklemeleri sonucu meydana gelen ağırlık kayıpları gözlemlenmiştir.

Dayanım kayıpları ise 7, 28, 56 ve 90 gün süre ile asit çözeltilerinde bekleyen numunelerin çözeltilerden çıkarılarak yıkanması, etüvde 24 saat bekletilerek etüv kurusu hale getirilmesi ve basınç dayanımı deneyi uygulanması ile belirlenmiştir.

Yeni hazırlanmış SA çözeltileri içerisindeki harç numuneleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Sülfürik asit çözeltileri içerisindeki harç numuneleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

4.1 Puzolanik Aktivite İndeksinin Belirlenmesi

ÖPT malzemesinin puzolanik aktivitesinin kontrolü için ASTM C 311’de belirtilen koşullar kapsamında, %20 oranında ÖPT ikamesi ile üretimi gerçekleştirilen harç prizma numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve aktivite indeksi belirlenmiştir. Aktivite indeksinin belirlenmesi işlemi Denklem (4.1)’de verildiği gibi, mineral katkı içeren numunenin basınç dayanımının yalnızca PÇ içeren numunenin basınç dayanımına oranının hesaplanması yoluyla gerçekleştirilmektedir (ASTM C311, 2018).

Yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda %20 oranında ÖPT içeren harç numunelerinin 28 günlük ortalama basınç dayanımının 45.66 MPa, yalnızca PÇ kullanılarak üretilmiş olan harç numunelerinin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 51.64 MPa olduğu görülmüştür. Bu veriler Denklem (4.1)’de yerlerine koyularak aktivite indeksi hesaplandığında %88.42 değeri bulunmaktadır. Bu hususta ilgili standart, bir malzemenin puzolanik bağlayıcı olarak kullanılabilmesi için 28 günlük aktivite indeksinin %75’in üzerinde olması gerektiğini belirtmektedir (ASTM C311, 2018).

$$SAI = \frac{A}{B} \times 100 \quad (4.1)$$

SAI: puzolanik aktivite indeksi (%)

A: mineral katkı içeren numunenin basınç dayanımı (MPa)

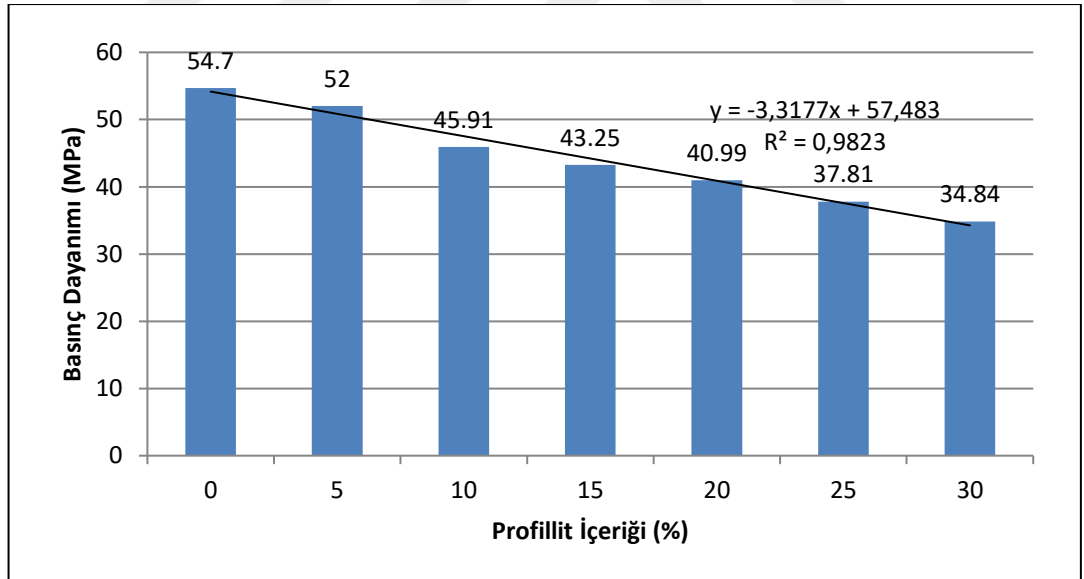
B: yalnızca PÇ içeren numunenin basınç dayanımı (MPa)

4.2 ÖPT Deneme Dökümlerine Ait Bulgular

Çalışma kapsamında üretilecek harç numunelerinin ÖPT içeriğine karar verebilmek adına yapılan deneme dökümlerine ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil

4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de görüleceği üzere ÖPT içeriği artırıldıkça, harç numunelerinin basınç dayanımında kayıp yaşanmaktadır.

Korelasyon katsayısı (R^2), iki parametre arasındaki ilişkinin büyüklüğünü ifade etmektedir. 0-1 aralığında büyüklüğe sahip olabilen korelasyon katsayısının 1’e yakın olması güçlü bir ilişkiyi ifade eder (Arslan, 2019). Şekil 4.1’de elde edilen R^2 değerinin 0.98 olması, ÖPT miktarının artması ile basınç dayanımlarının düşmesi arasında çok güçlü bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. ÖPT miktarının her %5 artışında basınç dayanımının sistematik şekilde düştüğü görülmektedir. Basınç dayanımlarında görülen düşüşün, ÖPT mineralinin çok düşük miktarda kalsiyum içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çimento ile ikamesi gerçekleştirilen ÖPT oranı %5, %10 ve %15 olduğunda, numunelerin basınç dayanımlarının kullanılan çimento tipine uygun olarak 42.5 MPa değerinin üzerinde kaldığı görülmüş ve belirtilen ÖPT ikameleriyle üretilen harç numuneleri çalışmada kullanılmak üzere tercih edilmiştir.



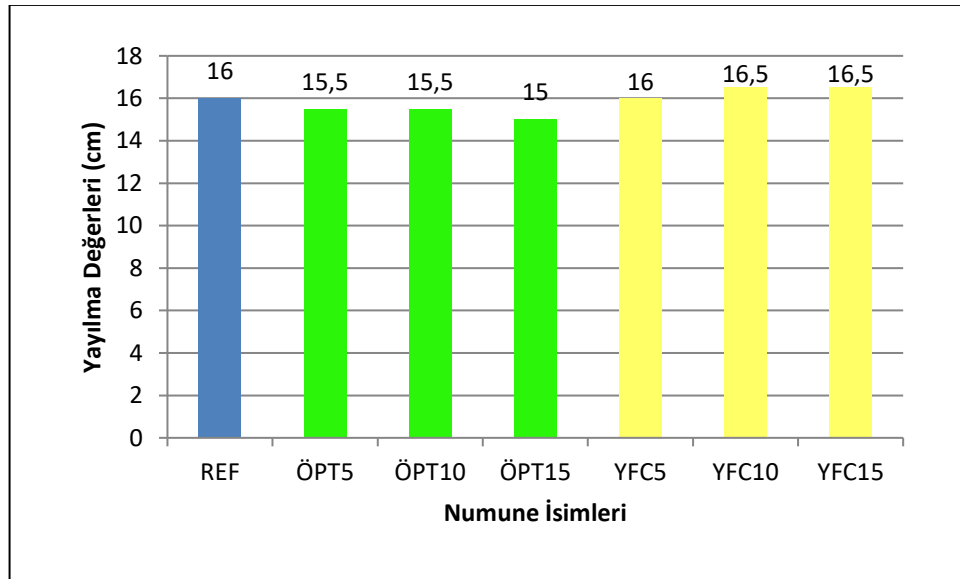
Şekil 4.1. Deneme dökümlerine ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri

4.3 Yayılma Değerleri

İşlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için taze haldeki harç numunelerine uygulanan yayılma tablası deneyine ait sonuçlar Şekil 4.2’de verilmiştir. Harç

numunelerine ait yayılma değerleri incelendiğinde, REF numunesi 16 cm değerini alırken ÖPT5, ÖPT10 ve ÖPT15 numuneleri için sırasıyla 15.5, 15.5 ve 15 cm olduğu görülmektedir. ÖPT numunelerinin işlenebilirlik değerlerinde, REF numunesine göre %3 - %6 oranlarında düşüş görülmüştür. ÖPT kullanımı ile işlenebilirlik kaybı oluşmasının, ÖPT'nin ince taneli yapısından dolayı daha fazla su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İnce taneli mineral katkıları su ihtiyacını arttırmaktadır (Türkmenoğlu ve Tankut, 2002).

Şekil 4.2'deki veriler incelendiğinde YFC katkısı ile üretilmiş harç numunelerinde YFC5, YFC10 ve YFC15 için sırasıyla 16, 16.5 ve 16.5 cm yayılma değerleri belirlenmiştir. ÖPT içeren harç numunelerinin aksine, YFC içeren numunelerin işlenebilirliklerinde çok az da olsa artış görülmüştür. YFC ikamesi %5 oranında gerçekleştirilen harç karışımının yayılma değerinde bir değişiklik gözlemlenmemiş, %10 ve %15 oranlarında ikame ile üretilen harç karışımlarının işlenebilirlik değerlerinin ise REF numunesine göre yaklaşık %3 oranında arttığı tespit edilmiştir. YFC kullanımı ile işlenebilirliğin artırılabilirdiğini gösteren çalışmalar mevcuttur (Saf, 2015; Kılıç Demircan ve Kaplan, 2017). YFC kullanımının işlenebilirliği arttırmasının nedeni olarak pürüzsüz bir yüzeye sahip olması ve geç reaksiyona girmesi görülmektedir (Newman ve Choo, 2003).



Şekil 4.2. Taze halde belirlenen yayılma değerleri

Harç numunelerinin üretim aşamasında (karıştırma ve kalıplama işlemleri) yalnız ÖPT15 harcında yayılma değerinin olumsuz etkisi görülmüştür. ÖPT15 numunesi üretilirken karışımın kıvamındaki fark gözlemlenmiş ve kalıplara yerleştirilirken az da olsa zorlanılmıştır. İşlenebilirliğin düşük olmasının en net belirtisinin kalıplama ve sıkıştırma zorluğu olduğu bilinmektedir (Arslantürk ve Erdoğan, 2007).

Harçların ve betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde de etkisi olan işlenebilirlik özelliğinin, mühendislik uygulamaları için önemli olduğu bilinmektedir (Erdoğan, vd., 2011). Harç numuneleri üzerinde uygulanan diğer deneylerde de ÖPT15 numunesinin işlenebilirlik özelliğinin etkisi gözlemlenmiştir. Bu etkilerden ilgili deney başlıkları altında bahsedilmiştir.

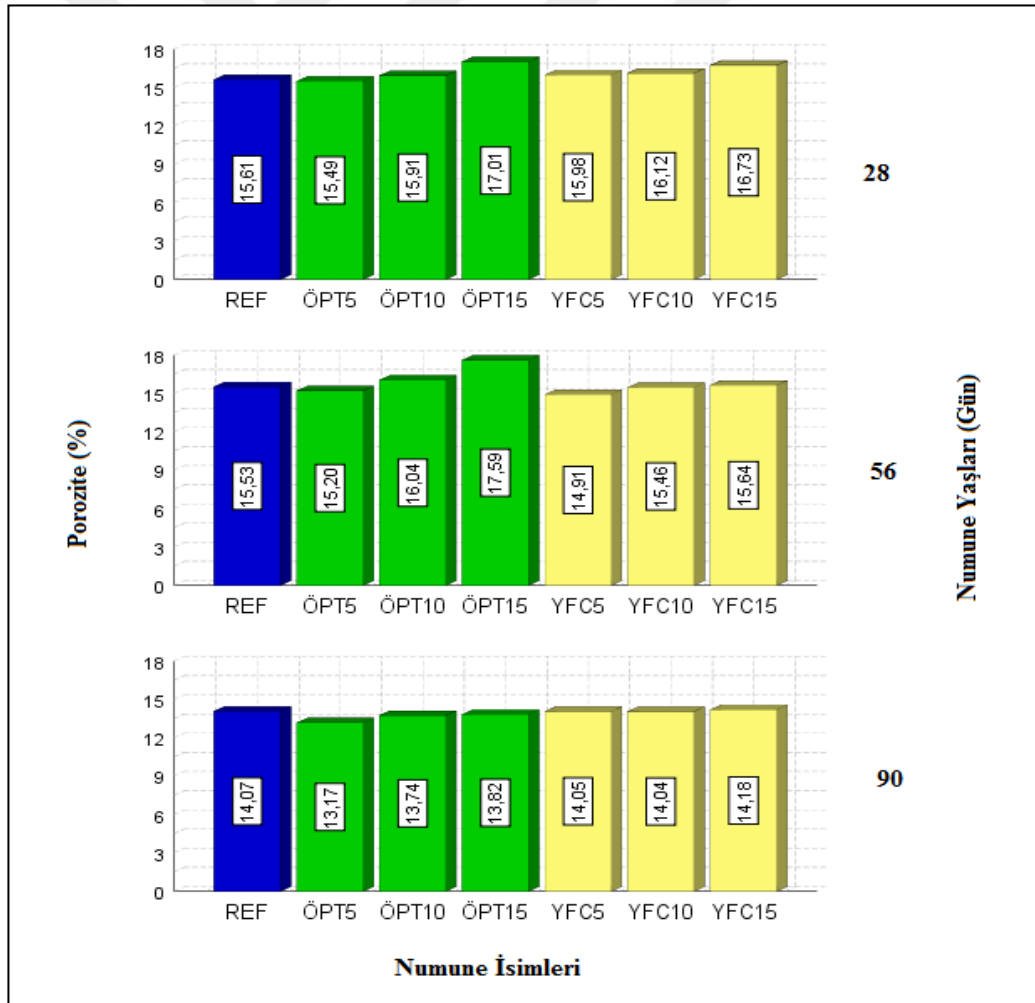
4.4 Su Emme ve Porozite Değerleri

Harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen porozite değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Numunelerin 28 gün sonunda belirlenen porozite değerleri incelendiğinde, ÖPT5 numunesi %15.49 değeri ile en düşük porozitenin görüldüğü numune olmuştur. ÖPT5 numunesine en yakın değer ise %15.61 ile REF numunesinde görülmüştür. ÖPT miktarının artması ile porozite değerlerinde artış görülmüştür. YFC miktarının artışı ile porozite değerlerinde artış görülürken, en yüksek porozite değeri ÖPT15 numunesinde %17.01 olarak tespit edilmiştir. ÖPT15 hariç olmak üzere, ÖPT içeren numuneler YFC içeren numunelerden daha düşük porozite değerlerine sahiptir. ÖPT15 numunesinin en yüksek değeri alması, işlenebilirlik özelliğinin düşük olması sebebiyle kalıplara yerleştirmede güçlük çekilmiş olmasına bağlanmıştır. REF ve ÖPT5 numuneleri kadar iyi yerleştirilemeyen ÖPT15 numunesinde, diğerlerine göre daha fazla gözenekli yapı oluşmuştur.

