

Atık Taş Tozları ile Üretilen Harçların Dayanım ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması

Nusret BOZKURT^{1*}, Erden Ozan KARACA²

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye

*¹ nbozkurt@beu.edu.tr, ² eozankrc@gmail.com

(Geliş/Received: 04/11/2017;

Kabul/Accepted: 21/12/2018

Özet: Bu çalışmada, atık taşlardan elde edilen tozların çimento teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmış ve bu kapsamda dayanım ve durabilite özellikleri belirlenmiştir. Bitlis yöresinden temin edilen 3 farklı taş atıkları toz halinde öğütülmüş ve elde edilen bu taş tozlarının puzolanik etkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla Bitlis-Ahlat yöresi pomza taşı tozu (BPT), Bitlis-Güroymak ve Bitlis-Ahlat yöresi ignimbirit tozları (GTT, ATT) hazırlanan harç numuneler içerisinde %0, %10, %20 ve %40 oranlarında çimentoya ağırlıkça ikame edilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu numuneler 7, 28 ve 90 gün standart su kürü sonrasında basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrasonik ses geçirgenlik deneylerine tabi tutularak dayanım özelliklerine bakılmıştır. Durabilite özelliklerinin belirlenmesinde yüksek sıcaklık ve donma-çözünme deneyleri uygulanmıştır. Bir kısım numunelere 200, 400, 600 ve 800 °C’de ayrı ayrı yüksek sıcaklık deneyi ve diğer kısım numunelere ise 90 çevrim donma-çözünme deneyi uygulanarak bu deneyler sonrası basınç mukavemeti, eğilme mukavemeti ve ultrasonik ses geçirgenlik değerlerine bakılmış sonuçlar kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çimento teknolojisi, atık taş tozu, katkı malzemeleri.

The Investigation of Strength and Durability Properties of Mortars Produced with Waste Stone Dusts

Abstract: In this study, it was investigated the use of waste stone dusts as additive material in cement technology and determined the strength and durability properties. Three different stone wastes obtained from Bitlis region were ground into dusts and it was investigated whether or not these stone dusts obtained had pozzolanic effect. For this purpose, Bitlis-Ahlat pumice stone dust (BPT), Bitlis-Güroymak and Bitlis-Ahlat region ignimbrite dusts (GTT, ATT) were added to the prepared cement-mortar samples with 0%, 10%, 20% and 40%. Afterwards, these samples were subjected to compressive strength, flexural tensile strength and ultras-sound pulse velocity tests after 7, 28 and 90 days of standard water curing. High temperature and freeze-thaw tests were applied to determine the durability characteristics. The results were compared with the control samples by applying the high-temperature test separately at 200, 400, 600 and 800 °C and the 90-cycle freeze-thaw test for the other part of the samples.

Key words: Cement technology, waste stone dust/powder, additive materials.

1. Giriş

Artan şehirleşmeyle birlikte gelişen endüstri beraberinde çevresel atıkların da artmasına sebep olmaktadır. Bu çalışma ile atıkların beton ve çimento endüstrisinde kullanılmasının araştırılmasıyla, endüstriye geri kazandırılması ve olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması hedeflenmektedir. Bitlis yöresinin pomza ve ignimbirit yönünden zengin oluşu, hali hazırda pomzanın beton teknolojisinde kullanılması, yine Ahlat yöresinden elde edilen ignimbiritin yapı malzemesi olarak kullanılması, bu malzemelerin atıklarının da tekrar çimento ve beton endüstrisinde kullanılıp kullanılmayacağıyla ilgili çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Yazıcıoğlu ve Demirel [1], puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında beton basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, doğal puzolanların portland çimontosu içinde kütlece belirli oranlarda yer değiştirilerek, betonun dayanımına yaptığı katkı incelenmiş ve pomza kaynaklı puzolanik aktivitenin ilerleyen kür yaşlarında ortaya çıktığı ancak çimentonun kütlece pomzayla yer değiştirmeden kaynaklı azalması betonun dayanımının düşmesinde de etkili olabileceği vurgulanmıştır. Ahlat yöresi ignimbirit atıklarının taş unu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırıldığı Erdal ve Şimşek [2]’in çalışmalarında ise, %5 oranında çimento içine eklenmesinin, eklenmemiş numuneye kıyasla benzer basınç ve çekme değerleri verdiği görülmüştür. Kütlece eklenen bu taş unu miktarının %25 olması halinde ise bu betonların eğilme dayanımlarının %37, basınç dayanımlarının da %30 oranında azaldığı saptanmıştır. İgnimbirit üzerine yapılan bu çalışma sonucunda da kütlece %5 oranında eklenen taş ununun beton içerisine eklenmesinin, hem bu atıkların çevreye verdiği zararın azaltılmasında, hem çimento kullanımının azaltılması neticesinde

