

Öğütülmüş Pomza Tozu İkameli Harçların Hidroklorik Asit Direncinin İncelenmesi
Investigation of Hydrochloric Acid Resistance of Ground Pumice Powder Substituted
Mortars

Meryem Rumeysa KAYIHAN¹, Behçet DÜNDAR², Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Doi: 10.51764/smutgd.1199413

Geliş Tarihi :04.11.2022

Kabul Tarihi :22.11.2022

ÖZET

Bu çalışmada, Öğütülmüş Pomza Tozlu (ÖPT) harçların Hidroklorik (HCl) asit direnci araştırılmıştır. Harç karışımlarının hazırlanmasında bağlayıcı olarak CEMI-42.5/R Portland Çimentosu, agrega olarak ise 0-4 mm tane boyutunda kırma kum kullanılmıştır. Mineral katkı olarak ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek harç numuneleri üretilmiştir. Asit etkisinin araştırılmasında hacimce %5 derişikteki HCl asit kullanılmıştır. Taze haldeki harç numunelerine yayılma deneyi uygulanmıştır. Harç numuneleri 7, 28 ve 90 gün boyunca standart kür havuzunda bekletilmiş ve 28 ve 90. gününü dolduran numunelerin birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları belirlenmiştir. 7, 28 ve 90. gününü dolduran numunelere eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Standart kür havuzunda 28 gün bekletilen numuneler daha sonra, HCl asit küründe 7, 28 ve 90 gün sonunda eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. HCl asitte, 28 ve 90. gününü dolduran numunelerin birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları belirlenmiştir. Sonuç olarak, ÖPT ikame oranının artmasıyla referans numuneye göre yayılma değerinde, birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımında azalma, su emme ve porozite oranları ise artış gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde 7 gün bekleme süresinde numunelerin basınç dayanımları ÖPT ikame oranının artmasıyla artış gerçekleşirken, 28. ve 90 günlük bekleme sürelerinde azalış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mineral Katkı, Öğütülmüş Pomza Tozu, Hidroklorik Asit, Asit Etkisi

ABSTRACT

In this study, Hydrochloric (HCl) acid resistance of Ground Pumice Powder (GPP) mortars was investigated. In the preparation of the mortar mixtures, CEMI-42.5/R Portland Cement was used as the binder, and crushed sand with 0-4 mm grain size was used as the aggregate. Mortar samples were produced by substituting GPP as a mineral additive with cement at the rates of 0%, 10%, 20% and 30% by weight. In the investigation of the acid effect, 5% by volume of concentrated HCl acid was used. flow-table test was applied to fresh mortar samples. Mortar samples were kept in the standard curing pool for 7, 28 and 90 days and unit volume weight, water absorption and porosity ratios of the samples that completed their 28th and 90th days were determined. flexure and compression tests were performed on the samples that completed their 7th, 28th and 90th days. The samples, which were kept in the standard curing pool for 28 days, were then subjected to flexure and compression tests at the end of 7, 28 and 90 days in HCl acid curing. In HCl acid, unit volume weight, water absorption and porosity ratios of the samples that completed their 28th and 90th days were determined. As a result, it was observed that the flow-table value, unit weight, flexural and compressive strength decreased, water absorption and porosity ratios increased with the increase of the GPP substitution ratio compared to the reference sample. While the compressive strengths of the samples in the HCl acid solution during the 7-day waiting period increased with the increase in the GPP replacement ratio, a decrease occurred in the 28th and 90-day waiting times.

Keywords: Mineral Additive, Ground Pumice Powder, Hydrochloric Acid, Acid Attack

Meryem Rumeysa KAYIHAN, Orcid:0000-0002-7244-3551, mrym.kayihan@outlook.com

Behçet DÜNDAR, Orcid:0000-0003-0724-9469, behcetdundar@osmaniye.edu.tr

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI, Orcid:0000-0002-9435-2968, emriyecinar@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik probleminin azaltılması amacıyla hem ekonomik hem kaliteli yeni yapı malzemeleri arayışı doğrultusunda çeşitli araştırmalar mevcuttur (Liu, 2011). Çimento esaslı kompozitlerin kullanım sahalarına göre tasarım yapılması ve olası asit saldırılarına karşı sürdürülebilir ve alternatif malzemelerin araştırılması gerekmektedir. Alternatif ve sürdürülebilir çevreci malzemelerin kullanımı çimento üretim ve tüketim miktarını azaltarak hem çevreci hem de ekonomik yönleri ile tercih edilme sebebi olacaktır (Toutanji, Zhao & Zhang, 2006; Toutanji & Deng, 2007). Yapı malzemelerinin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento, başta CO₂ olmak üzere çeşitli sera gazlarının salınımı, evsel atıksular, endüstriyel atıklar, gürültü gibi birçok olumsuz çevresel etkiye sebep olmaktadır. Bu nedenle çimento miktarının azaltılıp, ikame malzemesi olarak mineral katkıların tercih edilmesi hem söz konusu çevresel etkileri azaltacak, hem de maliyet ve enerji tasarrufu sağlayacaktır (Olivier & Peters, 2020).

