



Seramik Sağlık Gereci Atıklarının Geopolimer Harç Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of Usability of Ceramic Sanitaryware Wastes in Geopolymer Mortar Production

İsmail İsa Atabey^{*1}, Zahide Bayer Öztürk²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir, TÜRKİYE
²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/08/2020

Kabul / Accepted: 13/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada, seramik sağlık gereci (vitrifiye) üretimi esnasında ortaya çıkan hatalı/ıskarta ürünlerin öğütülmesi ile elde edilen atık tozlar alkali ile aktive edilerek geopolimer harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlara farklı sıvı/bağlayıcı oranı ve aktivatör molaritesinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla sıvı bağlayıcı 0,45 ve 0,50 oranlarında 10, 12, 14 ve 16 M NaOH çözeltilerinde karışımlar hazırlanmıştır. Üretilen harç karışımlarına 80°C’de 24 saat ısıtma ve 28 güne kadar havada kuru uygulanmıştır. Numunelere işlenebilirlik, birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı, su emme ve boşluk oranı deneyleri uygulanmıştır. Numunelerin sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 iken molaritenin artması mekanik özelliklere olumlu etkisi olmamakta ancak işlenebilirliği iyileştirmektedir. 0,45 sıvı/bağlayıcı oranında ise molaritenin artışı dayanımda önemli gelişme göstererek 16 M NaOH konsantrasyonunda yaklaşık 34 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Ancak artan dayanım, çevresel ve ekonomik koşullar açısından geopolimer harç üretimi için uygun molaritenin sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de 12 M NaOH olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Seramik sağlık gereci, geopolimer, harç, dayanım”

Abstract

In this study, geopolymer mortars were produced with alkali activated the waste powders obtained by grinding of the defective / discarded products generated during the production of vitrified (ceramic sanitaryware) products. The effect of different liquid / binder ratio and activator molarity was investigated on the produced mortars. To achieve this goal, geopolymer mortars were prepared with liquid:binder ratios of 0.45, 0.50 and in four different molarities as 10, 12, 14 and 16 M NaOH. The produced mixtures were cured in oven at 80°C for 24 h then in air for a period 28 days. The workability, unit weight, flexural and compressive strength, water absorption and volume of permeable voids ratio tests were performed on mortar samples. While the liquid:binder ratio of the samples is 0.50, the increase in molarity was not have a positive effect on mechanical properties, but improved the workability. When the liquid:binder ratio is 0.45, the increase in molarity showed a significant improvement in the strength and approximately 34 MPa compressive strength was obtained at 16 M NaOH concentration. However, in terms of improved strength, environmental and economic conditions, it has been determined that the appropriate molarity for geopolymer mortar production is 12 M at 0.45 in liquid:binder ratio.

Key Words

“Sanitaryware, geopolymer, mortar, strength”

1. Giriş

Son yıllarda, inşaat sektöründe geleneksel betona alternatif yapı malzemeleri olarak alkali ile aktive edilmiş harçlar/betonlar araştırılmaktadır. Bu harçların geri dönüşüm yoluyla endüstriyel atıklardan ucuz şekilde üretimi, çevre kirliliğinin azaltılması, dayanıklılığın artırılması, enerji tasarrufu özellikleri, yüksek erken dayanım ve yüksek yanmazlık özellikleri diğer malzemelere göre alkali aktif harçları daha avantajlı hale getirmektedir (Huseien vd., 2016; Huseien vd., 2017; Huseien vd., 2018a; Al-Majidi vd., 2016). Araştırmacılar, sera gazı emisyonu gibi bazı çevresel sorunlar oluşturan yapı malzemelerinden olan Portland çimentosunun kullanımını azaltmak için, inorganik alüminasilikat polimer ya da geopolimer olarak bilinen çimentosuz, atık malzemeler ile beton üretiminde Portland çimentosu yerine kullanılacak potansiyel malzemeler geliştirmektedir (Davidovits, 1991). Geopolimerler, alümina ve silis bakımından zengin metakaolen, uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, atık seramik tozları gibi endüstriyel atık ya da yan ürünlerin alkali çözeltisinde çözünmesi ile Al-Si-O kompleksleri arasında üç boyutlu polimerik zincirlerin oluşumuna dayanır (Robayo-Salazar & Gutierrez 2018; Aguilar vd. 2010). Bu sayede çimento ve diğer geleneksel bağlayıcı puzolanik malzemelerin yerini alkali aktif inorganikler alır (Deb vd., 2014). Günümüzde, geopolimerlerde ana malzeme olarak atık seramik tozu kullanımı sürdürülebilir bir yapıya sahip olması ve seramik endüstrisinin de atık sorununun çözümüne yardımcı olması nedenleri ile artan bir ilgi görmektedir (Huseien vd., 2018b; Huseien vd., 2018c). Yapılan çalışmalarda kırmızı kil seramik tozu (Keppert vd., 2018), tuğla üretiminde oluşan ince atık tozlar (Amin vd., 2017), kırmızı çamur (Kulkarni, 2018; Mucsi vd., 2019), atık cam tozu (Torres-Carrasco & Puertas 2015), seramik karo atıkları (Huseien vd., 2019; Huseien vd., 2020; Reig vd., 2014; Rashad vd., 2020; Reig vd., 2015) kullanımlarının geopolimerlerin performansına etkileri değerlendirilmiştir.