Harç numunelerinin 56 günlük kür sonunda sahip oldukları porozite değerleri incelendiğinde ise (Şekil 4.3), %14.91 değeri ile en düşük poroziteye YFC5 numunesinin sahip olduğu görülmüştür. Buna en yakın değere sahip olan numune ise ÖPT5 olmuş ve porozitesi %15.20 olarak belirlenmiştir. Hem ÖPT5 numunesinin

hem de YFC5 numunesinin REF numunesinden daha düşük porozite değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Hem ÖPT hem de YFC miktarlarının artırılması ile porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek porozite değeri 28 günlük verilerde olduğu gibi ÖPT15 numunesinden %17.59 olarak elde edilmiştir.

Harç numunelerinin 90 günlük porozite değerleri incelendiğinde (Şekil 4.3), en düşük porozite değeri %13.17 olarak ÖPT5 numunesinde görülmüş ve ona en yakın değer %13.74 ile ÖPT10 numunesinde görülmüştür. 28 ve 56 günlük verilerde olduğu gibi ÖPT ve YFC miktarlarının artmaya devam etmesi porozite değerlerinin artmasına yol açmıştır. Buna karşın, %14.18 değeri ile en yüksek poroziteye sahip olan YFC15 numunesi dışında tüm numuneler REF numunesinden daha düşük porozite değerine ulaşmıştır.

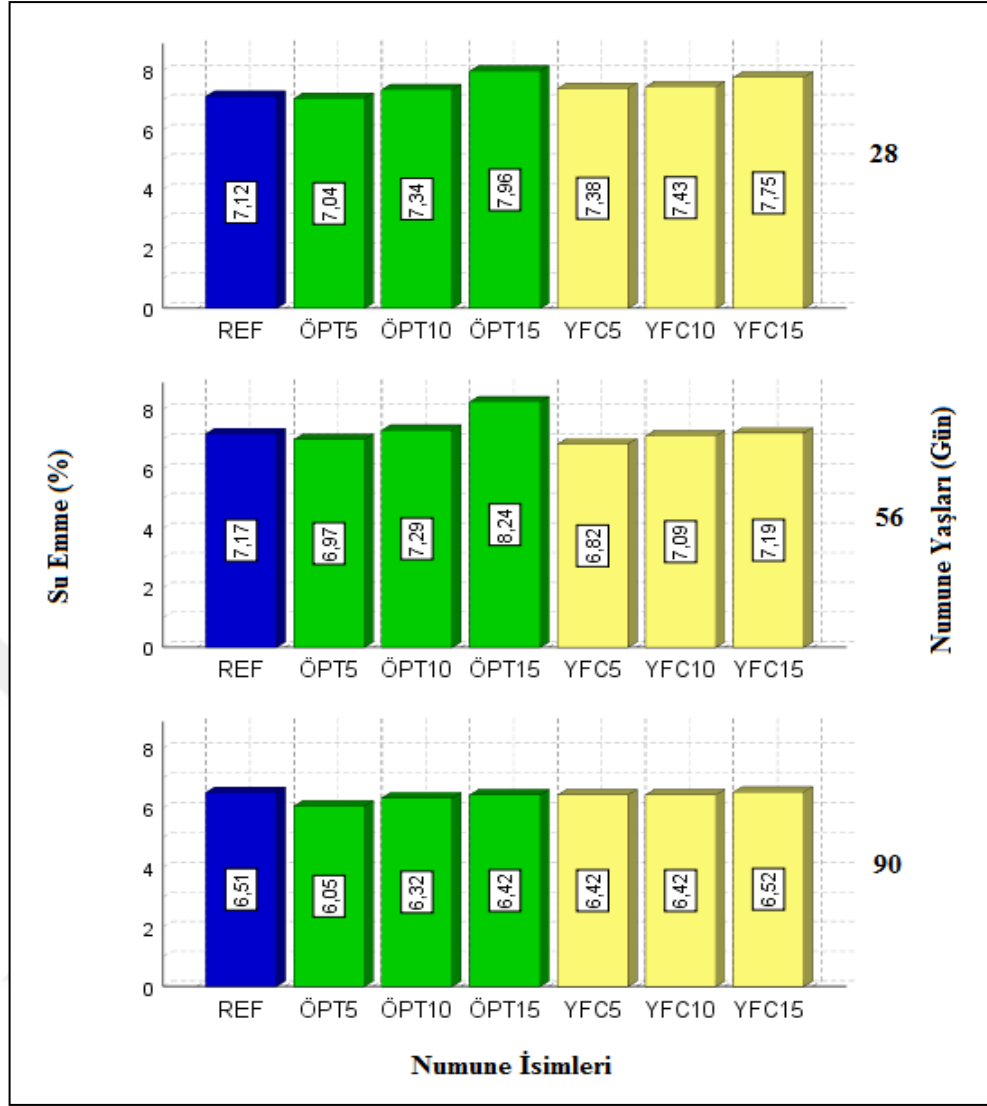


Şekil 4.3. Harç numunelerinin porozite değerleri

Harç numunelerine ait su emme değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Harçlara ait 28 günlük veriler incelendiğinde, ÖPT miktarı artışının su emme değerlerinin artmasına yol açtığı görülmüştür. En yüksek su emme değeri %7.96 olarak ÖPT15 numunesinde hesap edilirken, YFC kullanımının su emme değerlerini de arttırdığı gözlenmiştir. En küçük su emme değeri %7.04 ile ÖPT5 numunesinden, ona en yakın değer %7.12 ile REF numunesinden alınmıştır.

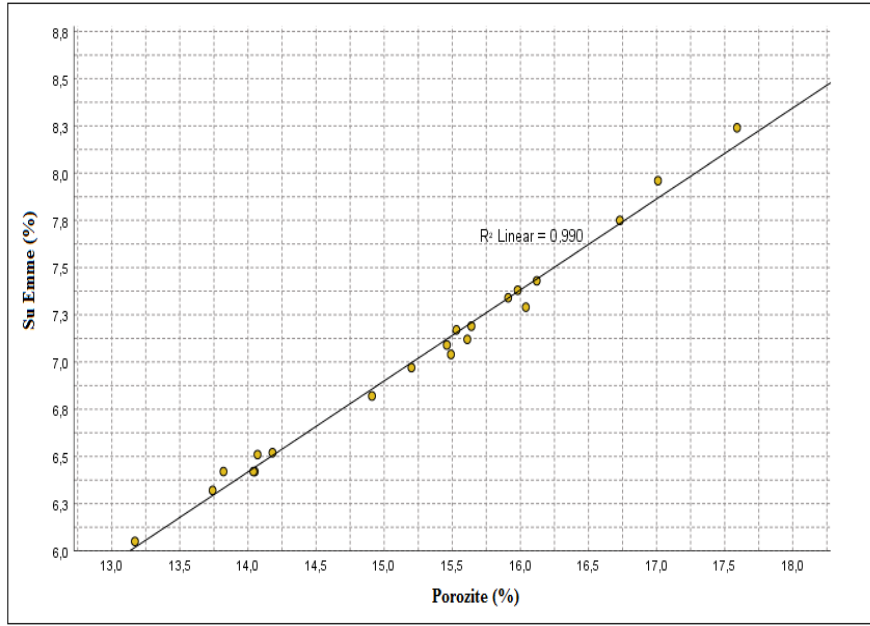
Şekil 4.4'te verilen su emme değerlerine göre, 56. günde en düşük su emme değeri %6.82 ile YFC5 numunesinde görülürken, onu %6.97 ile ÖPT5 numunesi izlemiştir. REF numunesi bu iki numuneden daha yüksek değer almıştır. En yüksek su emme değeri %8.24 olarak ÖPT15 numunesinde görülmüştür.

Harç numunelerine ait 90 günlük verilerde (Şekil4.4), en düşük su emme değeri %6.05 ile ÖPT5 numunesinde görülürken, en yüksek su emme değeri %6.52 ile YFC15 numunesinde görülmüştür. YFC15 numunesi haricindeki tüm numunelerin su emme değerleri REF numunesine göre daha düşük olmuştur.



Şekil 4.4. Harç numunelerinin su emme değerleri

Deney sonunda, numunelerin her yaşta sahip oldukları su emme ve porozite değerlerindeki değişimler arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Su emme ve porozite değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.5'te verilmiştir. Harçlara ait su emme ve porozite değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde, bu iki fiziksel özellik arasında pozitif yönlü çok güçlü bir korelasyon bulunduğu tespit edilmiştir. Yani harç numunelerinin gözeneklilik oranı ne kadar yüksek ise su emme değerleri de o kadar yüksek olmuştur.



Şekil 4.5. Su emme - porozite arasındaki ilişki

Genel olarak harç numunelerinin 28, 56 ve 90 günlük porozite ve su emme değerlerine bakıldığında, ÖPT kullanımı ile YFC kullanımına göre daha düşük su emme ve porozite değerleri alınmıştır. Erken yaşta yalnızca ÖPT5 numunesi REF numunesinden düşük su emme ve porozite değerlerine sahipken, numune yaşları ilerledikçe REF numunesinden daha düşük değerlere sahip olan numune sayısı artmış ve mineral katkı kullanımının faydası görülmeye başlanmıştır. Topçu, vd. (2015), yaptıkları çalışmada YFC kullanımının porozite ve su emme değerlerini düşürdüğünü göstermişlerdir.

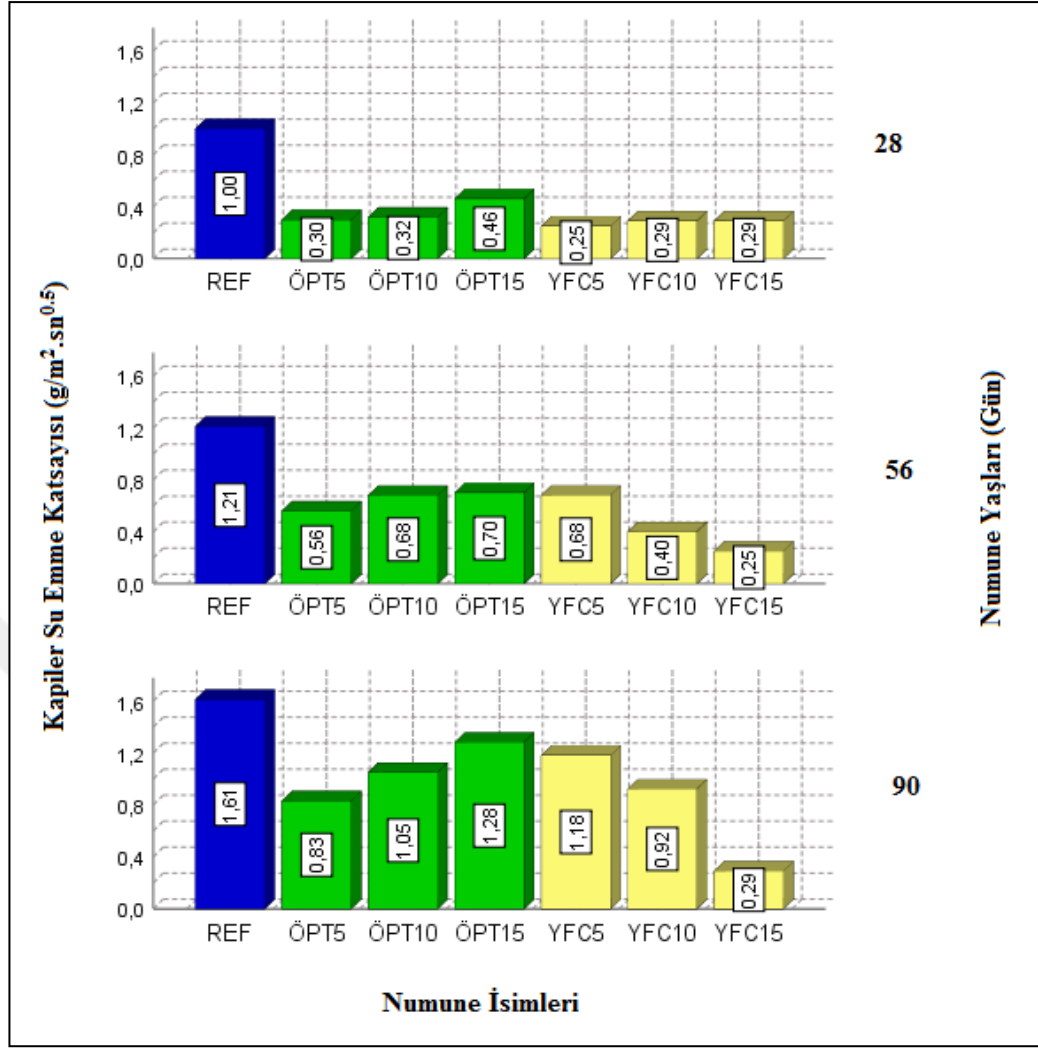
4.5 Kapiler Su Emme Katsayıları

Harç numunelerine 28, 56 ve 90 günlük kür sürelerinin sonunda uygulanan kapiler su emme deneyinden elde edilen veriler Şekil 4.6'da verilmiştir. Harç numunelerine ait 28 günlük kapiler su emme katsayıları incelendiğinde, ÖPT ve YFC katkısı kullanılan bütün harç numunelerinde REF numunesinden daha düşük kapiler su emme katsayısı değerleri okunduğu görülmüştür. Mineral katkı kullanılan harç numunelerinde kapiler su emme katsayıları birbirine çok yakın veya eşit değerler almıştır. En yüksek kapiler su emme katsayısı değerine ulaşan ÖPT15 numunesinin REF numunesinden %54 daha düşük değerde kaldığı görülmüştür. En düşük kapiler

su emme katsayısına sahip olan numune 0.25 değeri ile YFC5 olurken, ÖPT5 numunesi ise 0.30 değeri ile ÖPT katkısı kullanılan numuneler arasında en düşük kapiler su emme katsayısına sahip olan numune olmuştur. YFC kullanımı ile 28 günlük kapiler su emme katsayılarında %75'e varan düşüş sağlanırken, ÖPT için de bu değer %70 olarak gözlenmiştir.