Atık maddeler arasında yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, mermer tozu vb. gibi yaygın olarak kullanılan mineral katkıları bulunmaktadır. Bu mineral katılara ek olarak, ÖPT kullanılmaktadır. ASTM C618'e göre, bir malzemenin iyi puzolan kategorisinde yer alması için en az %70 oranında alümina, kalsiyum ve silika oksitleri içermesi gerekir. Alümina ve silika oksitleri açısından zengin olan ÖPT ise puzolan kategorisinde yer almaktadır (ASTM C618, 1998). ÖPT, doğal puzolanlar için belirlenen birçok gereksinimleri karşılayıp, çimento içeren karışımların kalsiyum hidroksit içeriğini iyileştirmede kullanılır. Pomza, hafiflik ve yalıtım özellikleri bakımından yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Hossain, Ahmed & Lachemi, 2011). Geri dönüştürülmüş asfalt atığı ve ÖPT katkılı numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme-basınç dayanım değerleri referans numuneye göre giderek azalmaktadır (Kayıhan, Dünder & Çınar, 2022). Pomzanın agrega olarak kullanımıyla harçlarda yangına dayanıklılık, ısı yalıtımı, kimyasal direnç, daha az alkali-silika reaksiyonu genişmesi, hafiflik ve donma/çözülme direnci gibi özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Diğer yandan su emme oranının artışı, işlenebilirlik ve mekanik dayanımlarında azalmalar görülmektedir (Rashad, 2019). Asit saldırısının hızı, pH değeri, çimento esaslı malzemelerin ve asit çözeltisinin tipi, sıcaklık, su/bağlayıcı oranı vb. gibi farklı değişken faktörlere bağlıdır (Zivica & Bajza, 2002). Çimento esaslı malzemeleri, asit, sülfat ve alkali saldırıları, klorür girişi ve karbonatlaşma gibi çeşitli kimyasal saldırı türleri dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkilemektedir (ACI 515.2R-13, 2013). Çimento esaslı malzemelerin çoğu asidik ortamlarda, özellikle sülfürik asit, HC1 ve nitrik asit gibi güçlü asitlere karşı zayıftırlar. Güçlü asitlerin oluşumu endüstriyel faaliyetlerde daha belirgin olmasına rağmen, bu asitler genellikle kentsel faaliyetlerle ilgili yeraltı suyu, deniz suyu ve kanalizasyon sistemlerinde ortaya çıkabilir. Bunlar arasında en sık rastlanan ve tahribatı fazla olan HCI asittir (Bertron, Duchesne & Escadeillas, 2005; Zivica & Bajza, 2001). Harçlarda asit etkisini incelemek için kullanılan HCI asit, harçlarda önemli ölçüde dayanım kayıplarına sebep olan güçlü asitler arasında yer almaktadır. Asit etkisine maruz kalan numunelerin gözenekliliği artmakta ve döküm yüzeyinde aşınmalar meydana gelmektedir (İsmail & Ramli, 2013). HCI asit etkisi sonrasında, numunelerde ağırlık ve kesit alanı kaybı gözlemlenir. Mikro yapıyı yoğunlaştırarak HCI asit etkisine karşı çimento matrisinin difüzyon direnci artırılabilir. Genel olarak asite maruz bırakılan numunelerin etkilenmiş bölgelerinde alümina-silika hidrojin varlığı gözlemlenebilmektedir (Muthu, Yang & Ünlüer, 2021). Çimento harçları HCI asit etkisine maruz bırakıldıklarında ilk etkilenen ve çatlama riski en yüksek olan bölge döküm yüzeyidir (Gutberlet et al., 2015). HCI asit saldırısına maruz bırakılan çimento esaslı malzemelerin etkilenen bölgelerinde kalsiyum klorür (CaCl₂) tuzunun çökeldiğini bilinmektedir (Ceukelaire,1982; Chandra, 1988). Yüksek konsantrasyonlu

hidroklorik asit, sertleşmiş çimento hamurunun ciddi şekilde bozulmasına neden olur (Aiken, Kwasny, Sha & Soutsos, 2018; Kwasny, Aiken, Soutsos, McIntosh & Cleland, 2018).