Seramik sağlık gereci (vitrifiye), banyolarda ve mutfaklarda kullanılan lavabo, klozet, rezervuar, bide, duş teknesi ve pisuar gibi ürünleri kapsamaktadır. Genel ifadeyle; kil, kaolen, feldspat ve kuvars ile hazırlanan hammadde karışımlarının, alçı kalıplara yapılan çamur dökümlerinin neticesinde ortaya çıkan şekillerin; önce kurutulması sonra da parlaklık veren sırlar ile kaplanmasıyla endüstriyel fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen ürünlerdir (Kunduracı vd., 2019; Açıkbaş & Göçmez 2017). Seramik sağlık gereçleri alanında Türkiye, senelik 320000 tonluk üretim miktarı ile Avrupa'da en çok üretim yapan ülke konumundadır. Bu nedenle seramik sağlık gereçleri üretimi esnasında ve kalite kontrol sonrasında oluşan atıkların miktarı ve çevreye olan etkisi düşünüldüğünde bu atıkların etkili bir şekilde geri dönüşümü büyük bir önem arz etmektedir. Üretici firmalar oluşan yaş atığın büyük bir bölümünü değerlendirebilmektedir ancak sinterlenmiş ürünün değerlendirilmesinde üretim kısıtlamaları nedeniyle bu mümkün olamamaktadır. Bu durum atıkların farklı alanlarda fayda sağlayacak şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Açıkbaş & Göçmez, 2017).

İnşaat alanında sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltileri kullanılarak vitrifiye atıklarının alkali aktivasyonu ile geliştirilen harçlarda kür sıcaklığı, kür süresi, uygun alkali türü ve miktarına bağlı olarak uygun basınç dayanıma sahip harçların elde edilebilirliğini konu alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, Reig vd. (2018) seramik sağlık gereci atıklarının alkali aktivasyonunda farklı kalsiyum kaynakları olan Ca(OH)_2 , kalsiyum alüminat çimentosu ve Portland çimentosunun farklı miktarlarda ilavesinin etkisini değerlendirmişlerdir. Ağırlıkça %6 Ca(OH)_2 ve %10 Portland çimentosu ilaveli harçlarda mekanik dayanım 40,06 ve 64,41 MPa, ağırlıkça %10 ve %15 kalsiyum alüminat çimentosu ilaveli harçlarda mekanik dayanım 56,65 ve 70,69 MPa elde etmişlerdir. Portland çimentosu ile seramik sağlık gereci atığının %15-25 arasında yer değişimi ile 28 ve 90 günlük kür sonrası numunelerin basınç dayanımlarının %75'den %85'e arttığı belirtilmiştir (Reig vd., 2013). Medina vd. beton üretiminde iri agrega yerine %25'e kadar seramik sağlık gereci atıklarının kullanımını incelemişlerdir. Fiziksel özellikler üzerinde önemli bir değişim gözlenmezken mekanik özelliklerin geliştiğini tespit etmişlerdir (Medina vd., 2011). Cosa ve ark. (2018) alkali ile aktifleştirilmiş seramik sağlık gereci atık içeren bağlayıcıların mikro yapı ve basınç dayanımına farklı sıvı katalitik atık ve silika konsantrasyonu etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, SiO_2 konsantrasyonu 4,37 mol/kg iken seramik sağlık gereci atığı yerine %20 ve 30 ilave edilen sıvı katalitik atığının 7 gün ve 28 günlük dayanım sonuçlarının 30 MPa'dan yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Bayer vd. (2019) vitrifiye ürün atıklarını uçucu kül ile ikame ederek %40 vitrifiye atığı %60 uçucu kül içeren karışımlarda 38 MPa dayanıma ulaşmışlardır.