Harç numunelerinin 56. günde alınan verilerinde (Şekil 4.6), YFC katkısı ile üretilen numunelerin kapiler su emme katsayısı değerleri arasındaki farklar daha belirgin hale gelmiştir. ÖPT ve YFC katkısı ile üretilmiş numunelerin tamamının, 28 günlük verilerde olduğu gibi REF numunesinden daha düşük katsayılara sahip olduğu görülmektedir. En düşük kapiler su emme katsayısı değerini alan numune 0.25 ile YFC15 numunesi olurken, REF numunesinden %79 daha düşük değer almıştır. Mineral katkılı harçlar arasında en yüksek değeri alan ÖPT15 numunesi, REF numunesinden %42 daha düşük değer almıştır. YFC15 numunesi dışındaki tüm numunelerin kapiler su emme katsayıları 28 günlük verilere göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

Harç numunelerinin Şekil 4.6'da verilen 90 günlük verilerinde de 56 günlük verilere benzer sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek kapiler su emme katsayısına sahip olan numune REF numunesi olurken, en düşük değer ise YFC15 numunesinde görülmüştür. Mineral katkı kullanılan numuneler arasında en yüksek değeri alan ÖPT15 numunesi REF numunesinden %20 daha düşük seviyede kalmıştır. Tüm harç numunelerinin değerlerinde 56 günlük verilere göre artış görülmüştür. Mineral katkı kullanılan bütün numunelerin kapiler su emme potansiyellerinin her yaşta REF numunesinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Gülen Şahin, vd. (2019), yaptıkları çalışmada YFC kullanımının kapiler su emme katsayısını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.



Şekil 4.6. Harç numunelerinin kapiler su emme katsayıları

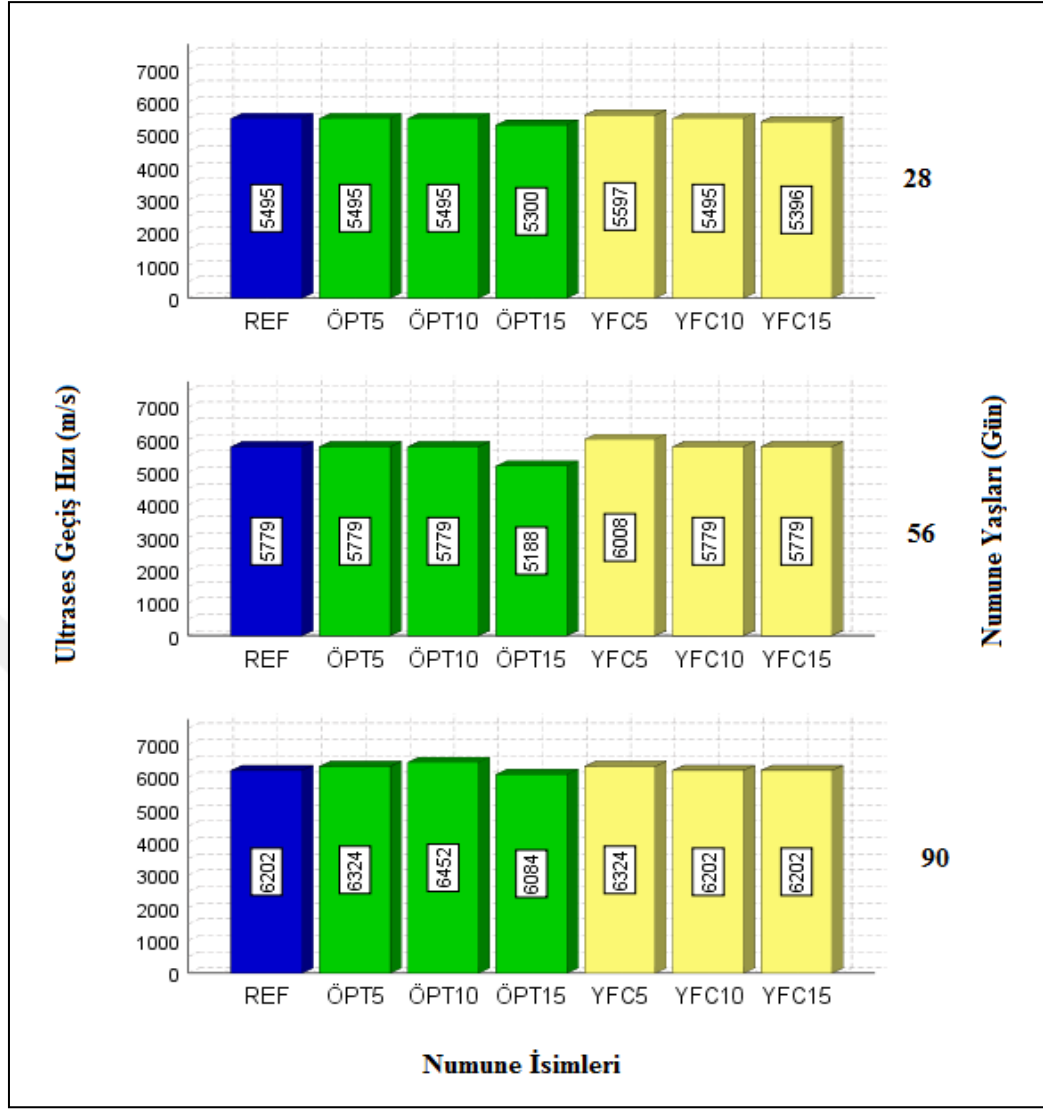
4.6 Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Harç numunelerine 28, 56 ve 90. günlerde uygulanan ultrases geçiş hızı deneyine ait veriler Şekil 4.7’de verilmiştir. Numunelere ait 28 günlük veriler incelendiğinde, en yüksek ultrases geçiş hızı değerinin 5597 m/s ile YFC5 numunesinden alındığı görülmüştür. REF, ÖPT5, ÖPT10 ve YFC10 numunelerinin ultrases geçiş hızlarının 5495 m/s değerinde eşit olduğu görülürken, YFC15 ve ÖPT15 numunelerinin değerleri %2-%3 civarında daha düşük seviyede kalmıştır. Bu durumun YFC15 ve ÖPT15 numunelerinin 28 günlük porozite değerlerinin diğer numunelere göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ultrases geçiş hızının yüksek

olması, numune içerisindeki boşluk oranının düşük olması ile ilişkilidir (Kaya ve Yazıcıoğlu, 2015).

Şekil 4.7'deki verilmiş olan 56 günlük verilere göre, en yüksek ultrases geçiş hızı değeri 28. günde olduğu gibi YFC5 numunesinde 6008 m/s olarak ölçülmüştür. En düşük ultrases geçiş hızı ise 5188 m/s olarak ÖPT15 numunesinde görülmüştür. YFC5 ve ÖPT15 numuneleri dışındaki tüm numunelerin ultrases geçiş hızı değeri 5779 m/s olarak eşit seviyede kalmıştır. ÖPT15 numunesi dışında tüm numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinde 28 günlük verilere göre artış gözlenmiştir.

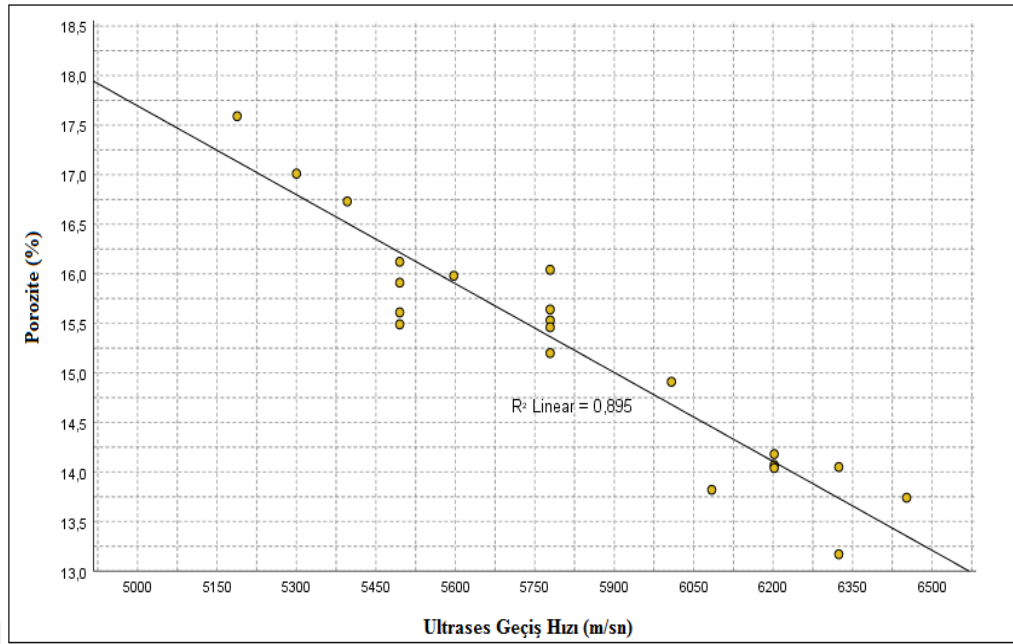
Ultrases geçiş hızı deneylerinin 90 günlük verilerinde (Şekil 4.7), 28 ve 56 günlük verilerden farklı olarak, 6452 m/s ile en yüksek değere ulaşan numune ÖPT10 olmuştur. YFC5 ve ÖPT5 eşit olarak ikinci en yüksek ultrases geçiş hızı değerini alırken, en düşük değerde kalan numune 28 ve 56. günlerde olduğu gibi ÖPT15 numunesi olmuştur.



Şekil 4.7. Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları

Numunelerin yaşları ilerledikçe ultrases geçiş hızlarının arttığı kaydedilmiştir. Bu durumun en temel sebebi numune yaşlarının ilerlemesi ile porozite değerlerinin düşmesinden dolayı ultrases dalgalarının numune içinde daha hızlı yol alabilmesidir. Porozite değerleri ile ultrases geçiş hızları arasındaki ilişki Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Numune ve yaş farkı gözetilmeksizin oluşturulan grafikte (Şekil 4.8), porozite değerleri ile ultrases geçiş hızı değerleri arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon olduğu görülmektedir. Yani numunelerin porozite değerlerinin artışı ile, ultrases geçiş hızlarının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.8. Porozite- ultrases geçiş hızı arasındaki ilişki