Bu çalışmanın amacı, ÖPT'nin çimento ile ikame edilerek üretilen harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra HCl asit etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda üretilen harçlarda çimento kullanımını azaltarak çevreye duyarlı ve asite dayanıklı harçların üretilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak kullanılmıştır. HCl asit etkisinin araştırılması için HCl asit oranı %5 olan asit çözeltileri hazırlanmıştır. Üretilen harç numunelerinin asit öncesinde ve sonrasında fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Materyaller

Harç numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak ÇİMSA Çimento San. Tic. A.Ş.'den temin edilen ve TS EN 197-1'e standardına uygun olarak üretilen CEM I 42.5 R tipi çimento seçilmiştir (TS EN 197-1, 2012). Agrega olarak ise 0-4 mm boyutuna sahip olan kırma kum kullanılmıştır. Mineral katkı olarak bazik karakterli 25-63 mikron inceliğinde ve özgül ağırlığı 2.45 g/cm³ olan ÖPT tercih edilmiştir. Numunelerinin üretiminde TS EN 1008 standardına uygun olan Osmaniye ili, şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003). ÖPT'nin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmada asit çözeltilerinde kullanılan HCl asit yoğunluğu 1.15-1.16 g/cm³ olup, teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. ÖPT'nin kimyasal analizi

Kimyasal Bileşenleri	İçerik Oranları (%)
SiO ₂	51.20
Al ₂ O ₃	20.70
Fe ₂ O ₃	1.24
TiO ₂	0.05
CaO	6.00
MgO	1.60
Na ₂ O	11.38
SrO	0.05
P ₂ O ₅	0.03
Cr ₂ O ₃	0.05

Tablo 2. HCl asidin özellikleri

Teknik Özellikler	Açıklama
Safiyet	%30.0-32.0
Klorür (Cl)	%0.005
Sülfat (SO ₄)	%0.005
Ağır Metaller (Pb gibi)	%0.0005
Viskozite dinamik (20°C)	1.8 mPa.s
Görünüm	Berrak, temiz ve tortusuz

2.2. Metot

Harç numunesinin üretimi, TS EN 197-1 standardında belirtilen karışım miktarları esas alınarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 197-1, 2012). Üretilen harçlar için kullanılan malzeme miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Puzolanik malzeme olarak kullanılan ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak 4x4x16 cm boyutlarında harçlar üretilmiştir.

Tablo 3. Harç karışım miktarları (gr)

Numune Adı	Çimento	Kum	Su	ÖPT
R	450	1350	225	0
ÖPT10	405	1350	225	45
ÖPT20	360	1350	225	90
ÖPT30	315	1350	225	135

ÖPT ikameli harç numunelerin işlenebilirliğinin kontrolünü sağlamak için yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Harç numuneleri taze haldeyken kalıplara yerleştirilmeden önce TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi uygulanmıştır (TS EN 1015-3, 2000). Taze harç kesik koni içerisine yerleştirilir ve yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilir. Harç kütlesi dairesel levha üzerinde yer alırken, yayılma tablası yaklaşık saniyede bir defa olmak üzere 15 defa serbest düşürülerek yayılma sağlanır. Yayılan harç kütlesinin çapı, birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek belirlenir. Deneyde kullanılan yayılma tablası deney düzeneği Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1. Yayılma tablası deney düzeneği

İşlenebilirliği belirlenen taze haldeki harçlar numuneleri kalıplara yerleştirilerek 28 gün boyunca kür uygulanmasının ardından Arşimet prensibi ile çalışan tartıda yüzey kuru suya doymun ağırlıkları, suya doymun ağırlıkları ve etüv kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri TSE EN 1170-6 standardına uygun olarak birim hacim ağırlık değerleri, su emme ve porozite oranları hesaplanmıştır (TS EN 1170-6, 1999). Üretilen harç numuneleri 28 gün boyunca standart kür uygulanmasının ardından %5 HCl asit çözeltisinde 7, 28 ve 90 gün süreyle bekletildikten sonra da birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları hesaplanmıştır. HCl asit öncesi ve sonrasındaki fiziksel özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen harç numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük standart kür sürelerinin ardından TS EN 196-1 standardına uygun eğilme ve basınç dayanımları Şekil 2'deki pres yardımıyla belirlenmiştir (TS EN 196-1, 2016). Aynı zamanda 28 gün standart su kürünü tamamlayan nihai dayanıma ulaşan harç numuneleri HCl asit çözeltisinde 7, 28 ve 90 gün süreyle bekletilmiştir. Asit çözeltisi içerisinde bahsi geçen sürelerde bekletilen harç numunelerine de eğilme ve basınç dayanım deneyi uygulanmıştır.