Literatür incelendiğinde alkali aktivasyon yöntemi ile seramik sağlık gereci atığı kullanımını ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada seramik sağlık gereçlerinin pişme sonrası ıskartaya ayrılan ürünlerin öğütülmesi ile elde edilen yüksek silis alümin içeriğine sahip tozların alkali aktivasyon yöntemi ile farklı molarite ve sıvı/bağlayıcı oranlarında harç yapılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla 10, 12, 14 ve 16 M NaOH ile 0,45 ve 0,50 su/bağlayıcı oranlarında ayrı ayrı harçlar hazırlanarak 80°C'de 24 saat kür edilmiştir. Elde edilen numunelere işlenebilirlik, birim ağırlık, su emme ve boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanarak fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

Alkali ile aktive edilmiş harç oluşturmak için seramik sağlık gereci pişmiş ürün atıkları (Şekil 1), dere kumu, sodyum hidroksit ve su kullanılmıştır. Dere kumunun doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı 2,67 ve su emme oranı %1,94'dür (TS EN 1097-6). Dere kumuna ait elek analizi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Aktivatör olarak kullanılan sodyum hidroksitin saflığı %98,27'dir. Karışımlarda Nevşehir şebekesine ait içilebilir musluk suyu kullanılmıştır (TS EN 1008). Atık seramik sağlık gereci (ASG) ıskarta ürünleri Turkuaz Seramik (Kayseri) firmasından öğütülmüş toz olarak temin edilmiş 250 mikron elekten elenerek kullanılmıştır. Seramik sağlık gereci atığına ait kimyasal analiz Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Atık seramik sağlık gereçlerinden geopolimer harç numuneleri üretimi

Tablo 1. Dere kumu elek analizi değerleri

Elek Çapı, mm	Geçen, %
4,00	99,1
2,00	65,1
1,00	40,2
0,5	21,3
0,25	9,9
0,125	3,7
0,063	0,9

Tablo 2. Seramik sağlık gereci atıklarının (ASG) kimyasal analiz değerleri

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂	P ₂ O ₅	K. K.
66,32	27,86	1,56	0,37	1,07	0,16	1,25	0,59	0,10	0,51	0,05	0,10

2.2. Yöntem

Hazırlanan harçlarda sıvı/bağlayıcı oranı birinci grupta 0,45, ikinci grupta 0,50 olarak belirlenmiştir. Kum/bağlayıcı oranı 3 seçilmiştir. Aktivatör sodyum hidroksit (NaOH) ise 10, 12, 14 ve 16 M olarak kullanılmıştır. Karışım hazırlamak için kullanılan malzeme miktarları Tablo 3’de verilmiştir. Çözelti hazırlamak için cam kavanozlara hesaplanan su miktarı ve üzerine sodyum hidroksit ilave edilerek yaklaşık 1 dakika çalkalama suretiyle kimyasalın tamamen erimesi sağlanmıştır. Sodyum hidroksitin su ile tepkimesi ekzotermik olduğu için oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Oda sıcaklığındaki bu çözeltiler ile TS EN 196-1’e uygun olarak 40×40×160 mm ebatlarında harç numuneleri üretilmiştir. Çözelti ve seramik sağlık gereci atıkları önce karıştırma kabına konup 30 saniye karıştırdıktan sonra ikinci 30 saniye içerisinde kum ilave edilmiştir. Ardından yüksek hızda 30 saniye daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırıcı durdurulup ilk 30 saniyede kabın çeperlerindeki harç ortaya toplanarak toplam 90 saniye beklenmiştir. Ardından 60 saniye daha yüksek hızda devam edilerek karıştırma işlemi tamamlanmıştır. Taze halde iken harçlar üzerinde TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışımlar 40×40×160 mm boyutlarında 3 göze sahip harç kalıplarına iki aşamada dökülmüştür. 3 gözlü harç kalıplarına dökülen karışımlar kalıplarıyla birlikte etüve konulmuş ve 24 saat boyunca 80 °C sıcaklıkta ısı küre tabi tutulmuştur. Isıl küreden sonra kalıplarından çıkarılan harç numuneleri laboratuvar koşullarında yaklaşık 23±2 °C sıcaklıkta 28 gün bekletilmiştir. Ardından numunelerin birim ağırlıkları ile su emme ve boşluk oranları belirlenmiştir. Aynı numuneler üzerinde TS EN 1015-11 standardına uygun olarak eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir deneysel değer 3 numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

Tablo 3. Karışım oranları

Numune kodu	Molarite (M)	ASG Ağı (g)	Kum (g)	Su (g)	NaOH (g)
45ASG10	10	450	1350	202,5	81,0
45ASG12	12	450	1350	202,5	97,2
45ASG14	14	450	1350	202,5	113,4
45ASG16	16	450	1350	202,5	129,6
50ASG10	10	450	1350	225,0	90,0
50ASG12	12	450	1350	225,0	108,0
50ASG14	14	450	1350	225,0	126,0
50ASG16	16	450	1350	225,0	144,0