4.7 Eğilme ve Basınç Dayanımı Değerleri

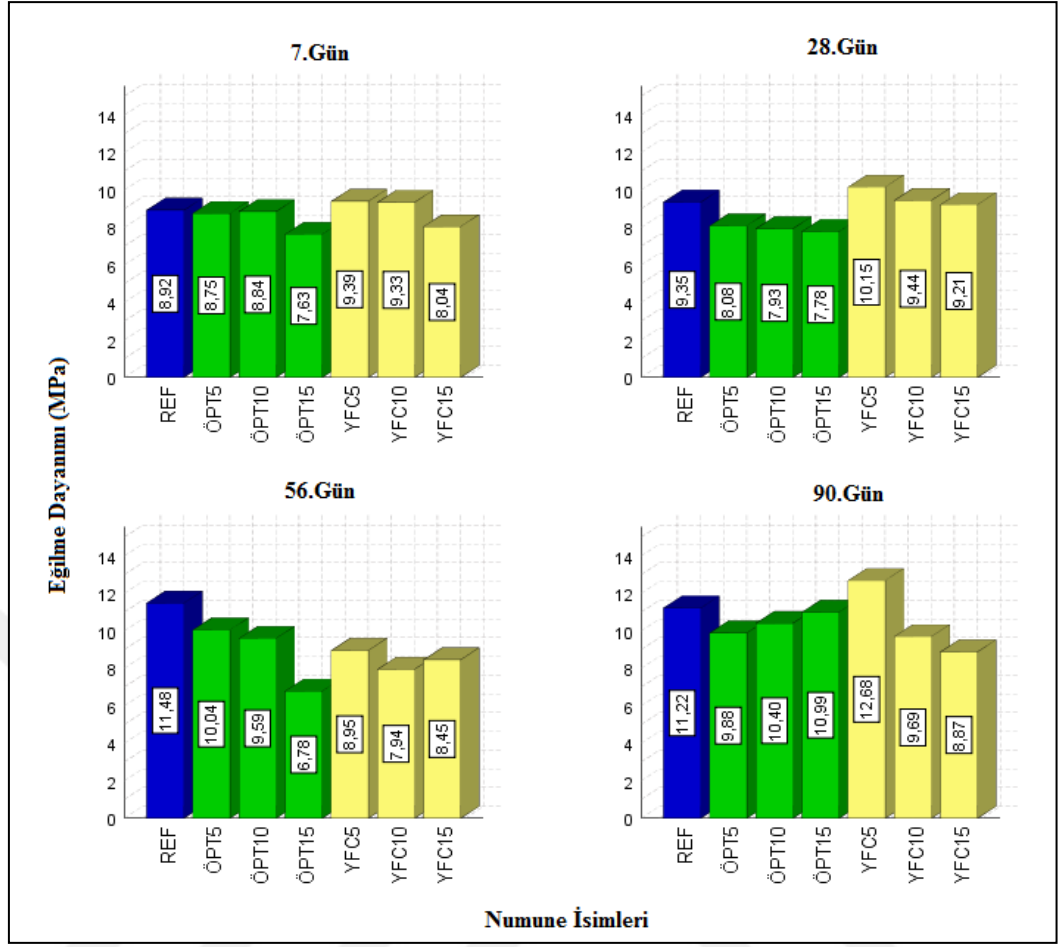
Tüm numunelere 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süresini takiben eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Numunelere ait eğilme dayanımı değerleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Numunelere ait 7 günlük veriler incelendiğinde, en yüksek eğilme dayanımı değeri 9.39 MPa ile YFC5 numunesinde görülmüştür. En düşük eğilme dayanımı değerinin okunduğu numune ise 7.63 MPa ile ÖPT15 olmuştur. Numunelerin 7 günlük sonuçlarına göre ÖPT kullanımı eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilerken YFC kullanımı ile eğilme dayanımında artış görülmüş, ancak YFC miktarının artmasıyla eğilme dayanımı değerleri düşmeye başlamıştır. REF numunesinden daha yüksek eğilme dayanımı YFC5 ve YFC10 numunelerinden elde edilmiştir.

Numunelerin Şekil 4.9'da verilen 28 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek değer YFC5 numunesinde 10.15 MPa olarak görülmüştür. En düşük eğilme dayanımı değerine sahip olan numune ise 7.78 MPa ile ÖPT15 olmuştur. Veriler incelendiğinde 7 günlük sonuçlara benzer olarak ÖPT kullanımının eğilme dayanımlarını düşürdüğü, YFC kullanımında ise kayda değer bir artışın ardından

YFC miktarının artması ile düşüşler meydana geldiği belirlenmiştir. REF numunesinden daha yüksek eğilme dayanımı değerine ulaşan numuneler YFC5 ve YFC10 numuneleri olmuştur.

Harç numunelerinin 56 günlük eğilme dayanımı değerlerinde (Şekil 4.9), diğer günlere göre büyük farklılıklar görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı değeri 11.48 MPa olarak REF numunesinde gözlenmiştir. Mineral katkı ile üretilen numuneler arasında en yüksek değere 10.04 MPa ile ÖPT5 numunesi ulaşırken, en düşük değerde kalan numune ÖPT15 olmuştur. Her iki mineral katkı kullanımının da eğilme dayanımlarında kayıplara yol açtığı görülmektedir.

Şekil 4.9’da verilen 90 gün sonundaki eğilme dayanımı verileri incelendiğinde, en yüksek değer YFC5 numunesinde 12.68 MPa olarak okunduğu görülmektedir. Karakurt ve Pektaş (2015), silindirle sıkıştırılmış beton üzerinde yaptıkları çalışmada YFC kullanımının eğilme dayanımını arttırdığına işaret eden sonuçlara ulaşmışlardır. Diğer günlerden farklı olarak 90. günde en düşük eğilme dayanımı değeri YFC15 numunesinde görülmüştür. ÖPT kullanılarak üretilen harçların eğilme dayanımları, REF numunesinden düşük kalsa da, ikame oranı arttıkça yükselmiştir.



Şekil 4.9. Harç numunelerinin eğilme dayanımı değerleri

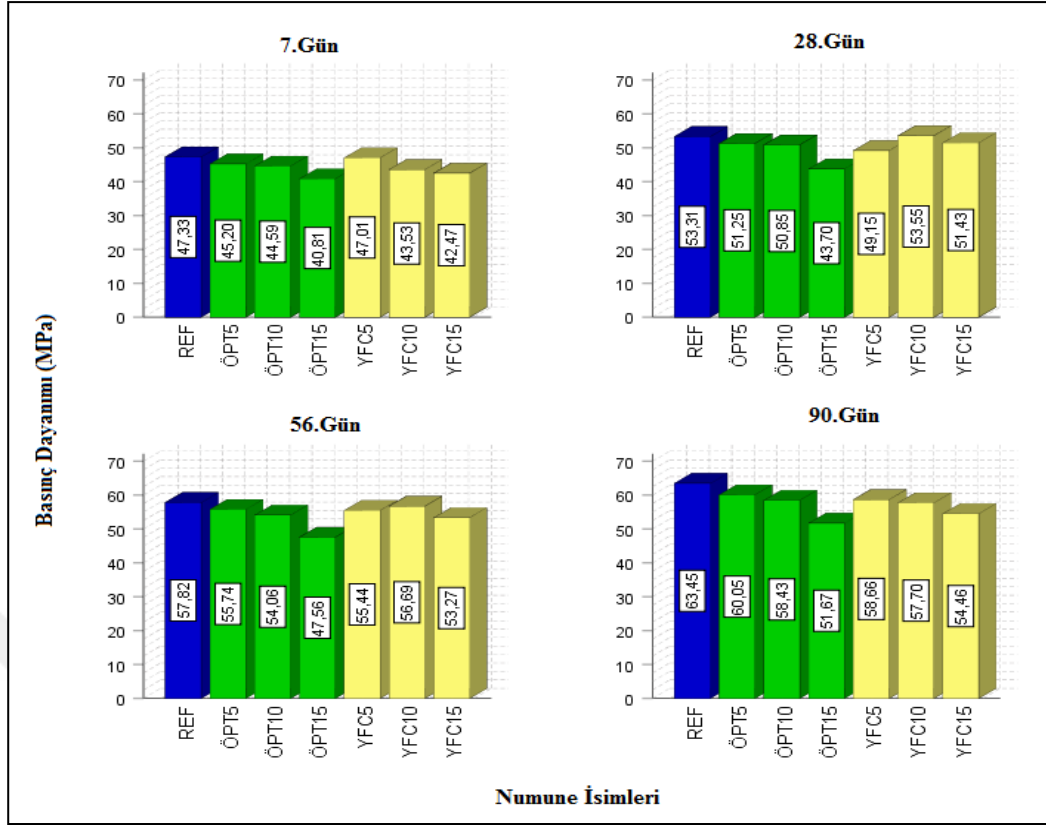
Numunelere ait basınç dayanımı değerleri Şekil 4.10’da görülmektedir. Harçların 7 günlük verileri incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı değeri REF numunesinde 47.33 MPa olarak görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değerinde kalan numune ise 40.81 MPa ile ÖPT15 olmuştur. Hem YFC hem de ÖPT miktarlarının artırılmasının, basınç dayanımı değerlerinde kayıp yaşanmasına yol açtığı tespit edilmiştir.

Harçlardan elde edilen 28 günlük basınç dayanımı verilerine göre (Şekil 4.10), en yüksek değer YFC10 numunesinde 53.55 MPa olmuştur. Bu değer REF numunesinden elde edilen basınç dayanımından yalnızca %0.44 daha fazladır. En düşük basınç dayanımına sahip numune olan ÖPT15 numunesinde ise 43.70 MPa değeri okunmaktadır. ÖPT15 numunesinin basınç dayanımının, REF numunesinden elde edilmiş olan basınç dayanımının %82’sine eşit olduğu görülmüştür. Bu durum

göz önünde bulundurularak, tüm numunelerin basınç dayanımı açısından kabul edilebilir performanslar sergilediği görülmektedir.

Numunelerin 56 günlük verilerinde, basınç dayanımı en yüksek değere ulaşan numune REF numunesi olmuştur (Şekil 4.10). REF numunesinin basınç dayanımı 57.82 MPa değerine ulaşırken, en düşük değerde kalan ÖPT15 numunesi REF numunesinin sahip olduğu basınç dayanımı değerinin %82'sine ulaşmıştır. Mineral katkıli harç numuneleri arasında en yüksek basınç dayanımı değerine ulaşan numune YFC10 numunesi olmuştur. ÖPT ve YFC katkıli numunelerin çok yakın değerler almaya başladığı tespit edilmiştir.

Numunelerin sahip oldukları 90 günlük basınç dayanımı değerleri (Şekil 4.10) incelendiğinde de en yüksek değer REF numunesinde görülmüştür. Hem ÖPT hem de YFC ikame oranlarının artışı ile basınç dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Emiroğlu vd. (2011), beton numuneler üzerinde yaptıkları çalışmada YFC içeriğinin artışı ile meydana gelen basınç dayanımı düşüşlerini gözlemlemişlerdir.



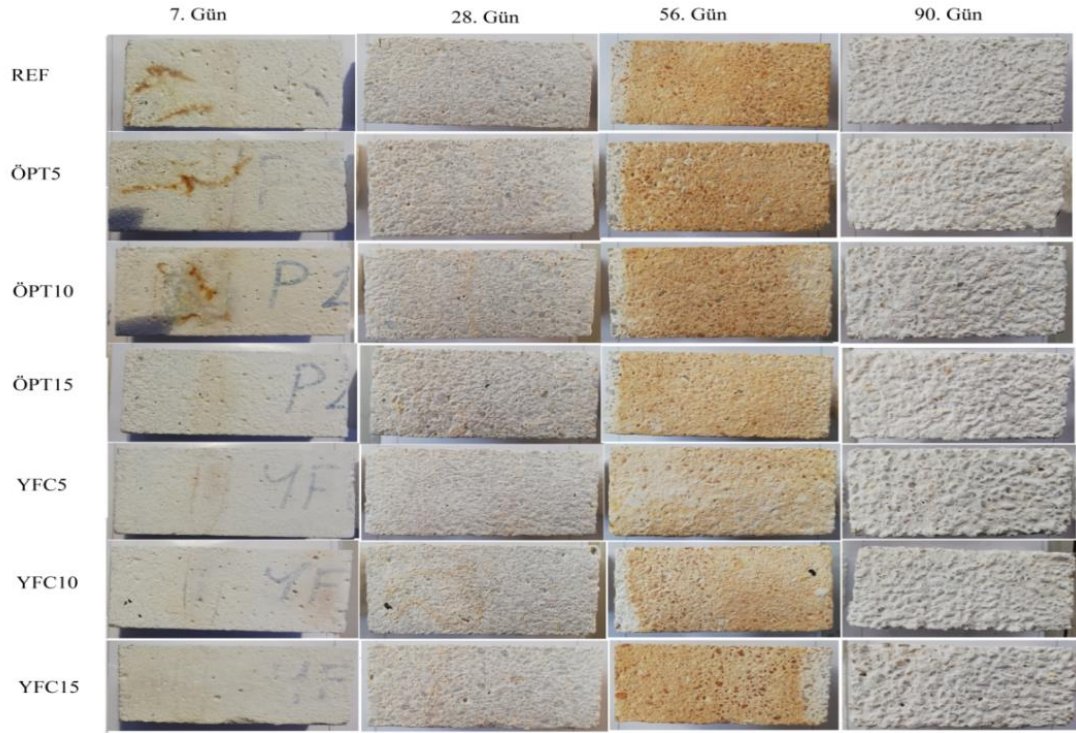
Şekil 4.10. Harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri

Mineral katkılı numuneler arasında en yüksek basınç dayanımı değeri 60.05 MPa ile ÖPT5 numunesinde görülmüştür. ÖPT5 numunesi 90 gün sonunda REF numunesinin basınç dayanımı performansının %95'ine ulaşmıştır. ÖPT numunelerinin 90 gün sonunda YFC numunelerinden daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. İkame oranlarının %5 ve %10 olduğu durumlarda ÖPT daha yüksek dayanıma sahip olurken, %15 için YFC numunesi daha iyi performans göstermiştir. ÖPT15 numunesinde meydana gelen işlenebilirlik kaybı neticesinde yerleşmenin diğer numunelerdeki kadar sağlıklı olmamasının daha düşük basınç dayanımına sahip olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