* Sorumlu yazar: nbozkurt@beu.edu.tr Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-3737-8205, ² 0000-0003-1111-1710

çimento üretiminin çevresel zararlarının azaltılması yönünde etkili olabileceği vurgulanmıştır. Yine beton üretiminde en pahalı malzeme olan çimentonun yerine atık olarak karşımıza çıkan taş unlarının kullanılmasının maliyet noktasında fayda sağlayacağı belirlenmiştir. Nevşehir pomzasıyla ilgili yapılan bir çalışmada, pomza agregalarından hazırlanmış beton örnekleri 7, 14, 28 ve 90 günlük olarak hazırlanmış ve bu örnekler tek eksenli basma ve çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak bu pomzanın sahip olduğu dayanım ve düşük yoğunluktan dolayı hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Hafif betonların binalarda ölü yükü azalttığı ve zemine daha az yük uygulandığı için binanın depreme daha dayanıklı hale gelmesine sebep olması pomzanın önemini artırmakta ve pomzanın etkisiyle binalarda ısı ve ses yalıtımının sağlanması ve maliyette de fayda sağlayacağı belirtilmiştir [3]. Khyaliya ve diğ. [4] yaptıkları çalışmada mermer atıklarının harç numunelerinde agrega olarak kullanımının uygunluğunu araştırmışlardır. Bunun için harç numunesi karışımında farklı yüzdelik oranlarda kum ile ikame edilmiştir. Sonuç olarak mermer atıklarının %25 ve %50 oranlarında kum yerine güvenli bir şekilde kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Ana Matos ve diğ. [5] tarafından yapılan çalışmada ise çimento içerisine ikame edilen atık cam tozuyla oluşturulmuş harç numunelerinin durabilite özellikleri araştırılmıştır. Bunun için öğütülen atık cam parçaları çimento ile %10, %20 ve %40 oranlarında ikame edilmiştir. Elektron mikroskopuyla yapılan gözlem ile yoğun jel tabakasına iyi bir şekilde kapsüllenmiş cam partiküllerinin betonun dayanımını artırıcı etken olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak atık cam tozunun inşaat teknolojisinde sürdürülebilirlik açısından olumlu etkisinin olduğu belirtilmiştir. Kallel ve diğ. [6] kum yıkama atıkları ile yapılan harç numunelerin dayanıklılığını araştırdıkları çalışmada ise; kum yıkama işlemi sonucu ortaya çıkan kaolinit bakımından zengin endüstriyel atık puzolanik malzeme olarak kullanılmıştır. %0, %10 ve %30 oranlarında atık içeren numuneler HCl ve Na₂SO₄ çözeltileri içerisinde dayanıklılık yönünden incelenmiştir. Sonrasında yapılan deneyler sonucunda ise %10 oranında atık malzeme içeren harç numunelerinin her iki çözeltide de en yüksek dayanıklılığı gösterdiği belirtilmiştir.

Lu ve diğ. [7] ise içecek şişelerinden elde edilen atık cam tozu ve cam parçaları içeren çimento esaslı harçların taze haldeki özelliklerini incelemişlerdir. Burada atık cam tozu, harçların priz süresini daha düşük bir hidrasyon ısıyla kısalttığı görülmüştür. Bununla birlikte cam tozunun boyutu çimento ile aynı boyuta indirildiğinde harçların işlenebilirliğinin ve sertleşmesinin kontrol numuneleriyle benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca cam tozunun %20 oranında çimento ile ikamesi numunenin mukavemetini artırmıştır. Ez-Zaki ve diğ. [8] tarafından çimento ve kum ile kısmi olarak yer değiştirilen atık malzemeler ile daha ekonomik ve çevre dostu harç geliştirilmesi araştırılmıştır. Atık malzeme olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Atık malzemeler %20, 40 ve 60'lık oranlarda kullanılarak farklı tür harçlar üretilip incelenmiştir. Sonuç olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu malzemenin ısı geçirgenliğini düşürmüş ve yalıtım işlerinde kullanılabilceği ortaya koyulmuştur. Atık silis camı ile üretilen alkali aktif çimento harcı üzerinde ise başka bir çalışma yapılmıştır [9]. Bunun için atık cam uçucu kül-cüruf harcı içinde ince agrega olarak kullanılmıştır. Deney sonuçları cam kırıntısı miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığını göstermektedir. Aynı doğrultuda, mekanik özelliklerin ve yüksek sıcaklığa karşı direncin arttığı da belirlenmiştir.