Şekil 2. Deneyde kullanılan eğilme ve basınç dayanımı presi

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları

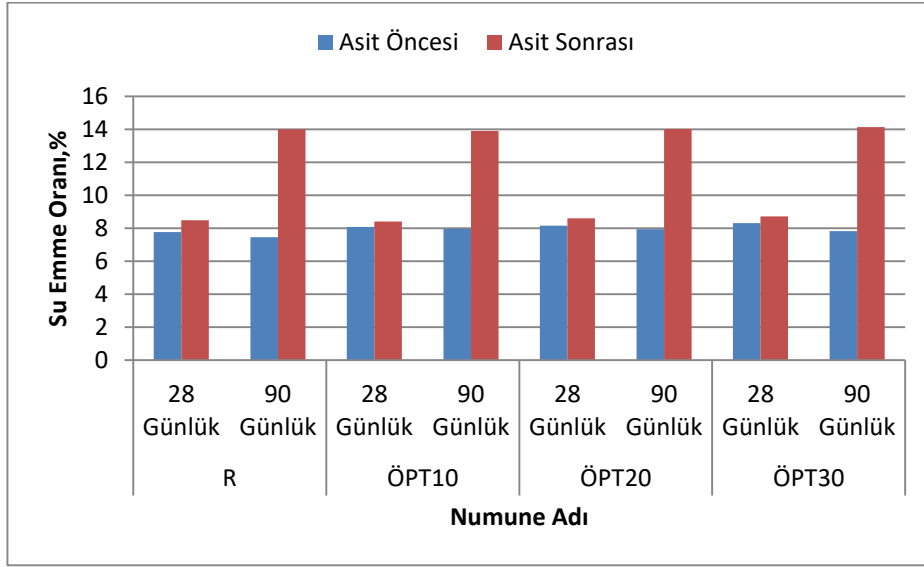
Çalışma kapsamında üretilen numunelerin yayılma deneyi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. R numunesinin yayılma değeri 16.75 cm olarak belirlenmiştir. ÖPT10, ÖPT20 ve ÖPT30 numunelerinde yayılma değeri sırasıyla 15.75 cm, 15.5 cm, 15.25 cm olarak bulunmuştur. ÖPT miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmaktadır. Bu durum ÖPT 'nin ince bir malzeme olmasından dolayı yüzey alanı arttıkça karışımın ihtiyacı olan suyun artmasıyla açıklanabilir. Mühendislik uygulamaları için işlenebilirlik, betonların ve harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemli ölçüde etkili olmaktadır (Al-Gahtani, Abbas & Al-Amoudi, 1998).