4.8 Asit Etkisiyle Fiziksel Özelliklerin Değişimi

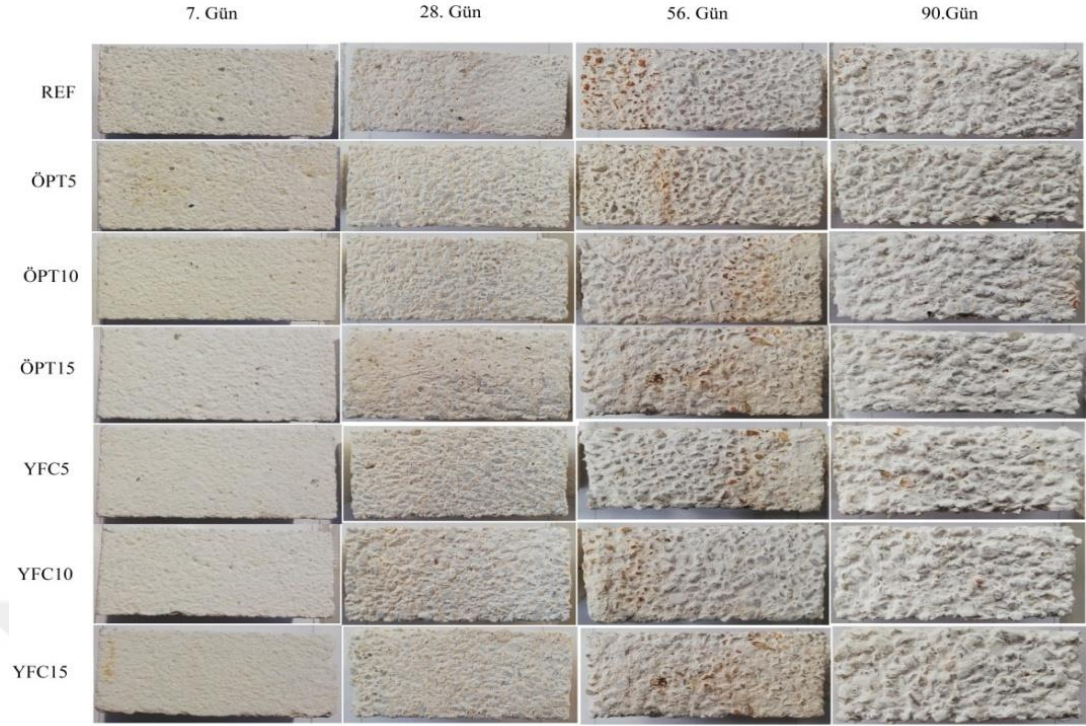
ÖPT ve YFC katkısı ile üretilen harç numuneleri 90 gün süre ile SA çözeltilerinde bekletilmiş ve bu süre boyunca (7, 28, 56 ve 90. günler) numuneler takip altında tutulmuştur. Numunelerin 0.5, 1.0 ve 1.5 M derişimdeki asit saldırıları sonucu

uğradıkları aşınma nedeniyle oluşan görsel değişimler sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. 0.5 M derişime sahip SA çözeltisi etkisindeki harç numuneleri incelendiğinde (Şekil 4.11), numunelerin asit çözeltilerinde bekleme süreleri arttıkça yüzey aşınmalarının arttığı görülmüştür.



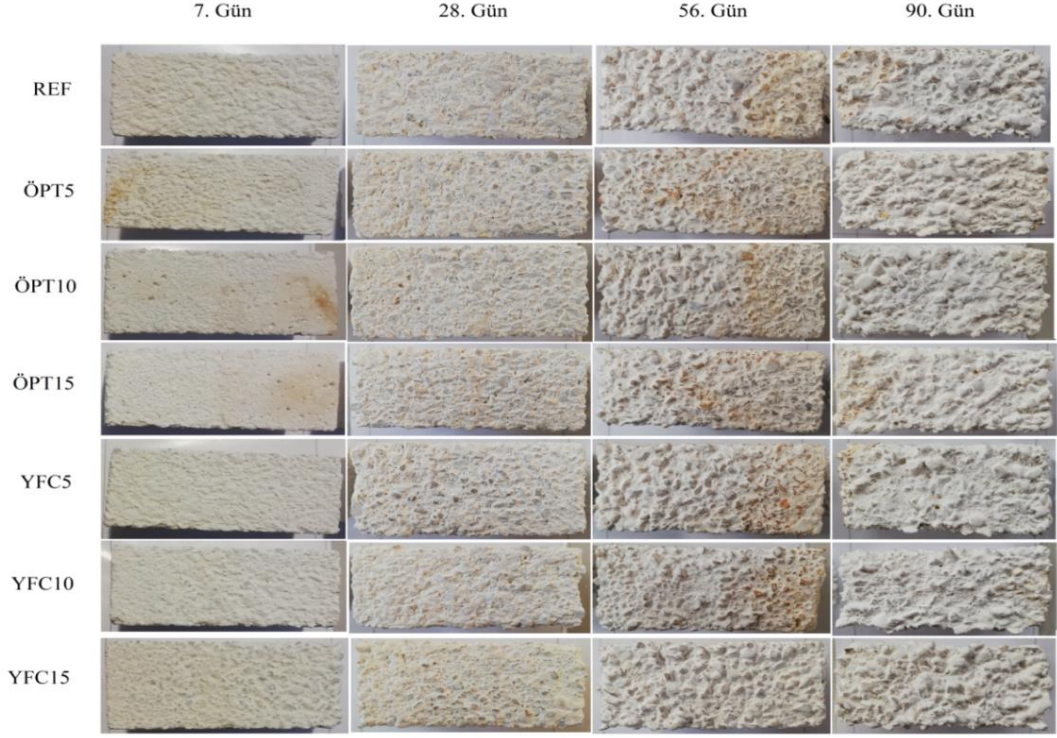
Şekil 4.11. 0.5 M çözeltideki numunelerin görsel değişimleri

Şekil 4.12'de verilen, 1.0 M çözeltide bekleyen numunelere ait görselde de görüldüğü üzere, numunelerin asidik ortama maruz kaldığı süre uzadıkça meydana gelen aşınmalar artmakta ve harç yüzeylerinde büyük bozulmalar oluşmaktadır. Harç yüzeylerindeki aşınmaların ve kesit kayıplarının 0.5 M çözeltide bekleyen numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. 1.0 M çözeltideki numunelerin görsel değişimleri

Harç numunelerinde 1.5 M asit çözeltisi etkisi ile meydana gelen değişimler incelendiğinde (Şekil 4.13); sürecin uzaması ile birlikte numunelerde gözle görülür şekilde büyük boyutlarda tahribatlar olduğu, REF numunesinde ve YFC numunelerinde 90 günün sonunda parça kopmaları ile büyük kesit kayıplarının meydana geldiği görülmüştür.



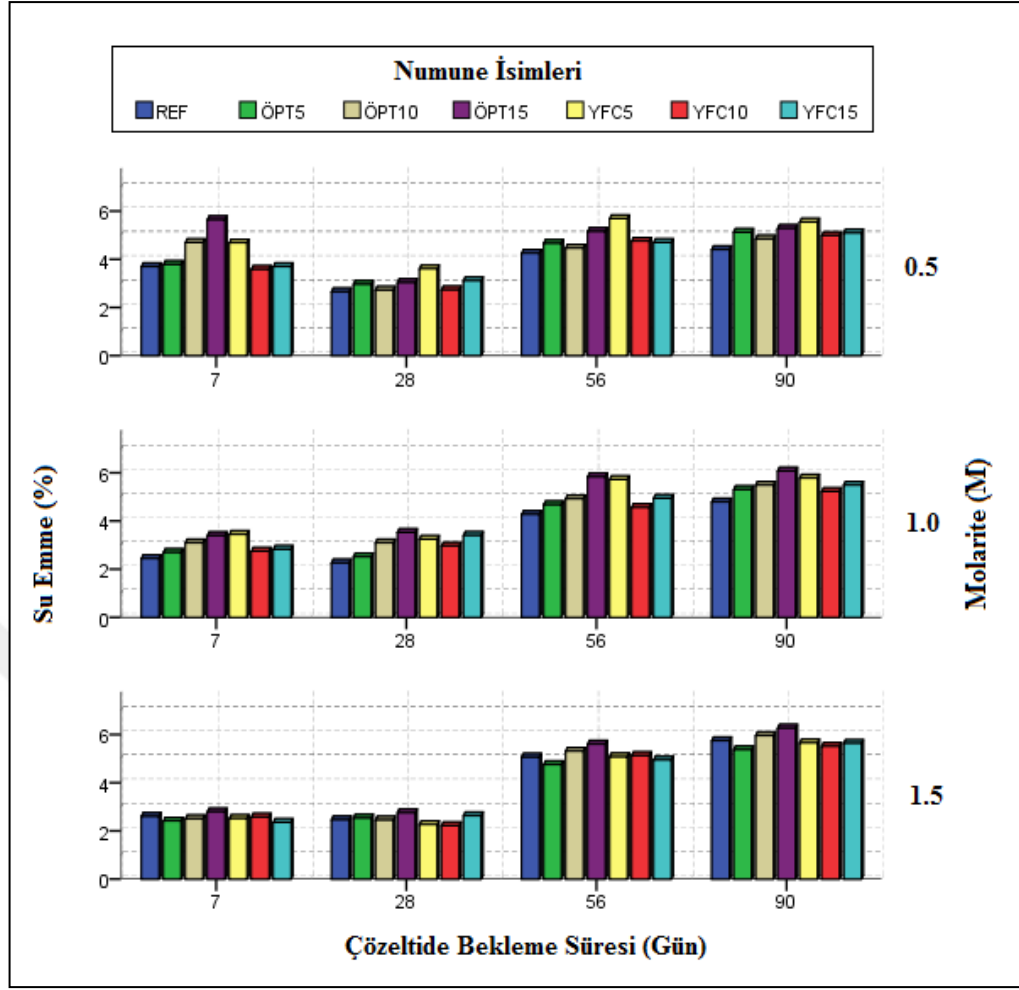
Şekil 4.13. 1.5 M çözeltideki numunelerin görsel değişimi

Asit etkisi ile meydana gelen bozulmaların asidik ortamın agresifliğine ve asit etkisine maruz kalma süresine bağlı olduğu gözlemlenmiştir. En fazla bozulma 1.5 M derişimdeki SA çözeltisinde bekletilen harç numunelerinde meydana gelmiştir.

Asit çözeltilerinde 7, 28, 56 ve 90 gün süre ile bekletilen harç numunelerinden elde edilen su emme değerleri Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Molar derişimi 0.5 olan asit çözeltisinde bekletilen harç numunelerine ait veriler incelendiğinde, 7 günlük sonuçlar dışında en düşük su emme değerlerinin REF numunesine ait olduğu görülmektedir. Bahsedilen günde ise (7. gün) en düşük değerler YFC10 numunesinde okunmaktadır. Mineral katkılı numuneler arasında 7. günde YFC10 numunesi en düşük değeri alırken 28, 56 ve 90 günlük verilerde ÖPT10 numunesinin en düşük değeri aldığı belirlenmiştir. En yüksek değerlerin ise YFC5 numunesinde olduğu görülmektedir. Tüm numunelerin su emme değerlerinde ilk 28 gün genel bir düşüş, ilerleyen yaşlarda ise artışlar gözlenmiştir.

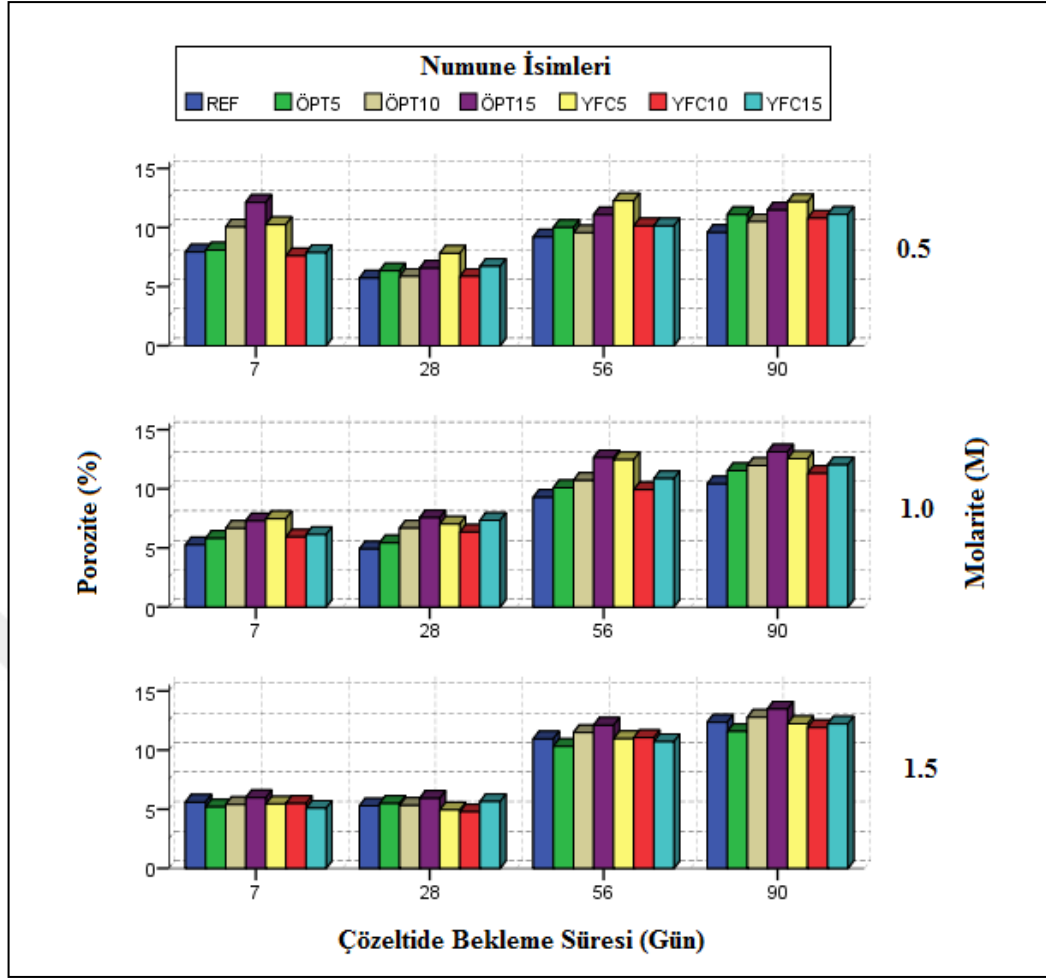
Molar derişimi 1.0 olan çözeltiye maruz kalmış harç numunelerine ait verilerde (Şekil 4.14), tüm günler için en düşük su emme değeri REF numunesinde görölmüştür. YFC ve ÖPT kullanılarak üretilmiş numuneler kıyaslanacak olursa, erken yaşlarda ÖPT5 numunesi düşük su emme değerlerine sahipken ilerleyen yaşlarda YFC10 numunesi daha düşük değerlere sahip olmuştur. En yüksek değerler ÖPT15 numunesinde yoğunlaşmıştır. Tüm numunelerin su emme değerleri 7. günde bir miktar yükselmiş, 28. günde yaşanan düşüşün ardından 56 ve 90. günlerde tekrardan yükselmiştir.