Kabeer ve diğ. [10] mermer bloklarının kesilmesi ve şekillendirilmesi sırasında ortaya toz malzemelerin hem endüstriye geri kazandırılması için, hem de doğal kaynak kullanımına bağlılığı azaltmak için bir araştırma yapmışlardır. Bu amaçla mermer tozlarını çimento harçları içerisindeki geleneksel nehir kumu yerine kullanmışlardır. Yapılan deney sonuçları, harçlar içerisinde nehir kumuyla %20 oranında ikame edilen mermer tozlarının kullanılabilceğini göstermiştir. Böylece çevresel kirliliğin önüne geçilebileceğini, doğal kaynakların tüketiminin yavaşlatılmış olacağını ve mermer endüstrisinin daha sürdürülebilir olacağını belirtmişlerdir. Dang ve diğ. [11] tarafından agrega olarak atık kil tuğla kullanılan harçların özellikleri incelenmiştir. Tuğla parçalarının agrega olarak beton içerisinde kullanılmasıyla daha çevreci bir üretim amaçlanmıştır. Farklı dane boyutları ve su muhteva oranlarıyla oluşturulan numuneler üzerinde makroskopik ve mikroskopik testler gerçekleştirilmişlerdir. Sonuçlar incelendiğinde tuğla parçalarının 0-5 mm arası dane boyutunda kullanılmasının harç mukavemetini artırdığı görülmüştür. Xu ve diğ. [12] tarafından agrega ve mineral katkı maddesi olarak diatomit, uçucu kül ile hazırlanan harçlar incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde diatomitler ile hazırlanan harçların basınç ve eğilme dayanımlarının büyük ölçüde arttığını, uçucu kül ilavesiyle hazırlanan harçların da eğilme mukavemet değerlerinde iyileşmeler görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca diatomit kullanılarak hazırlanan numunelerin asit ve sülfat dayanımlarında artışlar olduğu görülmüştür.

Norambuena-Contreras ve diğ. [13], metalik atık içeren çimento esaslı harçların elektriksel ve termal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, atık malzeme olarak çelik lifler ve çelik talaşları harç içinde kullanmışlardır. Harçlar üzerinde hacimsel, elektriksel ve termal deneyler yapılmıştır. Harç numunelere 7 ve 28 günlük iki farklı kür yaşı uygulanmıştır. Sonuçlar; metalik atıkların çimento bazlı harçların gözenekliliğini arttırmayı sağladığını göstermiştir. Ayrıca metalik atıkların, metalin türüne ve miktarına bakılmaksızın harçların

elektrik direncini ve ısı iletkenliğini değiştirebileceğini göstermişlerdir. Kür süresinin ise herhangi bir değer üzerine etkisi gözlemlenmemiştir. şimonov ve diğ. [14] atık cam tozu ile imento esaslı harçların mekanik kırılma parametrelerini araştırmışlardır. Bu amaçla imento yerine kütlege %5, 10, 15 ve 20 oranlarında öğütölmüş atık laboratuvar borosilikat camı kullanılmıştır. 4x4x16 cm'lik kiriş numuneler halinde oluşturulan numuneler 7, 28, 56 ve 90 günlük kür süresinden sonra eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak numunelerin basınç mukavemetlerinde %12-33, eğilme mukavemetlerinde de %6-15'lik artış olduğu belirlenmiştir. Gil ve diğ. [15] ise çalışmalarında odun talaşı atıklarıyla katkılanırılmış harçların mekanik davranışlarını araştırmışlardır. Bu amaçla ağırlıkça sırasıyla %0, 0,5, 1 ve %3'lük talaş ilaveli harçlar hazırlanmış ve 7, 30, 90 günlük kürler uygulanmıştır. Talaşların yapışma davranışlarını görebilmek amacıyla elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Sonuç olarak %0,5 talaş kullanılan numunelerin mukavemetinin arttığı görölmüştür. Ayrıca mikroskop incelemesiyle %0,5 ve %1 oranlarında talaş kullanımının iyi bir yapışma özelliği gösterdiği gözlemlenmiş, bu da malzemenin çatlama sonrası davranışı üzerinde olumlu bir etki gösterdiğini vurgulamışlardır. Younes ve diğ. [16] imento harcı kompozitlerinin üretiminde pirinç kabuğu küllü, atık cam parçalarının kullanılmasını araştırmışlardır. Hazırladıkları numunelere 3, 7, 28, 60 ve 90 günlük standart su kürü uygulamışlardır. Sonuçlar hem atık camın hem de pirinç kabuğu küllünün tüm harç örneklelerinde basınç dayanımı değerlerini iyileştirdiği ve hidrasyon süresini arttırdığı göstermiştir. Gözeneklilik ve su emme kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde azalmalar görölmüştür. Basınç dayanımında en fazla artış %5'lik pirinç kabuğu küllü numunede olmuştur.