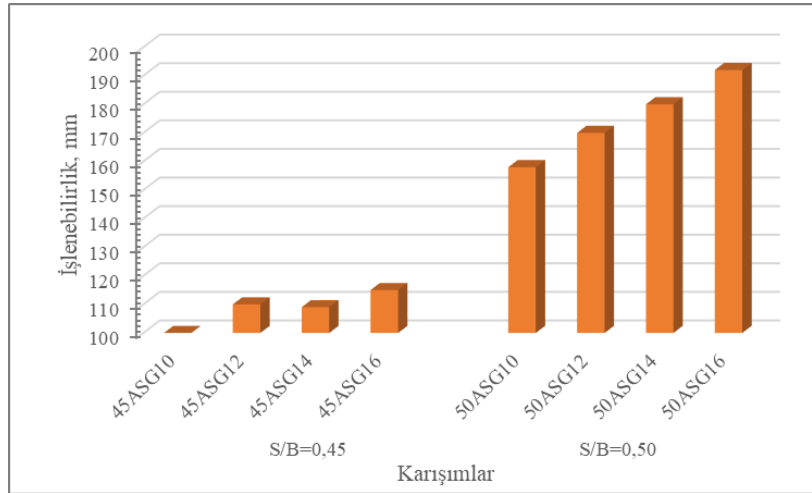
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyisel çalışmada üretilen harç numunelerine taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş numunelere ise birim ağırlık, su emme ve boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin tamamına ait sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Birim ağırlık deneyi sonucunda molarite artışı ile hem sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 hem de 0,50’de artış gözlemlenmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için birim ağırlıklar 2,17-2,24 g/cm³ arasında iken, 0,50 için 2,11-2,26 g/cm³ arasındadır. Ancak her iki grup içinde değerler birbirine oldukça yakındır (Tablo 4).

Tablo 4. Numunelerin test sonuçları

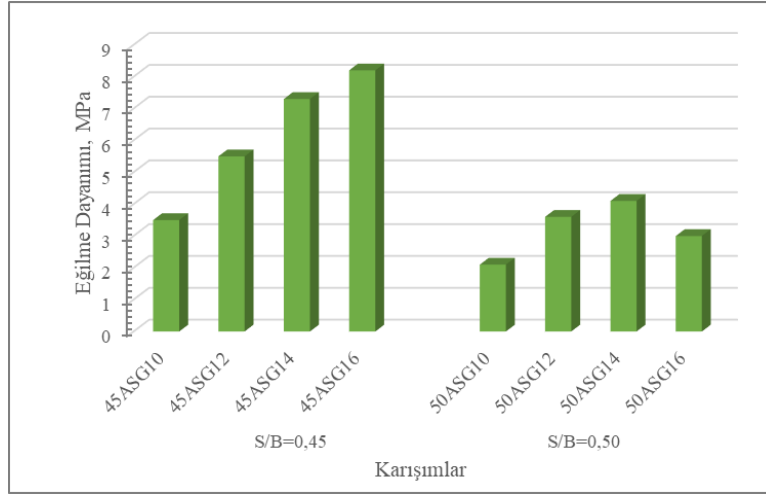
Numune kodu	İşlenebilirlik, mm	Eğilme Dayanımı, MPa	Basınç Dayanımı, MPa	Birim Ağırlık, g/cm ³	Su Emme Oranı, %	Boşluk Oranı, %
45ASG10	100	3,5	18,7	2,17	9,4	18,7
45ASG12	110	5,5	28,1	2,19	8,7	17,5
45ASG14	109	7,3	31,9	2,24	8,0	15,6
45ASG16	115	8,2	33,9	2,23	7,4	14,4
50ASG10	158	2,1	11,4	2,11	11,3	22,2
50ASG12	170	3,6	12,1	2,19	9,6	18,7
50ASG14	180	4,1	13,2	2,24	9,0	17,5
50ASG16	192	3,0	8,3	2,26	10,5	20,1

Çalışmada üretilen taze harç numunelerine ilk olarak işlenebilirlik deneyi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4 ve Şekil 2’de verilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında işlenebilirlik değerleri 100-115 mm aralığındadır. Aktivatör molaritesi 10’dan 16’ya doğru artış ile 15 mm’lik bir kıvam artışı oluşmuştur. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan harç gruplarında işlenebilirlik 158-192 mm arasındadır. Su oranının artması ile molariteye bağlı olarak da kıvam çok artmıştır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de molariteye bağlı olarak 15 mm içinde artış oluşurken 0,50’de 34 mm aralık içerisinde kıvam artışı gerçekleşmiştir. Sıvı aktivatör/toz bağlayıcı oranının artışı ile tüm harç gruplarında kıvam artışı oluşmuştur. Bu durum önceki çalışmalarda da belirtilmektedir (Sathonsaowaphak vd., 2009; Shoaie vd., 2019).