Numunelerin Şekil 4.14'te verilen 1.5 Molar derişime sahip çözelti içerisindeki verileri incelendiğinde, diğer çözeltilerden farklı olarak, REF numunelerinin en düşük değerleri almadığı belirlenmiştir. En düşük su emme değerleri erken yaşlarda YFC15 ve YFC10 numunelerinde görülürken, 56 ve 90 günlük verilerde ÖPT5 numunesinde görölmüştür. En yüksek su emme değerlerinin ise ÖPT15 numunesinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Su emme değerlerinin asit etkisinde değişimi

Harç numunelerinin asit etkisi altındaki porozite değeri değişimleri Şekil 4.15'te verilmiştir. Tüm asit çözeltilerinde ve tüm günlerde harç numunelerinin porozite değerleri ile su emme değerlerindeki değişimler paralellik göstermiştir. Bütün asidik ortamlarda, numunelerin porozite değerlerinin artması ile su emme değerlerinde de artış görülmüştür.



Şekil 4.15. Porozite değerlerinin asit etkisinde değişimi

Su emme ve porozite değerlerine bakıldığında (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15), çözelti derişiminin 1.5 M olduğu durumda REF numunesinin mineral katkılı numunelere karşı sahip olduğu üstünlüğü kaybettiği görülmektedir. En agresif asidik ortam şartlarına uzun dönem maruz kalan harçlar söz konusu olduğunda, ÖPT5 numunesinin porozite ve su emme değerini en düşük düzeyde tutmayı başardığı belirlenmiştir. YFC katkısının ise erken yaşlarda daha düşük seviyede porozite ve su emme değerine sahip olduğu görülmektedir. SA'nın YFC bünyesindeki kalsiyum ile reaksiyona girmesi ile oluşan alçı taşının ve kalsiyum tuzlarının erken yaşlarda harç yapısındaki gözenekleri doldurduğu, ilerleyen yaşlarda ise bu oluşumların çözünmesi ve harç yapısının aşınmaya devam etmesinin porozite değerinde yükselişlere neden olduğu düşünülmektedir (Özgen, 2006). ÖPT bünyesindeki kalsiyum oranının oldukça düşük olması nedeni ile bu etki çok daha az görülmekte ve erken yaşlarda porozite oranı daha yüksek seviyelerde kalmaktadır.

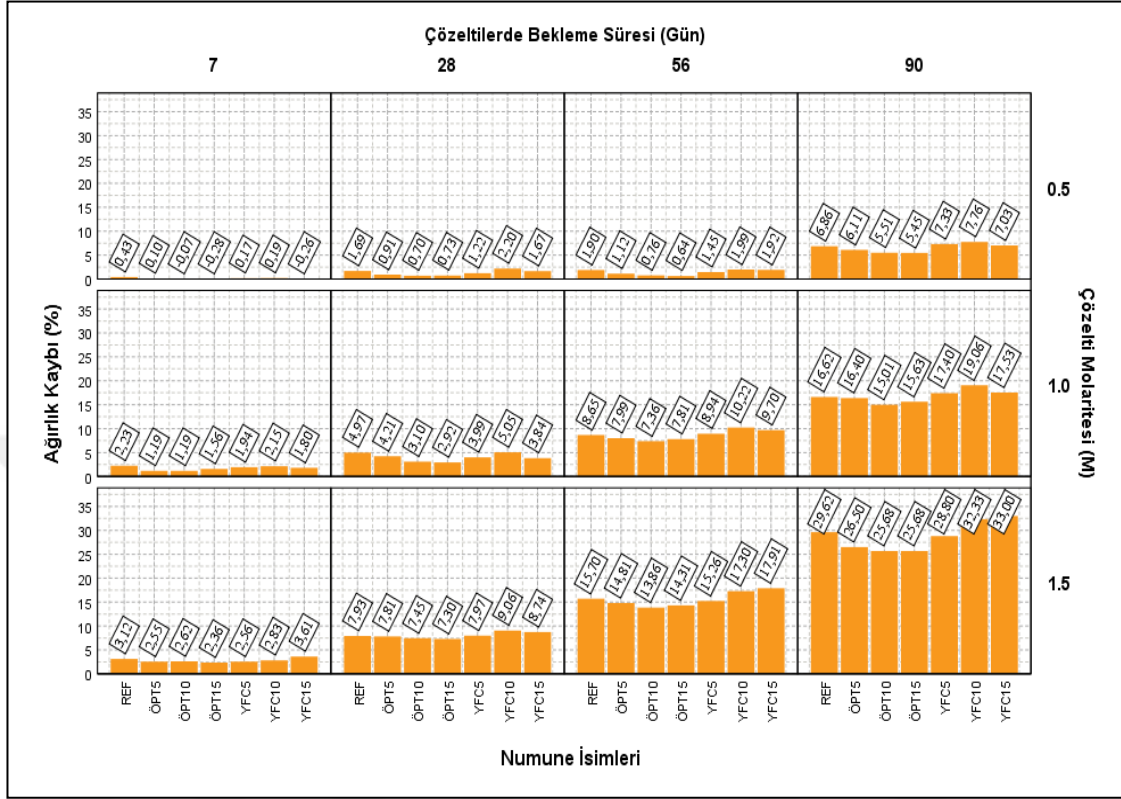
4.9 Asit Etkisiyle Ağırlık Kaybı Değerleri

ÖPT ve YFC ile üretilerek 28 günlük su kürüne tabi tutulan ve sonrasında 90 gün süre ile 0.5, 1.0 ve 1.5 Molar derişimlere sahip SA çözeltilerinde bekletilen harç numunelerinin ağırlık kaybı değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Veriler incelendiğinde, 0.5 Molar derişime sahip çözeltideki numunelerin 7 günlük ağırlık kaybı değerlerinde genellikle düşüş meydana gelirken, bazı numunelerin ağırlıklarında artışlar meydana geldiği görülmüştür. Numune yaşlarının ilerlemesi ile ağırlık kayıpları artmaya ve numuneler arasındaki ağırlık kaybı farkları belirginleşmeye başlamıştır. Tüm yaşlarda ağırlık kayıplarının ÖPT numunelerinde daha az olduğu gözlenmiştir. En az ağırlık kaybı yaşayan numuneler 7, 56 ve 90 gün için ÖPT15, 28 gün için ise ÖPT10 olmuştur. Molar derişimi 0.5 olan çözeltideki 90 günlük sürecin sonunda tüm YFC numuneleri REF numunesinden daha fazla ağırlık kaybı yaşarken, bütün ÖPT numuneleri REF numunesinden daha az ağırlık kaybı yaşamıştır. ÖPT miktarı arttıkça ağırlık kayıplarının düştüğü tespit edilmiştir. ÖPT15 numunesi 90 günün sonunda REF numunesinden %21 daha az ağırlık kaybetmiştir. En fazla ağırlık kaybının görüldüğü YFC10 numunesi ise REF numunesinden %13 daha fazla ağırlık kaybetmiştir.

Şekil 4.16'daki verilere göre harç numunelerinin 1.0 M asit çözeltisindeki ağırlık kayıpları incelendiğinde, tüm yaşlarda ÖPT numunelerinin tamamının REF numunesinden daha az ağırlık kaybettiği belirlenmiştir. YFC numunelerinin ise 56. günden itibaren tamamında REF numunesinden daha fazla ağırlık kaybı görülmüştür. Sürecin sonunda en iyi performansa sahip numune ÖPT10 numunesi olmuş ve REF numunesinden %9, en kötü performansa sahip YFC10 numunesinden ise %21 daha az ağırlık kaybetmiştir.

Çalışmadaki en agresif asidik ortam olan 1.5 M SA çözeltisine maruz kalan harç numunelerine ait ağırlık kaybı verileri incelendiğinde Şekil (4.16), ÖPT katkılı tüm numunelerin her yaşta REF numunesinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. YFC numunelerinin ise tamamı 28. günden itibaren REF numunesinden daha yüksek ağırlık kaybı değerlerine ulaşmıştır. ÖPT10 ve ÖPT15 numuneleri çözelti içerisinde geçirdiği 90 günün ardından, REF numunesinden %13, ağırlık kaybının en fazla

görüldüğü YFC15 numunesinden ise %22 daha düşük ağırlık kaybı değerine sahip olmuşlardır.



Şekil 4.16. Harç numunelerinin ağırlık kayıpları

Ağırlık kaybı deneylerinde ÖPT kullanılan tüm numuneler, her ortam ve yaşta REF numunesinden daha iyi performans göstermişlerdir. YFC kullanımının ise asit etkisi ile gerçekleşen ağırlık kayıplarında olumsuz etkileri gözlenmiştir.

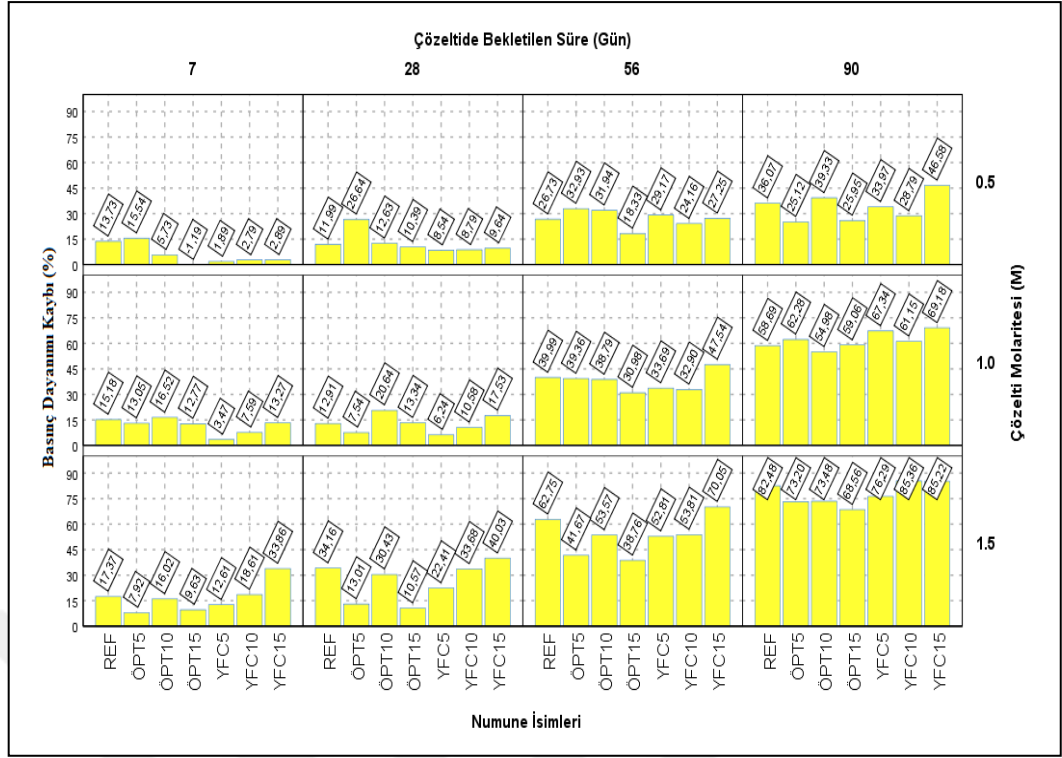
4.10 Asit Etkisiyle Dayanım Kaybı Değerleri

Harç numunelerinin SA çözeltileri içerisinde geçirdikleri 90 gün süre boyunca gözlemlenen basınç dayanımı değerlerindeki değişimler Şekil 4.17’de görülmektedir. Molar derişimi 0.5 olan çözeltideki numunelere ait veriler incelendiğinde, 7. günde ÖPT15 numunesinin basınç dayanımında %1.19 oranında artış görülmüştür. Genel olarak ÖPT oranının artışı ile dayanım kayıplarında düşüş gerçekleşmiş ve ÖPT15 numunesi 7, 28, 56 ve 90. günlerde REF numunesinden daha az dayanım

kaybetmiştir. YFC numunelerinin ise 7 ve 28. günlerde tamamı REF numunesinden daha iyi sonuçlar vermiş olsa da, 56 ve 90. günlerde yalnızca YFC10 numunesi REF numunesinden daha az dayanım kaybına uğramıştır. Dayanım kayıplarının izlendiği 90 günlük süreci en iyi performansla tamamlayan ÖPT5 numunesinin REF numunesinden %30, en fazla dayanım kaybının görüldüğü YFC15 numunesinden ise %46 daha az basınç dayanımı kaybettiği tespit edilmiştir.