Tablo 4. Yayılma tablası deneyi sonuçları

Numune Adı	Yayılma Değerleri (cm)
R	16.75
ÖPT10	15.75
ÖPT20	15.50
ÖPT30	15.25

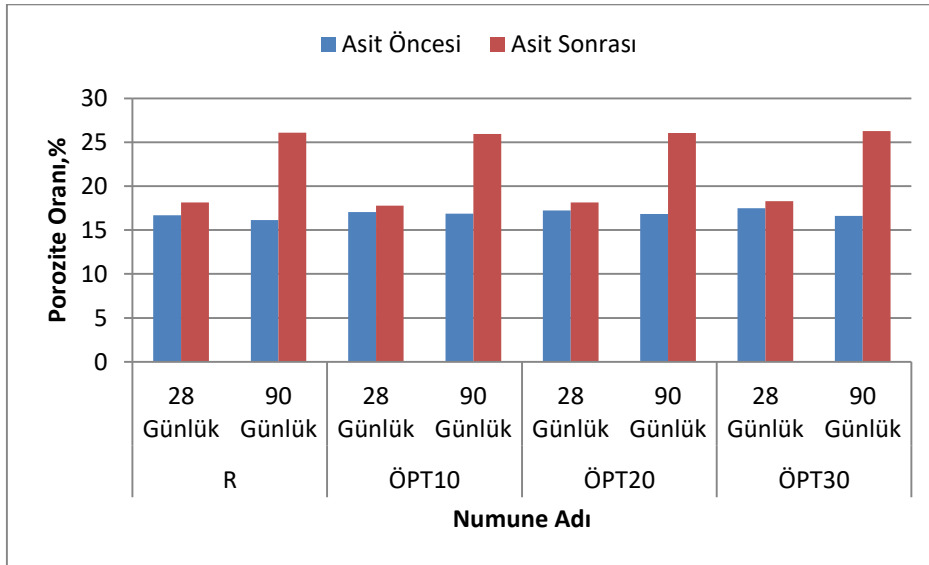
3.2. Su Emme, Porozite ve Birim Hacim Ağırlık Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu su emme oranları Şekil 3'te, porozite oranları Şekil 4'te, birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5'te verilmiştir. R numunenin su emme oranı %7.76 olurken, ÖPT30 numunesinin su emme oranı %8.32'ye yükselmektedir. ÖPT ikame oranının artması ile birlikte su emme oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde bekletilen numunelerde numune yaşı ilerledikçe su emme oranı çok miktarda artış olmaktadır. R numunesinde porozite oranı %16.70 olurken, ÖPT30 numunesinde %17.50 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen numunelerin ise porozite oranlarında su emme oranlarında olduğu gibi artışlar görülmektedir. Çimento ile kısmi olarak ikame edilen ÖPT, silis dumanı ve metakaolin harcın gözeneklerini ve boşluklarını doldurmak için kullanmışlardır. Kullandıkları puzolanik malzemeler ile ürettikleri harçların asit etkisiyle su emme oranını arttırdığını, basınç dayanımının da azaldığını gözlemlemişlerdir (Gaurav, Abhishek & Shobha, 2022; Yurt, Dünder & Çınar, 2020).



Şekil 3. Asit öncesi ve sonrası su emme oranları

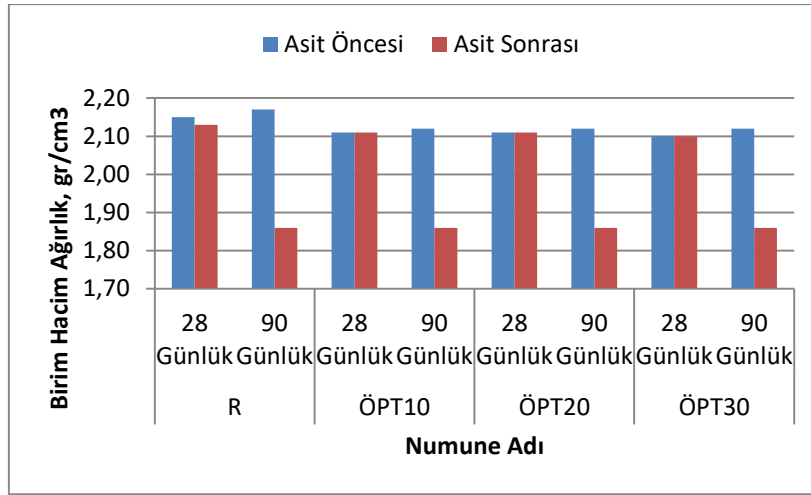
Şekil 4'deki porozite oranlarına bakıldığında ÖPT oranıyla arttığı gözlemlenmiştir. ÖPT oranının artması sonucu ince malzeme miktarı arttığından kalıp içi yerleşme güçlükleri ile beraber daha çok boşluk oranı artmıştır. Referans numunesinde porozite oranı %16.70 iken, %30 ÖPT ikame edilmesiyle %17.50 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Hidroklorik asitte kür edilen numunelerin ise porozite oranı arttığı gözlemlenmiştir. ÖPT çimento ile yer değiştirme yapıldığından ÖPT ikame oranının arttıkça çimento miktarında azalmalar meydana gelmektedir. Çimento miktarı azaldıkça bağlayıcılık özelliği azaldığından porozite oranında artışlar gözlemlenmiştir. Kimyasal saldırılar sonucu, beton ve harcın mikro yapısında harcın bütünlüğünün değişmesine, geçirgenliğinin ve porozitesinin artmasına neden olur (Basheer, Chidiact & Long, 1996).