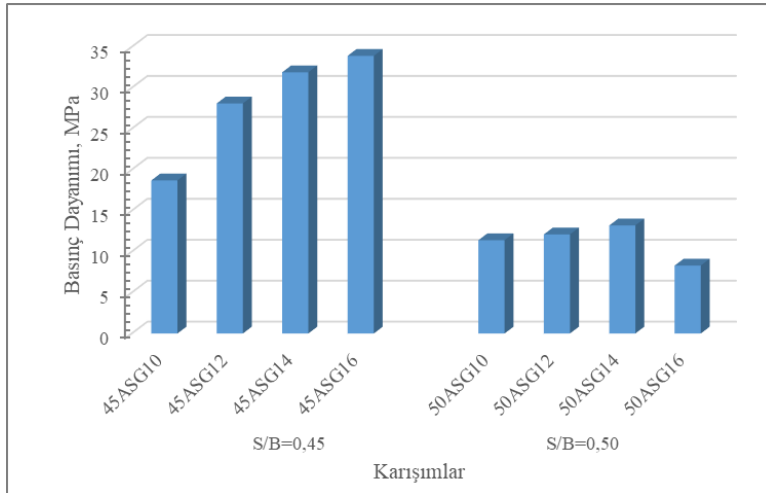
Şekil 2. İşlenebilirlik deney sonuçları

Üretilen harçların eğilme dayanımlarındaki değişimler Tablo 4 ve Şekil 3’de sunulmuştur. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harçlarda 3,5; 5,5; 7,3 ve 8,2 MPa olarak belirlenmiştir. Aktivatör molaritesinin artışına bağlı olarak eğilme dayanımı artış göstermiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan numunelerde 2,1; 3,6; 4,1 ve 3,0 MPa eğilme dayanımı elde edilerek molaritenin 10’dan 14’e artmasıyla eğilme dayanımı artmış ancak 16 M NaOH dayanımında düşüşe yol açmıştır. Tüm aktivatör molaritelerinde sıvı/bağlayıcı oranının azalması ile dayanımlar artmıştır. Sıvı/bağlayıcı 0,45’de NaOH 10 M’den 16 M’e ulaştığında eğilme dayanımı yaklaşık %134 artmaktadır. Sıvı/bağlayıcı 0,50’de NaOH 10 M’den 14 M’e ulaştığında eğilme dayanımı yaklaşık %95 artarken 16 M’de bu artış azalarak %45’e düşmektedir. Bu da yüksek su içeriği ve yüksek aktivatör oranlarının beraber olduğu durumlarda optimum dayanım seviyesinden sonra dayanıma olumlu katkı yapmadığını göstermektedir. Shoaie vd. (2019) çalışmalarında alkali çözelti/bağlayıcı oranı 0,6’dan 0,7’ye çıktığında sabit sıcaklıkta eğilme dayanımlarında düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Belirli bir kür sıcaklığı için, geopolimer karışımlarının Na içeriğindeki artış, eğilme dayanımında belirli bir Na molaritesine kadar artışa neden olur ve bu bir noktadan sonra azalır. Optimum Na konsantrasyonundan sonra eğilme dayanımındaki azalma, silisin bir noktada pıhtılaşmasındaki/tortulaşmasındaki artışa bağlanabilir. (Atiş vd., 2015; Görhan & Kürklü, 2014)