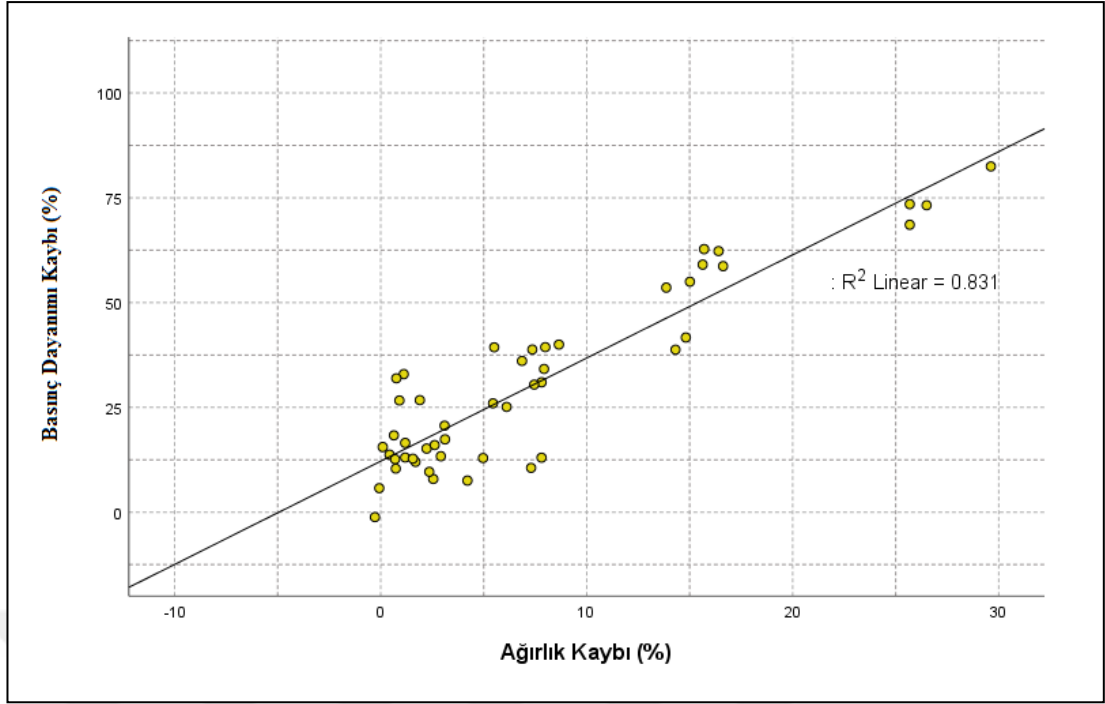
Şekil 4.17'ye göre, derişimi 1.0 M olan çözeltideki numunelerde ise, ÖPT katkısının olumlu etkileri erken dönemde de gözlemlenmeye başlamıştır. YFC katkısının erken dönemde gözlemlenen iyileştirme etkisinin, 1.0 M derişimdeki çözeltide daha zayıf olduğu belirlenmiştir. YFC15 numunesinde gerçekleşen dayanım kaybının 28. günden itibaren REF numunesinde gerçekleşen dayanım kaybından daha yüksek seyrettiği, 90 günlük sürecin sonunda ise tüm YFC numunelerinin REF numunesinden daha fazla dayanım kaybettiği görülmüştür. ÖPT10 numunesi, REF numunesinden %7, en fazla dayanım kaybeden YFC15 numunesinden de %21 daha az dayanım kaybına uğrayarak 90 günlük süreci en iyi performans ile tamamlayan numune olmuştur.

Harç numunelerinin 1.5 M derişime sahip çözeltideki verileri (Şekil 4.17) incelendiğinde, özellikle erken yaşlarda YFC kullanımı ile iyileşme görülen numuneler olsa da, YFC oranı arttıkça yükselen dayanım kayıpları gözlenmektedir. ÖPT kullanımının sağladığı iyileştirme etkisi ise her yaşta görülmektedir. ÖPT ikamesi ile üretilen tüm numuneler, tüm günlerde REF numunesinden daha iyi performansa sahip olmuşlardır. Molar derişimin 1.5 olduğu durumda 90 günlük sürecin sonunda tüm ÖPT numuneleri, hem REF numunesinden hem de tüm YFC numunelerinden daha düşük dayanım kaybı değerlerine sahip olmuşlardır. Sahip olduğu basınç dayanımını en iyi şekilde koruyan ÖPT15 numunesi 90 günlük süreci REF numunesinden %17, YFC5 numunesinden %10, YFC10 ve YFC15 numunelerinden ise %20 daha az dayanım kaybederek tamamlamıştır.

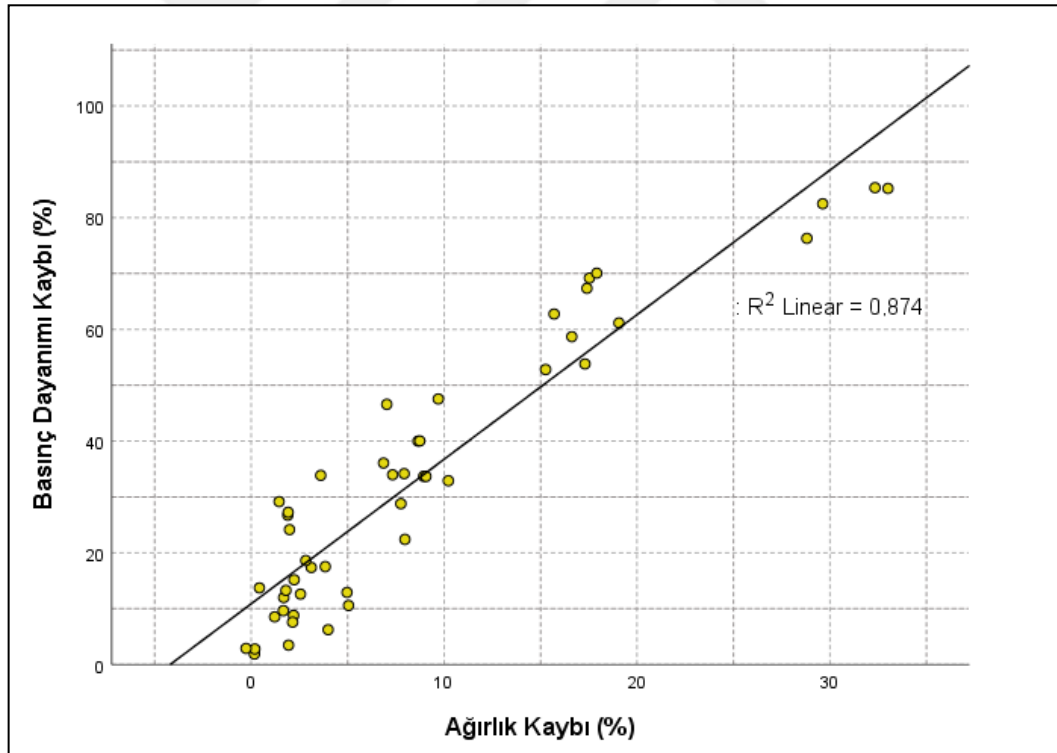


Şekil 4.17. Numunelerin basınç dayanımı kayıpları

ÖPT ve YFC ikamesi ile üretilen harç numunelerinin 90 gün süre boyunca SA saldırılarına maruz kalması ile gözlemlenen ağırlık kayıpları ve dayanım kayıpları arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.18’de ve Şekil 4.19’da verilmiştir. ÖPT ve YFC numunelerinin ağırlık kayıpları ve dayanım kayıpları arasında güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Pozitif yönlü bu korelasyon, ağırlık kaybı arttıkça dayanım kayıplarının da arttığına işaret etmektedir.



Şekil 4.18. ÖPT içeren numunelerin ağırlık kaybı - dayanım kaybı ilişkisi



Şekil 4.19. YFC içeren numunelerin ağırlık kaybı - dayanım kaybı ilişkisi

Farklı molar derişimlerde asit saldırılarına maruz bırakılan harç numunelerinden alınan tüm verilerin ışığında, ÖPT kullanımı ile harç numunelerinin asit dirençlerinde

önemli boyutta iyileşmeler görüldüğü belirlenmiştir. Uzun süreli asit saldırılarına ve/veya agresif asidik ortamlara maruz kalması muhtemel olan yapılarda ÖPT kullanımının, kesit ve dayanım kayıplarını katkısız ve YFC katkılı harçlara göre daha düşük değerlere indirerek çok daha iyi performans elde edilmesini sağlayacağı tespit edilmiştir.

REF numunesi ve YFC içeren numunelerin asit saldırılarına karşı ÖPT numunelerine göre daha dayanıksız olmasının, yüksek oranda CaO içermelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çözünür kalsiyum tuzlarının oluşmasının, aside karşı gösterilen direnci olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir (Baradan, vd., 2010; Bakharev, vd., 2003). ÖPT, çok düşük oranda CaO ve yüksek oranda SiO₂ içerdiği için asit saldırılarına karşı oldukça iyi direnç göstermiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

YFC ve ÖPT ikamesi ile üretilen harç numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda harçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile asit etkisindeki ağırlık ve dayanım kayıpları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

5.1 Sonuçlar

- Puzolanik aktivite indeksi belirlenen ÖPT malzemesinin harç ve betonlarda mineral katkı olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- ÖPT kullanımı ile harçların taze haldeki işlenebilirlik özelliklerinde %3 ve %6 değerlerinde kayıplar gözlenmiştir. Bu işlenebilirlik kaybının ÖPT mineralinin 25-40 mikron boyutlarında öğütülerek kullanılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür.
- ÖPT ikamesi ile üretilen harç numunelerinden elde edilen veriler, ÖPT oranının artması ile harçların basınç dayanımlarında sistematik bir azalma meydana geldiğini göstermiştir. Bu durumun ÖPT mineralinin çok düşük kalsiyum içeriğine sahip olmasından ve taze haldeki işlenebilirlik kaybından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mineral katkı olarak ÖPT kullanılırken, %15 oranına kadar ikamenin büyük mekanik kayıplar yaşanmadan gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir.
- Harçların sahip oldukları su emme ve porozite değerlerinde ÖPT kullanımının YFC kullanımına göre daha çok fayda sağladığı görülmektedir. Erken yaşlarda yalnızca ÖPT5 numunesinde görülen iyileşme, ilerleyen yaşlarda puzolanik reaksiyonların devam etmesi ile daha fazla numunede görülmeye başlamış ve mineral katkı kullanımı ile gelen iyileşme etkileri belirginleşmiştir.
- Harç numunelerinin porozite ve su emme değerleri arasında çok güçlü bir korelasyon bulunduğu tespit edilmiştir. Porozite değerlerindeki artış veya azalışa paralel olarak su emme değerlerinde de artış veya azalışlar görülmüştür.

- Kapiler su emme yönünden en iyi performanslar YFC15 numunesinde görülmüştür. REF numunesinde her yaşta diğer tüm numunelerden daha fazla kapiler su emme katsayıları hesaplanmıştır. Her iki mineral katkının kullanımının da harçların kapiler su emme miktarlarını düşürdüğü belirlenmiştir.
- Tüm numunelerin yaşları ilerledikçe sahip oldukları ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmüştür. 28 ve 56 günlük verilerde en yüksek ultrases geçiş hızı değerleri YFC5 numunesinde görülürken 90 günlük verilerde en yüksek değere sahip olan numune ÖPT10 numunesi olmuştur.
- Harç numunelerine ait porozite ve ultrases geçiş hızı değerleri arasında güçlü bir korelasyon tespit edilmiştir. Daha düşük porozite değerine sahip olan numunelerde daha yüksek ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır.
- Standart kür havuzunda bekletilen harçların eğilme dayanımı değerlerinde %5 oranında YFC kullanımı ile önemli artışlar görülmüştür. Ancak YFC ikame oranının artması ile eğilme dayanımları düşmüştür.
- Harçların 7, 56 ve 90 günlük basınç dayanımı verilerinde en yüksek değer REF numunesinde görülürken, 28 günlük verilerde ise YFC10 numunesinin REF numunesinden daha fazla basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- Basınç dayanımı verilerinde 90. günün sonunda ÖPT numunelerinin YFC numunelerinden daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. ÖPT5 numunesinin basınç dayanımı değeri REF numunesinin basınç dayanımı değerinin %95'ine ulaşarak en yüksek basınç dayanımı değerine sahip mineral katkılı harç olmuştur.
- Asit etkisine maruz kalan harçlarda 0.5 M ve 1.0 M çözeltilerde en düşük su emme ve porozite değerleri REF numunesinde görülmüş, 1.5 M çözeltide ise erken dönemde YFC kullanımı su emme ve porozite değerlerini düşürürken ilerleyen yaşlarda ÖPT kullanılan harçların en düşük değerlere sahip olduğu fark edilmiştir.