Şekil 4. Asit öncesi ve sonrası porozite oranları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Standart küre tabi tutulan harç numuneleri incelendiğinde ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı, numune yaşının artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde bekletilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı, numune yaşının artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Hafif agregalar arsında yer alan pomza agregasından elde edilen ÖPT'nin

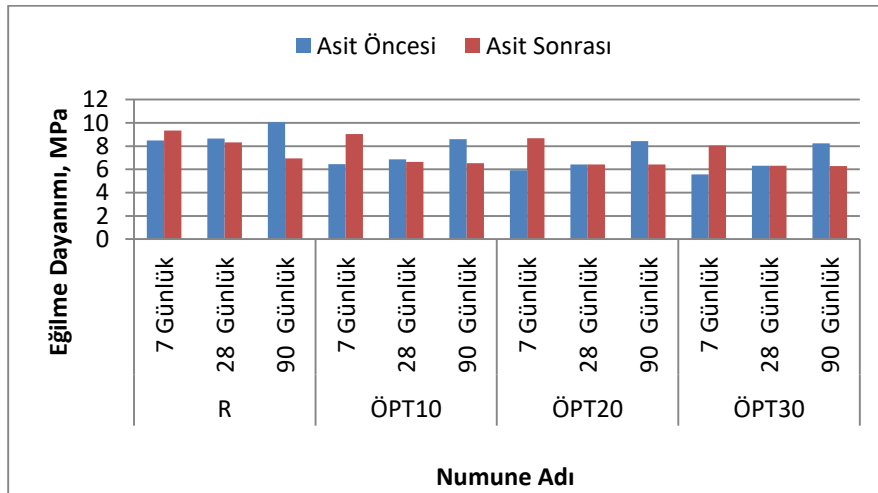
yoğunluğunun düşük olması sebebiyle kullanılması durumunda çimento esaslı malzemelerin birim hacim ağırlıklarında azalmalara neden olmaktadır (Pravallika & Rao, 2016).



Şekil 5. Asit öncesi ve sonrası birim hacim ağırlıkları

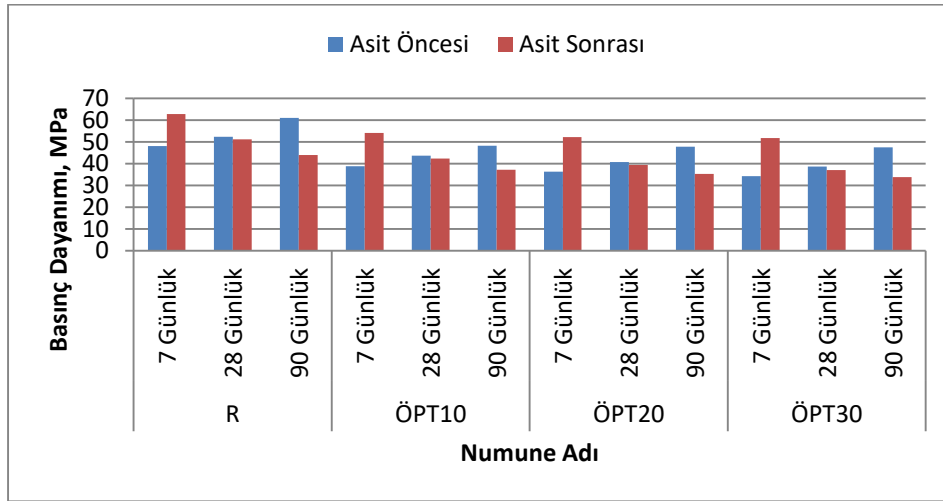
3.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart su küründe ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Tüm numunelerde numune yaşı ilerledikçe eğilme dayanımlarında artışlar olmuştur. En yüksek eğilme dayanımı 10.05 MPa ile R numunesinde gerçekleşmiştir. ÖPT10 numunesinin eğilme dayanımı 8.60 MPa değeri ile R numunesine en yakın değerindedir. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde ÖPT kullanım oranı artmasıyla tüm numunelerde eğilme dayanımlarında azalmalar görülmektedir (Rajeswari & Sunilaa, 2015).



Şekil 6. Asit öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. ÖPT ikame oranının artması ile birlikte basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmektedir. HCl asitte kür edilen harç numuneleri standart kür havuzunda kür edilen numunelere göre basınç dayanımları önce artmakta sonra azalmaktadır. Bunun nedeni harç numunelerinin içerisinde yer alan boşlukların ilk önce HCl asitle dolması sonucu kompaziteyi artırması ve basınç dayanımlarını artırmasıdır. İlerleyen günlerde ise HCl asitin harç numunesine zarar vermesi sonucunda basınç dayanımlarını azalmaktadır. Mineral katkıları, asit saldırılarına, alkali silika reaksiyonuna, sülfat saldırılarına ve klorür girişine karşı genel anlamda dayanıklılıkları arttırmada yer alırlar (König, Petersen, Iversen & Yue, 2018; Kavas, Christogerou, Pontikes & Angelopoulos, 2011).