Şekil 3. Eğilme dayanımı deney sonuçları

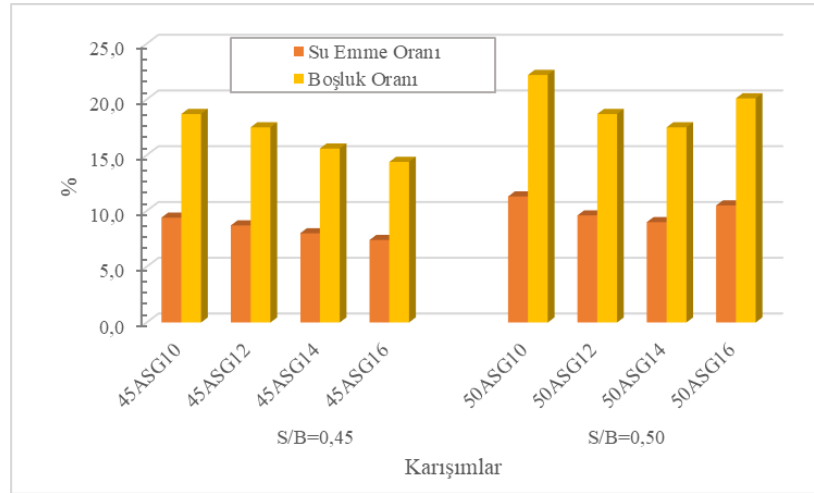
Harç numunelerinin basınç dayanımları Tablo 4 ve Şekil 4’de sunulmuştur. Eğilme dayanımı sonuçlarında olduğu gibi sıvı/bağlayıcı oranının artışı ile genel olarak basınç dayanımlarda düşüş oluşmuştur. Basınç dayanımı değerleri sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için 10 M, 12 M, 14 M ve 16 M aktivatör içeriğinde sırasıyla 18,7; 28,1; 31,9 ve 33,9 MPa iken sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 için sırasıyla 11,4; 12,1; 13,2 ve 8,3 MPa’dır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de basınç dayanımında 10 M’den 16 M’e yaklaşık %81 artış meydana gelmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 ise en düşük 8,3 MPa 16 M’de elde edilirken 10 M çözeltide bile 11,4 MPa dayanıma ulaşılmıştır. Ayrıca molarite değişimleri arasında önemli derecede basınç dayanımı artışı olmamıştır. Yüksek su içeriğinde yüksek molarite, dayanımın artmasına katkı sağlamamaktadır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için dört molariteye ait dayanımların aritmetik ortalaması 28,2 MPa iken 0,50 için bu değer 11,3 MPa’dır. Hem ortalamada hem de bireysel karışım gruplarında 0,45 ile yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Ancak 12 M ile 16 M arasında 5,8 MPa dayanım farkı oluşurken 10 M ile 12 M arasında 9,4 MPa fark oluşmuştur. Bu da basınç dayanımı için 12 M’den sonra dayanım artışının 10 M’den sonra oluşan artışa göre daha düşük olduğunu göstermektedir. NaOH molaritesinin artışı ile basınç dayanımlarının artması polimerizasyonun daha fazla oluşması sonucu yoğun içyapı oluşumu ile açıklanabilir (Atiş vd., 2015; Rattanasak & Chindaprasirt., 2009). Ancak molaritenin artmaya devam etmesiyle dayanımda oluşan düşüşlerin nedeni NaOH çözeltisinin yüksek viskozitesi sonucu çok fazla OH iyonu nedeniyle geopolimerik jellerin erken çökmesidir. Ayrıca kısmen reaksiyona girmiş veya reaksiyona girmemiş öncül taneciklerin varlığı nedeniyle Al ve Si türlerinin kusurlu çözünmesi olarak açıklanabilir. (Çelikten & Işıkdağ, 2020).



Şekil 4. Basınç dayanımı deney sonuçları

Su emme ve boşluk oranı deney sonuçları Tablo 4 ve Şekil 5’de değerlendirilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında su emme oranı % 7,4-9,4, boşluk oranı ise %14,4-18,7 değerleri arasında hesap edilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan harç gruplarında su emme oranı % 9,0-11,3, boşluk oranı %17,5-%22,2 değerleri arasında belirlenmiştir. Su emme ve boşluk oranları sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında molaritenin artmasıyla azalmıştır. Atabey vd. çalışmalarında Na oranının artmasıyla su emme ve boşluk oranının azaldığını ifade etmişlerdir (Atabey vd., 2020). Ancak 0,50 sıvı/bağlayıcı oranında NaOH artışının 10-14 M aralığında su emme ve boşluk oranları düşmüş 16M’de tekrar artış göstermiştir. Bu sonuç eğilme ve basınç dayanım sonuçları ile de benzer ilişki içerisindedir. Mehta vd. çalışmalarında basınç dayanımları ile su emme oranları arasındaki ilişkinin benzer olduğunu belirtmişlerdir (Mehta vd., 2017). Kaya vd. geopolimer harçların basınç dayanımı ile boşluk oranı arasındaki ilişkiyi varyans analizi ile incelemişler ve aralarında anlamlı ilişkinin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak geopolimer harç numuneleri portland çimentolu harçlara

göre yüksek su emme ve boşluk oranlarına sahiptirler. Görhan ve Kürklü, 85°C’de 24 saat kür uyguladığı NaOH ile aktive edilmiş uçucu küllü harçların 9 M’de yaklaşık %26-28 boşluk oranı, %16-18 su emme değerlerine sahip olduğunu belirlemişlerdir (Görhan & Kürklü, 2014).