Bu alışmada, Bitlis yöresinde bims blok üretiminde kullanılan pomza taşı agregasından geriye kalan toz malzeme ile Bitlis-Güroymak ve Ahlat yöresinde kesme taş olarak yoğunlukla kullanılan ignimbirit atık tozları imento ve dolayısı ile beton teknolojisinde puzolonik etkisi olup olmadığı ve dayanım-durabilite özellikleri belirlenmiştir.

2. Malzeme ve Metot

Deneyisel alışmada Elazığ imenteaş Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42,5 N tipi portland imentosu kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri ve standartta verilen sınır değerler Tablo 1'de sunulmuştur [17]. Çalışmada kullanılan atık toz malzemelerin kimyasal özellikleri ise Tablo 2' de verilmiştir. Kullanılan atık taş tozları imento ile yer değiştirildiğinden malzeme boyutu olarak 63 µm'den geçen malzemeler seçilmiştir. Çalışmada harç oluşturmak için Limak Trakya imento Fabrikası'ndan temin edilmiş olan CEN tipi standart deney kumu kullanılmış olup bu kumun tane büyüklük analiz raporu Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 1. CEN-1 42,5 Portland imentosu özellikleri.

Analiz sonuçları	TİP I 42.5 N	TS EN 197-1:2002 [4]
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4	>= 20,0
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4	
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51,0	62,5 >= X >= 42,5
SO ₃ (%)	2,6	<= 3,5
MgO (%)	2,1	<= 5,0
CI (%)	0,007	<= 0,1
Kızdırma Kaybı (%)	1,7	<= 5,0
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3	<= 5,0
Özgöl yüzey (cm ² /g)	3749	
Priz Başlancı (dakika)	161	>= 60,0
Priz Sonu (saat)	04:20	
Hacim Sabitliği (mm)	0,4	<= 10,0
Serbest Kireç (%)	0,5	-
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O) (%)		-
Su İhtiyacı (Vicat Suyu) (%)	29,6	-

Çimento, standart deney kumu ve atık toz malzemelerin deneyisel çalışmalarda kullanılacak miktarları hesaplanıp tüm malzemeler tek seferde ve optimum miktarda temin edilerek laboratuvar koşullarında saklanmıştır. İlk

olarak çalışmamıza uygun harç karışım hesapları yapılarak deneme karışımları dökülmüştür. Deneme harç karışımlarının uygunluğu çimento-harç yayılma tablası deney düzeneği ile tespit edilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan taş tozlarının kimyasal özellikleri.

İçerik	Açık Renkli Ahlat Taşı	Koyu Renkli Ahlat Taşı	Pomza Tozu	Güroymak Taşı
SiO ₂	64,01	64,05	69,08	62,30
Al ₂ O ₃	16,68	15,33	13,32	17,50
Fe ₂ O ₃	4,91	4,9	4,97	4,0
CaO	1,64	2	0,71	1,30
MgO	0,24	0,53	0,14	0,26
Na ₂ O	5,51	5,46	5,28	-
Diğer	7,01	7,28	6,5	14,16

Tablo 3. CEN standart kumu tane büyüklük dağılımı.

Tane Büyüklük Dağılımı Kare Göz Açıklığı (mm)	Standart	Analiz Sonuçları
2,00 mm	%0,00	%0,00
1,60 mm	%7 ± 5	%7,06
1,00 mm	%33 ± 5	%32,69
0,50 mm	%67 ± 5	%67,90
0,16 mm	%85 ± 5	%87,32
0,08 mm	%99 ± 1	%99,42
Rutubet	%0,20	%0,13