Şekil 7. Asit öncesi ve sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen harç numuneleri 28 gün standart kür havuzunda bekletilmeleri sonucu 7, 28 ve 90 gün boyunca HCl asit çözeltilerinde bekletilmiştir. HCl asit çözeltilerinde bekletilen numunelerin görünümü Şekil 8'de verilmiştir. ÖPT ikame oranı arttıkça numune renklerinde koyulaşma, HCl asit de bekletilen numunelerin ise yüzeylerinde boşluklar oluştuğu ve bazı numunelerde parçaların koptuğu görülmektedir.

	ASİT ÖNCESİ	ASİT SONRASI		
		7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN
R				
ÖPT10				
ÖPT20				
ÖPT30				

Şekil 8. Asit öncesi ve sonrası numunelerin görünümü

4. SONUÇLAR

- ÖPT kullanım miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmuştur ancak en yüksek sonuç ÖPT10 numunesinde gözlemlenmiştir.
- Standart küre tabii tutulan harç numuneleri incelendiğinde ÖPT ikame oranı arttıkça su emme ve porozite oranının azaldığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça su emme ve porozite oranının arttığı gözlemlenmiştir.
- ÖPT'nin, su emme ve porozite oranı olumsuz, birim hacim ağırlığa ise olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ÖPT partiküllerinin yüzey alanının fazla olması su emme ve porozite oranını artırır. Harç içerisinde yer alan boşlukları ise ÖPT daha iyi doldurduğundan birim hacim ağırlığı artırır.
- Standart kür edilen harç numuneleri incelendiğinde ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlemlenmiştir.
- HCl asitte küre tabii tutulan harç numuneleri ile yüzey alanında artış gözlemlenmektedir. Ayrıca kalıba yerleştirme ve işlenebilirlik güçlükleri çıkmaktadır. Bu nedenle asitte kalan numunelerin boşluk oranı ve su emme oranı artmakta, birim hacim ağırlığı ise azalmaktadır.

- ÖPT ince tane yapılı olmasından dolayı, harç numunelerinde dolgu etkisi oluşturacağından bağlayıcı ihtiyacını arttırmaktadır. Bu sonucunda ÖPT oranının artmasıyla birlikte bağlayıcı ihtiyacı artmış, basınç dayanımlarında ise azalma meydana gelmiştir.
- Numunelerin 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde Referans numunesinin ardından en iyi eğilme ve basınç dayanım sonucunu ögütülmüş ÖPT'nin %10 olması durumunda meydana gelmektedir.
- Harç numunesinin yaş aldıkça priz alıp, mukavemetinin arttığı gözlemlenir ve böylece 90 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerlerinden fazladır.
- HCl asitte küre tabi tutulan harç numuneleri standart kür havuzunda kür edilen numunelere göre eğilme ve basınç dayanımları önce artmakta sonra azalmaktadır. Bunun nedeni ise harç numunelerinin içerisinde yer alan boşlukların HCl asitle dolması sonucu kompasiteyi arttırdığı için eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmaktadır. İlerleyen günlerde HCl asitin harç numunesine zarar vermesi sonucunda ise eğilme ve basınç dayanımlarını azaltmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- ACI 515.2R-13, (2013).Guide to Selecting Protective Treatments for Concrete ACI Committee 515, American Concrete Institute.
- Aiken, TA, Kwasny, J., Sha, W. ve Soutsos, MN (2018). Effect of slag content and activator dosage on the resistance of fly ash geopolymer binders to sulfuric acid attack. Cement and Concrete Research, 111(May), 23-40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.011>
- Al-Gahtani, H.J., Abbas, A.G.F., Al-Amoudi, O.S.B. (1998). Concrete mixture design for hot weather: Experimental and statistical analyses, Magazine of Concrete Research, 50, 95-105.
- ASTM C618, (1998). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, No.4.
- Basheer P., Chidiact, S., Long, A. (1996). Predictive models for deterioration of concrete structures, Construction and Building Materials, vol. 10, no. 1, pp. 27-37.
- Bertron, A., Duchesne, J., Escadeillas, G.(2005). Attack of cement pastes exposed to organic acids in manure, Cem. Concr. Compos. 27(9), 898-909.
- Chandra, S. (1988).Hydrochloric acid attack on cement mortar - an analytical study, Cem. Concr. Res. 18 (2), 193-203.
- De Ceukelaire, L., (1992). The effects of hydrochloric acid on mortar, Cem. Concr. Res. 22 (5) 903-914.
- Gaurav, C., Abhishek, K., Shobha, R. (2022). Comparative study of metakaolin, pumice powder and silica fume in producing treated sustainable recycled coarse aggregate concrete by adopting two-stage mixing. Cleaner Engineering and Technology, 9, 100528. doi.org/10.1016/j.clet.2022.100528
- Gutberlet, T., Hilbig, H., Beddoe, R.E. (2015). Acid attack on hydrated cement - effect of mineral acids on the degradation process, Cem. Concr. Res. 74, 35-43.
- Hossain, K.M.A., Ahmed S., Lachemi M.(2011).Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: mechanical and durability characteristics, Constr. Build. Mater. 25, 1186-1195.
- Ismail, S., Ramli, M. (2013). Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RAC) for structural applications. Construct. Build. Mater. 44, 464-476.