Şekil 5. Su emme-boşluk oranı deney sonuçları

4. Sonuçlar

- Seramik sağlık gereci (vitrikiye) esaslı geopolimer harçların işlenebilirliği sabit sıvı/bağlayıcı oranında aktivatör molaritesinin artması ile iyileşmektedir. Özellikle 0,50 sıvı/bağlayıcı oranında kıvamda iyileşme aktivatör oranının artması ile daha fazladır.
- Molarite artışı hem 0,45 hem de 0,50 sıvı/bağlayıcı oranlarında birim ağırlıkta çok küçük de olsa artışa yol açmıştır.
- Eğilme ve basınç dayanımı sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de molarite artışı ile doğru orantılı iken 0,50’de 14 M’e kadar doğru orantılı artış oluşmuştur.
- Dayanım değerlerinde sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için 12 M’den 16 M’e kadar artış oranı 10 M’den 12 M’e geçişte oluşan artış oranından düşüktür. Fakat en yüksek dayanım 16 M’de elde edilmiştir.
- Ekonomi ve çevresel koşullar dikkate alındığında optimum molarite için 0,45 sıvı/bağlayıcı oranında 12 M belirtilebilir.
- Su emme ve boşluk oranları değerleri molarite artışına bağlı olarak azalmakta fakat 0,50 su içeriğinde doğru orantılı bir artış oluşmamaktadır. Ancak hem molarite hem de sıvı/bağlayıcı oranlarında dayanım değerleri ile orantılı artış ve azalış göstermektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan seramik sağlık gereci atıklarının temininde destek olan Turkuaz Seramik Ar-ge Merkezine (Kayseri) teşekkür ederiz.

Referanslar

- Acıkbas G., Gocmez H. (2017) Polyester Matrisli Kompozit Özelliklerine Vitrikiye Seramik Sağlık Gereci Atık Miktarının Etkisi. Akademik Platform, 5 (3), 137-145.
- Aguilar, R.A., Díaz, O.B., García, J.I.E. (2010) Lightweight concretes of activated metakaolin-fly ash binders, with blast furnace slag aggregates, Constr. Build. Mater. 24 1166–1175. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.12.024
- Al-Majidi, M.H., Lampropoulos, A., Cundy, A., Meikle, S. (2016) Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications, Constr. Build. Mater. 120 198–211. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.05.085
- Amin, S.K., El-Sherbiny, S.A., El-Magd, A.A.M.A., Belal, A., Abadir, M.F. (2017) Fabrication of geopolymer bricks using ceramic dust waste, Constr. Build. Mater. 157 610–620, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.052.
- Atabey, İ. İ., Karahan, O., Bilim, C., & Atış, C. D. (2020). The influence of activator type and quantity on the transport properties of class F fly ash geopolymer. Construction and Building Materials, 264, 120268, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120268
- Atış, C. D., Görür, E. B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., & Luga, E. (2015). Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolymer mortar activated at different NaOH amount, heat curing temperature and heat curing duration. Construction and building materials, 96, 673-678, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.089