2.1. Taze harç deneyleri

Yayılma tablası deney düzeneği ile taze haldeki harcın su içeriğinin yani işlenebilirliğinin anlaşılması için yapılmıştır. İlgili Türk Standartları uyarınca [18,19] hazırlanan harç numuneleri kesik koni içerisine, önce yarısına kadar harç doldurulup özel çubuğuyla 15 kez şişlenmiş, aynı işlem koninin kalan yarısı içinde yapılarak doldurulmuştur. Deneyin uygulanması, koni kaldırıldıktan sonra aletin üst kısmının ancak belirli bir yüksekliğe kadar yükselip düşmesini sağlayan kolu, her iki saniyede bir düşüş yapacak şekilde 15 kez çevrilerek numunenin yayılması esasına dayanır [18]. Bu şekilde uygulama sonucu, yayılmış numunenin çapı farklı yerlerinden ölçülerek ortalaması alınmış ve tüm numunelerin aynı işlenebilirlik ile birbirine denk su içeriğinde olması sağlanmıştır. Daha sonra, harç numuneler 40x40x160 mm boyutlarındaki metal kalıplar içerisine yerleştirilerek otomatik şok masası yardımı ile hazırlanan tüm numunelerin eşit olarak kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sağlanmıştır. Otomatik kontrollü bu alet önceden ayarlanabilen düşüş sayısınca dakikada 60 düşüş yapabilecek özelliğe sahiptir [20]. Bu çalışmada alete her kalıp için 10 düşüş yaptırılarak harç numunelerinin kalıba hava boşluğu kalmaksızın yerleşmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Kıvamları ve içerikleri belirlenen harç karışım içerikleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Harç karışım içerikleri.

İçeriği	Çimento (gr)	Kullanılan toz (gr)	Kum (gr)	Su (gr)
Kontrol (K)	450	0	1350	250
%10 BPT	405	45	1350	250
%20 BPT	360	90	1350	249
%40 BPT	270	180	1350	247
%10 ATT	405	45	1350	250
%20 ATT	360	90	1350	248
%40 ATT	270	180	1350	245
%10 GTT	405	45	1350	250
%20 GTT	360	90	1350	246
%40 GTT	270	180	1350	245

2.2. Dayanım deneyleri

Ultrasonik ses geçirgenlik (USG) cihazı vasıtasıyla deney numunesine zarar vermeden dayanım özellikleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Numune içerisine gönderilen ultrasonik ses dalgalarının, numunenin bir yüzünden diğer yüzüne ulaşana kadar geçen sürenin ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu dalga hızı ile numunenin basınç dayanım özellikleri elde edilmektedir [21]. Bu deney, kür süreleri dolan numunelerin mekanik deneylere tabi tutulmalarından önce uygulanmıştır. Deney sırasında numunenin bir ucundan gönderilen ses dalgalarının diğer uca ulaşmasına kadar geçen süre belirlendikten sonra dalga hızı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada; V ultrasonik ses dalgalarının hızı, S ses dalgalarının gönderildiği numunenin iki ucu arasındaki mesafe (m), t ses dalgalarının numunenin gönderildiği uçtan alındığı uca varıncaya kadar geçen zaman (mikro saniye) [7,8].

USG deneyi sonrasında numunelere öncelikle üç noktalı eğilme çekme deneyi uygulanmış ve sonrasında ise basınç mukavemeti deneyi uygulanmıştır. Burada birbirine paralel, aralarında 10 cm mesafe olan iki destek/mesnet mili üzerine, numunelerin pürüzsüz yüzeyi gelecek şekilde yerleştirilmiş prizmatik harç numuneler üzerine orta noktadan dik ve diğer millere paralel olarak gelen yükleme mili vasıtasıyla saniyede 50 N'luk yük uygulayacak şekilde yüklenmiştir. Deney aletindeki millerin çapı 10 mm'dir. Deney, numunenin kırılmasıyla sonuçlanmış ve bilgisayar vasıtasıyla kırılma anındaki eğilme çekme mukavemeti belirlenmiştir. Basınç mukavemeti deneyi, 2400 N/sn üniform yükle yüklenerek kırılmış ve maksimum gerilmeler kaydedilmiştir [22,23].

2.3. Durabilite deneyleri

Yüksek sıcaklık deneyi 90 günlük standart su kürüne tabi tutulmuş harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş olup, yüksek sıcaklık fırınında sırasıyla 200, 400, 600 ve 800°C'lerde sıcaklıklar uygulanmış ve sıcaklık uygulanmayan numuneler ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Toplam deney süresi, hedef sıcaklığa tırmanma, hedef sıcaklıkta bekleme ve soğuma süresi olarak hesaplanmış ve 3 saat olarak belirlenmiştir. Deney sonrası soğuyan numunelerin önce USG deneyi ölçümleri alınmış, ardından eğilme çekme deneyi ve basınç deneyi yapılmıştır.