- Kavas, T., Christogerou, A., Pontikes, Y., Angelopoulos, G. N. (2011). Valorisation of different types of boron-containing wastes for the production of lightweight aggregates," J. Hazard. Mater., vol. 185, no. 2-3, pp. 1381-1389.
- Kayıhan, M.R., DüNDAR, B., Çınar, E.(2022).” Geri Dönüştürülmüş Asfalt Atığı İle Üretilen Öğütülmüş Pomza Tozu Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması”. Ed. Kardeşler A., Mike F. Uluslararası Korkut Ata Bilimsel Araştırmalar Konferansı.(424-425).
- König, J., Petersen, R. R., Iversen, N., Yue, Y.(2018). Suppressing the effect of cullet composition on the formation and properties of foamed glass, Ceram. Int., vol. 44, no. 10, pp. 11143-11150.
- Kwasny, J., Aiken, TA, Soutsos, MN, McIntosh, JA ve Cleland, DJ (2018). Sulphate and acid resistance of Lithomarge based geopolymer mortars. Construction and Building Materials, 166, 537-553.
- Liu M. (2011). Incorporating ground glass in self- compacting concrete, Construction and Building Materials, 25, 919-925.
- Muthu, M., Yang, E.-H. ve Ünlüer, C. (2021). Resistance of graphene oxide-modified cement pastes to hydrochloric acid attack. İnşaat ve Yapı Malzemeleri, 273, 121990. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.
- Olivier, J.A.H.W., Peters, J.G.J.(2020). Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions: 2019 Report, PBL, Netherlands Environ. Assess. Agency Hague, Netherlands.
- Pravallika B. D., Rao K. V.(2016). The study on strength properties of light weight concrete using light weight aggregate, Int. J. Sci. Res. 5 (6), 1735-1739.
- Rajeswari S., Sunilaa G. (2015). Experimental study of light weight concrete by partial replacement of coarse aggregate using pumice aggregate, Int. J. Sci. Eng. Res., 50-53.
- Rashad, A.M. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. Journal of Building Engineering, 25, 100802. doi:10.1016/j.job.2019.100802
- Toutanji, H., Deng, Y. (2007). Comparison between organic and inorganic matrices for RC beams strengthened with carbon fiber sheets, Journal of Composites for Construction, vol. 11, no. 5, pp. 507-513.
- Toutanji, H., Zhao, L., Zhang, Y., (2006). Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets bonded with an inorganic matrix," Engineering Structures, vol. 28, no. 4, pp. 557-566.
- TS EN 1008, (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 1015-3, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini TSE, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1170-6, (1999). Ön yapımlı beton mamuller- Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 196-1.(2016). Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 197-1.(2012). Cement-Stage 1: General cements-component, TSE, Ankara Turkey. Using the orthogonal design method, Construction and Building Materials; 31, 289-293.
- Yurt, Ü., DüNDAR, B., & Çınar, E. (2020). Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1548–1561.

- Zivica, V., Bajza, A., (2001). Acidic attack of cement based materials-a review: Part 1. Principle of acidic attack, Constr. Build. Mater. 15 (8),331-340.
- Zivica, V.R., Bajza, A., Acidic attack of cement-based materials-a review: Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. Constr. Build. Mater.16 (4) (2002) 215-222