- Şiddetli asit saldırıları ve uzun süreli asit etkisi söz konusu olduğunda ÖPT kullanımının fiziksel özellikleri korumada REF numunesine ve YFC numunelerine üstünlük sağlayabildiği belirlenmiştir.
- ÖPT kullanımının, harçların asit saldırıları nedeni ile uğradıkları ağırlık kaybını önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Her yaşta ve her çözeltide ÖPT numunelerinin tamamı REF numunesinden daha az ağırlık kaybına uğramıştır.
- Asit etkisinin gözlemlendiği 90 günün sonunda, ÖPT kullanımı ile %9 - %21 arasında ağırlık kaybı düşüşleri sağlanabilmiştir.
- YFC kullanımı ile ağırlık kayıplarında REF numunesine göre artış olduğu gözlenmiştir.
- ÖPT kullanımının, harçların maruz kaldığı asit saldırılarında uğradıkları dayanım kaybı değerlerini önemli ölçüde düşürebildiği gözlemlenmiştir. Asidik ortama maruz kalınan süre uzadıkça ve/veya asidik ortamın agresifliği arttıkça iyileşme etkileri belirginleşmeye başlamıştır.
- Asit etkisi ile meydana gelen dayanım kayıplarının incelendiği 90 günlük süreç sonunda, ÖPT kullanımı ile %7 - %30 arasında dayanım kaybı düşüşleri sağlanabilmiştir.
- YFC kullanımının genel anlamda ağırlık kaybında olduğu gibi dayanım kaybı konusunda da olumsuz etkileri gözlenmiştir.
- Çalışmada kullanılan harç numunelerine ait ağırlık kaybı değerleri ile dayanım kaybı değerleri arasında güçlü korelasyonlar bulunduğu tespit edilmiştir. Ağırlık kaybı artışı görülen numunelerin dayanım kayıplarının da artışa eğilimli olduğu belirlenmiştir.

ÖPT malzemesinin;

- Harç üretiminde mineral katkı olarak kullanılabileceğini,
- Harçların fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini,

- Harçların mekanik açıdan kabul edilebilir seviyede sahip olmasını sağlayabileceğini,
- Harçların SA saldırılarına karşı gösterdiği direnci önemli ölçüde geliştirebileceğini işaret eden sonuçlara ulaşılmıştır.

5.2 Öneriler

Bu çalışma kapsamında ÖPT katkısı ile üretilmiş harçların eğilme ve basınç dayanımları, su emme ve porozite değerleri, kapiler su emme katsayıları, ultrases geçiş hızı değerleri ve SA saldırıları etkisi altında ağırlık kayıpları ile dayanım kayıpları incelenmiştir. ÖPT malzemesinin mineral katkı olarak kullanımı üzerine daha detaylı çalışmalar gerekmektedir. Farklı mekanik, fiziksel ve durabilite özellikleri üzerine çalışmalar yapılması önerilmektedir. Harç fazında yürütülen bu çalışma ile varılan sonuçlara, betonlarda ÖPT mineral katkısı kullanımı ile ulaşılabilirlik kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

A.C.I. Committee, Report 201.2R-16, guide to durable concrete ACI manual of concrete practice, American Concrete Institute, 2016.

Aktürk, B., Yapı harçlarında genleştirilmiş cam agregası kullanımının araştırılması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Düzce, 63, 2019.

Alexander, M., Bertron, A., De Belie, N., Performance of cement-based materials in aggressive aqueous environments (Vol. 56), Germany: Springer, Berlin, 2013.

Arslan, A.A., Metakaolin tabanlı geopolimer harçlara farklı kür koşullarının etkisinin incelenmesi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 67, 2019.

Arslantürk, C., Erdoğan, Ş., İşlenebilirliği iyileştirmede süper akışkanlaştırıcı kullanımı, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 237-247, 2007.

ASTM C311 / C311M-18, Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

Bakharev T, Sanjayan J.G, Chen B., Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack, Cement and Concrete Research, 33(16), 7–11, 2003.

Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), THBB, İstanbul, 2010.

Baradan, B., Yazıcı, H., Betonarme yapılarda durabilite ve TS EN 206-1 standardının getirdiği yenilikler, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 426, 62-69, 2003.

Basheer, P.A.M., Chidiact, S.E., Long, A.E., Predictive models for deterioration of concrete structures, *Construction and Building Materials*, 27-37, 1996.

Bassuoni, M.T., ve Nehdi, M.L., Resistance of self-consolidating concrete to sulfuric acid attack with consecutive pH reduction, *Cement and Concrete Research*, 37(7), 1070-1084, 2007.

Beddoe, R. E., Dorner, H. W., Modelling acid attack on concrete: Part I. The essential mechanisms, *Cement and Concrete Research*, 35(12), 2333–2339, 2005.

Bertron, A., Peyre Lavigne, M., Patapy, C., Erable, B., Biodeterioration of concrete in agricultural, agro-food and biogas plants: state of the art and challenges, *RILEM Technical Letters*, 83-89, 2017.

Çağatay, İ. H., Özdemir, E., PÇ ve granüle yüksek fırın cürufu mineral katkısını içeren harç numunelerinin bazı özelliklerinin incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (1), 41-51, 2009.

De Belie, N., Lenehan, J.J., Braam, C.R., Svennerstedt, B., Richardson, M., Sonck, B., Durability of building materials and components in the agricultural environment, part III: concrete structures, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, 3-16, 2000.

Dündar, B., Çınar, E., Özkaya, H., Profillit katkılı lifli harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 17-27, 2019.

Emiroğlu, M., Koçak, Y., Subaşı, S., Yüksek fırın cürufunun betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), May, 113–117, 2011.

Erdem, A., Karaoğlu, B., Malatya-Pütürge pirofillitlerinin değerlendirilmesi, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Nisan, 45-51, 2005.

Erdoğan, S. T., Erdoğan, T. Y., Pozolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 263-275, 2007.

Erdoğan, Ş., Arslantürk, C., Kurbetçi, Ş., Influence of fly ash and silica fume on the consistency retention and compressive strength of concrete subjected to prolonged agitating, Construction and Building Materials, 25 (3), 1277-1281, 2011.

Ersoy, U., Betonarme Döşeme ve Temeller, Evrim Yayınevi, Ankara, 1995.

Fan, Y.F., Hu, Z.Q., Luan, H.Y., Deterioration of tensile behavior of concrete exposed to artificial acid rain environment, Interact. Multiscale Mech. 5 (1), 41–56, 2012.

Gülen Şahin, F., Delibaş, T., Albayrak, M. A., Hosseinneshad, H., Andic Çakır, Ö., Mineral katkıları betonların klor iyon geçirgenliği ve karbonatlaşma direncinin çevresel etki sınıflarına göre değerlendirilmesi, 10. Uluslararası Beton Kongresi, 610-619, 2019.

Grengg, C., Mittermayr, F., Koraimann, G., Konrad, F., Szabo, M., Demeny, A., Dietzel, M., The decisive role of acidophilic bacteria in concrete sewer networks: a new model for fast progressing microbial concrete corrosion, Cement and Concrete Research, 93-101, 2017.

Hiraskar, K. G., Patil, C., Use of blast furnace slag aggregate in concrete, International Journal of Scientific & Engineering Research, 4(5), 95–98, 2013.

Hosseini, S. V., Eilbeigi S., Nilforoushan M. R., Effects of three types of iron and steel slag on fresh and hardened properties of ordinary portland cement, Advances in

Molten Slags, Fluxes, and Salts: Proceedings of the 10th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts, 837-846, 2016.

Jeon, I. K., Qudoos, A., Jakhrani, S. H., Kim, H. G., Ryou, J., Investigation of sulfuric acid attack upon cement mortars containing silicon carbide powder, Powder Technology, 359, 181–189, 2020.

Kadiroğlu, İ., Deniz suyunun beton karma suyu olarak kullanılabilirliği, İMO İzmir Şubesi Bülteni, Haziran, 20 (123), 40-43, 2005.

Karakurt, C., Pektaş, M. R., Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı silindirle sıkıştırılmış betonların özellikleri, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2), 1–8, 2015.

Kaya, T., Yazıcıoğlu, S., Kalsine bentonit katkılı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 4 (2), 150-160, 2015.

Kılıç Demircan, R., Kaplan, G., Yüksek fırın cürufu ve bazalt lifi takviyeli restorasyon harçlarının sülfat dayanıklılığının incelenmesi, Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, (Kasım), 123-131, 2017.

Koenig, A., Dehn, F., Basic considerations for the determination and evaluation of acid resistance of cemented materials, Mater Plan 49, 1693-1703, 2016.

Kwasny, J., Aiken, T. A., Soutsos, M. N., McIntosh, J. A., Cleland, D. J., Sulfate and acid resistance of lithomarge-based geopolymer mortars, Construction and Building Materials, 166, 537–553, 2018.

Li, G., Xiong, G., Lü, Y., Yin, Y., The physical and chemical effects of long-term sulphuric acid exposure on hybrid modified cement mortar, Cement and Concrete Composites, 31(5), 325–330, 2009.

Makhloufi, Z., Bederina, M., Bouhicha, M., Kadri, E. H., Effect of mineral admixtures on resistance to sulfuric acid solution of mortars with quaternary binders, *Physics Procedia*, 55, 329–335, 2014.

Newman, J., Choo, B. S., *Advanced Concrete Technology, Constituent Materials*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.

Özgen, M.M., *Betonarme yapılarda bozulma süreçleri ve beton sınıfının yapının durabilitesine ve maliyetine etkileri*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 317, 2006.

Özkaya, H., *Malatya Pütürge yöresinde çıkarılan pirofillit malzemesinin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 51, 2011.

Page, C.L., Page, M.M., *Durability of Concrete and Cement Composites*, Woodhead Publishing, 416, 2007.

Saf, M.O., *Sentetik C-S-H bileşiklerinin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 75, 2015.

Siddique, R., Klaus, J., *Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review*, *Applied Clay Science*, 43(3–4), 392–400, 2009.

Sturm, P., Gluth, G. J. G., Jäger, C., Brouwers, H. J. H., Kühne, H. C., *Sulfuric acid resistance of one-part alkali-activated mortars*, *Cement and Concrete Research*, 109(February), 54–63, 2018.

Şimşek, O., *Beton ve Beton Teknolojisi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2016.

Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T., Kahraman, E., Kendiliğinden yerleşen harçlarda kullanılan yüksek fırın cürufunun yüksek sıcaklık performansına etkisi, 9. Ulusal Beton Kongresi, 49-58, 2015.

Topçu, İ. B., Canbaz, M., Alkali aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlarda asit etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , (016) , 69-80, 2008.

TS 706 EN 12620+A1, Beton agregaları, TSE, Ankara Turkey, 2009.

TS EN 1008, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, TSE, Ankara Turkey, 2003.

TS EN 1015-3, Kagit harcı - Deney metotları - Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), TSE, Ankara Turkey, 2000.

TS EN 1015-18, Kagit harcı – Deney yöntemleri – Bölüm 18: Sertleşmiş harcın kapiler etkiden kaynaklanan su emme katsayısının tayini, TSE, Ankara Turkey, 2004.

TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara Turkey, 2013.

TS EN 1170-6, Ön yapımlı beton mamuller - Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu - Bölüm 6: Suyu daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini, TSE, Ankara Turkey, 1999.

TS EN 196-1, Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara Turkey, 2016

TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara Turkey, 2012.

TS EN 12390-2, Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, TSE, Ankara Turkey, 2019.

TS EN 12504-4, Beton deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, TSE, Ankara Turkey, 2012.

Tokgöz, H., Dündar, B., Çınar, E., Sülfürik asitin kolemanit katkıli harçlar üzerine etkisinin araştırılması, International Symposium on Innovations in Civil Engineering and Technology, 216-230, 2019.

Tuyan, M., Soykan, K. S., Namal, İ., Andiç Çakır, Ö., Mineral Katkı İçeren Kalsiyum Alüminat Çimento Esaslı Harçların Mekanik, Dayanıklılık, Termal ve İy yapı Özelliklerinin Araştırılması, Journal of Polytechnic, 0900(2), 311–320, 2017.

Türkmenoğlu, A.G. ve Tankut, A., Use of tuffs from central Turkey as admixture in pozzolanic cements Assessment of their petrographical properties. Cement and Concrete Research. 32, 629–637, 2002.

Usman, J., Sam, A. R. M., Acid resistance of palm oil fuel ash and metakaolin ternary blend cement mortar, Sustainable Environment Research, 27(4), 181–187, 2017.

Vafaei, M., Allahverdi, A., Dong, P., Bassim, N., Acid attack on geopolymer cement mortar based on waste-glass powder and calcium aluminate cement at mild concentration, Construction and Building Materials, 193, 363–372, 2018.

Yurt, Ü., Dündar, B., Çınar, E., Jeopolimer betonlarda sülfürik asit etkisinin araştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 8 (2), 1548-1561, 2020.

Zeng, X., Li, Y., Ran, Y., Yang, K., Qu, F., Wang, P., Deterioration mechanism of CA mortar due to simulated acid rain, *Construction and Building Materials*, 168, 1008–1015, 2018.

Zhuang, H. J., Zhang, H. Y., Xu, H., Resistance of geopolymer mortar to acid and chloride attacks, *Procedia Engineering*, 210, 126–131, 2017.

Zivica, V., Bajza, A., Acidic attack of cement based materials - A review: Part 1. Principle of acidic attack, *Construction and Building Materials*, 15(8), 331–340, 2001.



ÖZGEÇMİŞ

1. **Adı Soyadı:** Cebrail KAPLAN

2. **Doğum Tarihi:** 25/10/1994

3. **Ünvanı:** İnşaat Mühendisi

4. **Öğrenim Durumu:**

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Erciyes Üniversitesi	2012 - 2018
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi	2018 -