Donma-çözünme deneyinde 28 günlük standart kür yaşını dolduran harç numunelerine 90 gün boyunca donma-çözünme çevrimi uygulanmıştır. Deney standartlarda verilen döngü şartlarına uygun olarak ve tüm harç serileri için aynı şartlar uygulanarak gerçekleştirilmiştir [24]. Donma-çözünme döngüleri, sıcaklığın öncelikle 120 dakikada 0°C'ye düşürülmesi, 120 dakika 0°C'de bekletilmesi, 600 dakika süre aralığında -15°C'ye düşürülmesi, 120 dakika -15°C'de bekletilmesi ve 480 dakika süre aralığında +20°C'ye yükseltilmesi ile toplamda 24 saat olacak şekilde ayarlanmış ve bu şekilde 90 döngü uygulanmıştır. Deney süresi bittikten sonra uygulanan bu çevrim sonucu numunelerin yüksek sıcaklık deneyinde olduğu gibi USG deneyi sonuçlarına, eğilme çekme mukavemeti ve basınç mukavemeti sonuçlarına bakılmıştır. Bu sonuçlar da donma-çözünme çevrimi süresince kür havuzunda bekletilen ve donma-çözünme çevrimi uygulanmamış diğer numunelerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

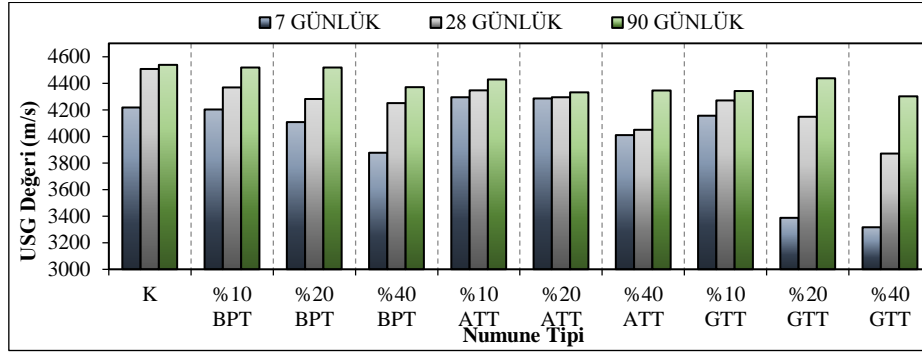
3. Bulgular ve Tartışma

Kür süreleri ve katkı tiplerine göre harç numunelerden elde edilen USG deney sonuçları Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1 incelendiğinde, elde edilen sonuçların basınç mukavemet sonuçlarını teyit eder nitelikte olduğu söylenebilir (Şekil 2). Burada kür yaşının artması ile doğal olarak her serinin kendi içinde ses hızının arttığı görülmektedir. Bu durum hazırlanan numunelerin normal şekilde mukavemet kazandığını ifade etmektedir. Numunelerin 7-90 gün kür süresince 3300-4550 m/sn arasında USG hızı sonuçları sergilediği görülmektedir. Bu sonuç ise, kaliteli bir numunenin hazırlandığını göstermektedir [21]. Katkı tiplerine göre USG sonuçları irdelendiğinde 28 güne kadar her katkı tipinde, katkı oranının artmasıyla USG hızında düşüş görülürken 90 gün kür sonrasında K (katkısız kontrol) serisine çok yakın değerler elde edildiği görülmektedir. Bu durum tüm katkı tiplerinin %20 katkı oranına kadar sergilenirken, %40'luk atık toz ilavesi her seri için

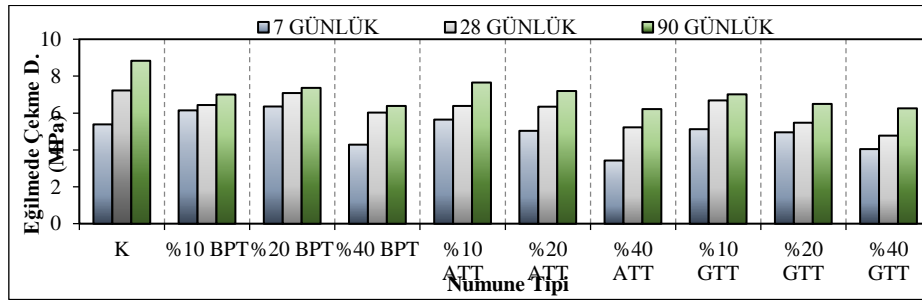
kontrole göre ortalama %4.4 oranında düşük çıkmıştır. USG hızı deneyinde, kullanılan atık tozlar açısından en iyi sonuçlar BPT numunelerinden alınırken en kötü sonuçlar ise ATT numunelerinden alınmıştır.