- Bayer Öztürk, Z., Yılmaz, Y.C., Bozkurt, Y., Atabey, İ.İ., Vitrikiye ürün atıklarından geopolimer yapı malzemesi üretimi, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology in Cappadocia/TURKEY (ISMATEC'19), 1178-1181, June 21-23 2019.
- Cosa J., Soriano L., Borachero M.V., Reig L., Paya J., Monzo J.M. (2018) Influence of addition of fluid catalytic cracking residue (FCC) and the SiO₂ concentration in alkali-activated ceramic sanitary-ware (CSW) binders. *Minerals*, 8, 123. doi:10.3390/min8040123
- Çelikten, S., Işıkdag, B. (2020). Strength development of ground perlite-based geopolimer mortars. *Advances in concrete construction*, 9(3), 227-234, <https://doi.org/10.12989/acc.2020.9.3.227>
- Davidovits, J. (1991) Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *J. Therm. Anal. Calorim.* 37 1633–1656 (www.geopolymer.org)
- Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. (2014) The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties of geopolimer concrete cured at ambient temperature. *Materials and Design*, 62, 32-39. doi:10.1016/j.matdes.2014.05.001
- Görhan, G., Kürklü, G. (2014). The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolimer mortar cured at different temperatures. *Composites part b: engineering*, 58, 371-377, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.082>
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S., Ariffin, M.A.M. (2016) Effect of metakaolin replaced granulated blast furnace slag on fresh and early strength properties of geopolimer mortar, *Ain Shams Eng. J.* 7 (4) 944–953. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.011>
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S., Hussein, A.A. (2017) Geopolimer mortars as sustainable repair material: a comprehensive review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 54–74 doi:10.1016/j.rser.2017.05.076
- Huseien, G.F., Ismail, M., Tahir, M., Mirzac, J., Husseina, A., Khalida, N.H. (2018a) Effect of binder to fine aggregate content on performance of sustainable alkali activated mortars incorporating solid waste materials, *Chem. Eng.* 63 667–672. doi:10.3303/CET1863112
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M. (2018b) Effects of high volume ceramic binders on flexural strength of self-compacting geopolimer concrete, *Adv. Sci. Lett.* 24 4097–4101. doi:10.1166/asl.2018.11549
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Mirza, J., Tahir, M.M., Asaad, M.A., Ismail, M., Shah, K.W. (2018c) Waste ceramic powder incorporated alkali activated mortars exposed to elevated temperatures: performance evaluation, *Constr. Build. Mater.* 187 307–317. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.226
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Shah, K.W., Mirza, J., Tahir, M.M. (2019) Evaluation of alkali-activated mortars containing high volume waste ceramic powder and fly ash replacing GBFS. *Constr. Build. Mater.* 210, 78-92. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.194
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Shah, K.W., Mirza, J. (2020) Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. *Constr. Build. Mater.* 236, 117574. doi:10.5772/intechopen.81842
- Kaya, M., Uysal, M., & Yılmaz, K. (2018). Jeopolimer harçlarda dayanım, kür sıcaklığı ve boşluk oranı ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 248-256. doi: 10.16984/taufenbilder.300934
- Keppert, M., Vejmelková, E., Bezdicka, P., Dolezelová, M., Cáchová, M., Scheinherrová, L., Pokorný, J., Vyšvaril, M., Rovnaníková, P., Cerný, R. (2018) Red-clay ceramic powders as geopolimer precursors: Consideration of amorphous portion and CaO content, *Appl. Clay Sci.* 161 82–89. doi:10.1016/j.clay.2018.04.019
- Kulkarni S. (2018), Experimental study on red mud, fly ash, GGBFS based geopolimer concrete, *International journal of engineering research technology*, 7(12) 107-111. (ISSN: 2278-0181)
- Kunduracı N., Tarhan B., Sarısakal C. (2019) Seramik sağlık gereçleri üretiminde pirolastik deformasyon azaltılmasına bağlı olarak geliştirilen kompozisyonların üretim maliyeti açısından değerlendirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 474-480.
- Medina C., Juan A., Frias M., Sanchez de Rojas M.I., Moran J.M., Guerra M.I. (2011) Characterization of concrete made with recycled aggregate from ceramic sanitary ware. *Materiales de Construction*, 61, 304, 533-546. doi:10.3989/mc.2011.59710
- Mehta, A., Siddique, R., Singh, B. P., Aggoun, S., Łagód, G., Barnat-Hunek, D. (2017). Influence of various parameters on strength and absorption properties of fly ash based geopolimer concrete designed by Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 150, 817-824, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.066>
- Mucsi G., Szabo R., Racz A., Kristály F., Kumar S., (2019), Combined utilization of red mud and mechanically activated fly ash in geopolymers, the *Mining Geology- Petroleum Engineering Bulletin*, 27-36.
- Rashad A.M., Essa G.M.F. (2020) Effect of ceramic waste powder on alkali-activated slag pastes cured in hot weather after exposure to elevated temperature. *Cement and Concrete Composites*, 111, 103617. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103617
- Rattanasak, U., Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolimer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073-1078. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>

Reig L., Tashima M.M., Soriano L., Borrachero M.V., Monzo J.M., Paya J.J. (2013). Alkaline activation of ceramic waste materials. *Waste and Biomass Valorization*, 4, 729-736. doi:10.1007/S12649-013-9197-z

Reig L., Soriano L., Borrachero M.V., Monzo, J., Paya J. (2014) Influence of the activator concentration and calcium hydroxide addition on the properties of alkali-activated porcelain stoneware. *Constr. Build. Mater*, 68, 214-222. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.023

Reig L., Borrachero M.V., Monzo J.M., Savastono J.R.H., Tashima M.M., Paya J.J. (2015) Use of ceramic sanitaryware as alternative for the development of new sustainable binders. *Key Engineering Materials*, 668, 172-180. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.668.172

Reig L., Soriano L., Tashima M.M., Borrachero M.V., Monzo J., Paya J. (2018) Influence of calcium additions on the compressive strength and microstructure of alkali-activated ceramic sanitary-ware. *Journal of American Ceramic Society*, 101, 3094-3104. doi:10.1111/jace.15436

Robayo-Salazar, R.A., de Gutiérrez, R.M. (2018) Natural volcanic pozzolans as an available raw material for alkali-activated materials in the foreseeable future: a review, *Constr. Build. Mater*. 189 109–118. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.174

Sathonsaowaphak A., Chindaprasirt P., Pimraksa K., Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar, *J. Hazard. Mater.* 168 (2009) 44–50, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.120>

Shoaei, P., Musaei, H. R., Mirlohi, F., Ameri, F., & Bahrami, N. (2019). Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 227, 116686, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116686>

Torres-Carrasco M, Puertas F (2015) Waste glass in the geopolymer preparation. Mechanical and microstructural characterisation. *J Clean Prod* 90:397–408. doi:10.1016/j.jclepro.2014.11.074

TS EN 196-1, Çimento Deney Metodları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 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, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.

TS EN 1015-3/A1, Kâgir harcı- Deney metodları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS EN 1015-11/A1, Kâgir Harcı-Deney Metodları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.

TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.