Tüm harç numunelerin eğilmede çekme dayanımı deney sonuçlarının birlikte sunulduğu Şekil 2 incelendiğinde, tüm harç numunelerinin kür süresinin artmasıyla mukavemetlerinde de normal olarak beklendiği şekilde artış gözlenmiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımını erken yaşlarda BPT katkılı numuneler gösterirken ileri yaşlarda ise K sergilemiştir. Ancak bu tip katkıların kullanıldığı harç numune serilerinde eğilme-çekme mukavemetinden ziyade basınç mukavemeti daha önemli olduğu için sonuçların basınç mukavemetinde daha farklı olması beklenmiştir. Katkılı numuneler kendi aralarında incelendiğinde kür süresinin standart artmasıyla beraber eğilme mukavemetlerinde doğrusal bir artış gözlenmiştir. Burada her katkı tipi birbirine yakın eğilmede çekme mukavemeti sergilemiştir. Bu ise olağan bir sonuç olarak ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla kullanılan katkıların harç numunelerinin eğilmede çekme mukavemetlerinin aşırı derece artırıcı bir etkisinin olmadığı literatürden de bilinmektedir. Yine de sonuçlar kendi aralarında değerlendirildiklerinde 7 günlük yaş en yüksek eğilmede çekme mukavemetini BPT numuneleri göstermiştir. En önemli sonuç olarak %20 katkıya kadar bu tozların harç katkısı içinde kullanılabilirliği gözlenmiştir. Ayrıca yine her katkıli seri kendi içinde değerlendirildiğinde BPT serilerinde %20 ye kadar mukavemet artışı gözlenirken, ATT ve GTT miktarının harçlar içerisinde artışı ile ise eğilme mukavemetinde düşüş gözlenmiştir.

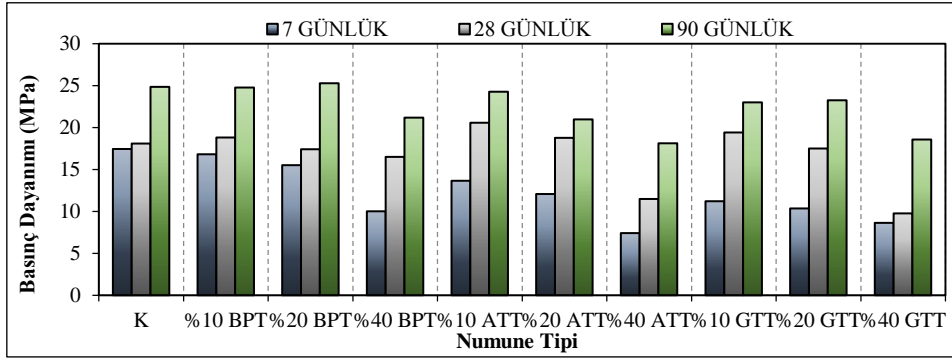
Basınç mukavemeti deney sonuçlarının birlikte sunulduğu Şekil 3 incelendiğinde harç numunelerinin kür süresinin artmasıyla basınç mukavemetinin de normal olarak arttığı gözlenmiştir. Basınç mukavemeti yönünden en yüksek sonuçlar BPT katkılı numunelerden elde edilmiştir. BPT sonuçları katkısız numunelerle karşılaştırıldığında %10 ve %20 BPT katkılı numunelerin kontrol numunelerine çok yakın basınç mukavemeti sergilediği gözlenirken özellikle %20 BPT katkılı seride 28 gün ve sonrası mukavemetlerinin katkısız numunelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu ise BPT katkısının puzolonik bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. %40 gibi yüksek bir oranda katılan BPT katkısının basınç dayanımı sonuçları erken yaşlarda çok düşük olmasına rağmen 28 ve 90 günlük yaşları katkısız numunelere oldukça yakın sonuçlar vermiştir. 90 günlük kür sonrası %40 BPT serisi kontrole göre yalnızca %14.7 oranında daha düşük çıkmıştır. ATT serilerinde ise %10 katkı ilavesi K serisine oldukça yakın mukavemet özellikleri sergilerken %20 katkı ilavesi K serisinden %15 kadar düşük çıkmıştır. Ancak GTT %20 katkı ilavesine kadar çimento içinde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği söylenebilir.



Şekil 1. 7,28 ve 90 günlük numunelerin USG hızı deneyi sonuçları.



Şekil 2. 7,28 ve 90 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.

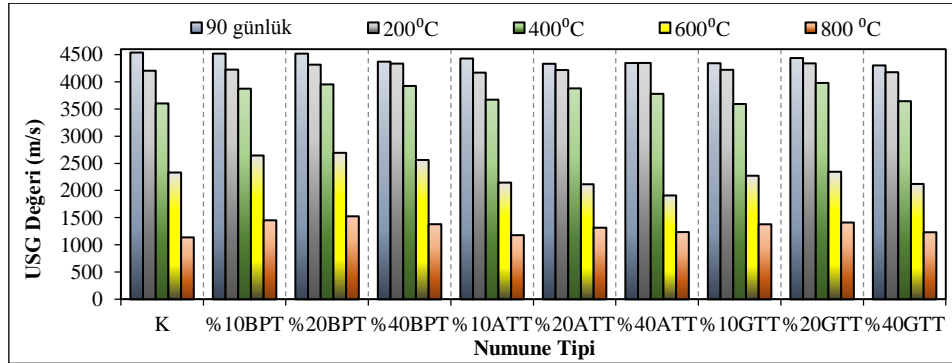


Şekil 3. 7, 28 ve 90 günlük numunelerin basınç dayanımı deneyi sonuçları.

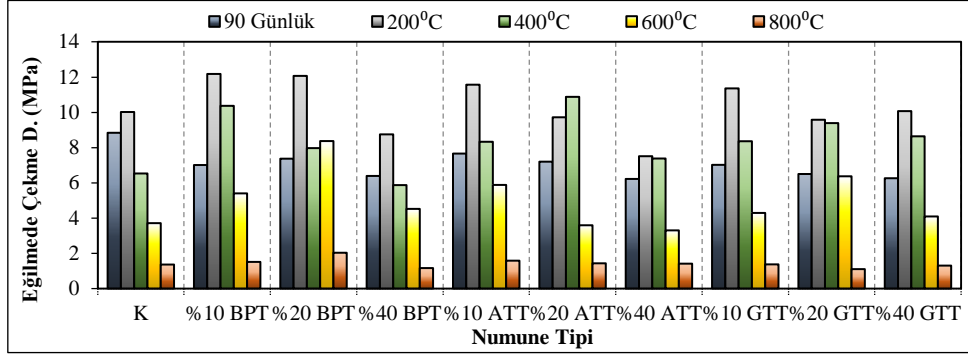
Yüksek sıcaklık deneyi sonrası elde edilen USG hızı sonuçlarının sunulduğu Şekil 4 incelendiğinde her tip harç için sıcaklığın artması ile hızlarda düşüş kaydedilmiştir. Bu sonuç uygulanan sıcaklığın artması ile içyapıda bozulmaların artmasını, çatlak oluşumu sebebi ile boşlukların geliştiği ve buna bağlı olarak mukavemetin zayıfladığını ortaya koymaktadır. Çünkü boşlukta ses geçiş hızı yavaşlamaktadır [21]. Yine de 200 °C sonrası elde edilen geçiş hızlarının her seri için kendi kontrolüne çok yakın olduğu söylenebilir. Bunun sebebi, 200 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde içsel bozulmaların yüksek seviyelerde olmadığı bir göstergesi olarak açıklanabilir. Şekil 4'te en dikkat çekici sonuç BPT katkılı serilerin yüksek sıcaklıklarda daha iyi sonuçlar sergilediğidir. Bu da bir volkanik boşluklu malzeme olarak pomzanın varlığına bağlanabilir.

BPT katkılı tüm harç numunelerinin yüksek sıcaklık deneyi sonuçları eğilme çekme dayanımı yönünden Şekil 5'te incelendiğinde 200 °C sonrasında bütün numuneler kendi kontrol numunesinden daha fazla çıkmıştır. Sıcaklığın artmasıyla beraber numunelerin eğilme çekme dayanımında düşüş gözlenmektedir. Burada 800 °C'de en düşük eğilme dayanımı ölçülmüştür. ATT katkılı numunelerin sonuçları incelendiğinde, burada pomza katkılı numunelerden farklı olarak 400 °C'de halen %20 ATT katkılı numunenin eğilme çekme dayanımının kendi türündeki kontrol numunesinin dayanımından fazla olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde sıcaklığın 600 ve 800 °C ye çıkmasıyla beraber eğilme dayanımlarında keskin düşüşler olmuş ve kontrol numunelerinden çok daha az eğilme mukavemeti göstermişlerdir. GTT numuneleri ise, diğer tüm numunelere benzer özellik gösterecek şekilde 200 °C'de kontrol numunesinden daha fazla, ancak 400, 600 ve 800 °C'lerde giderek azalan eğilme çekme mukavemeti göstermiştir.

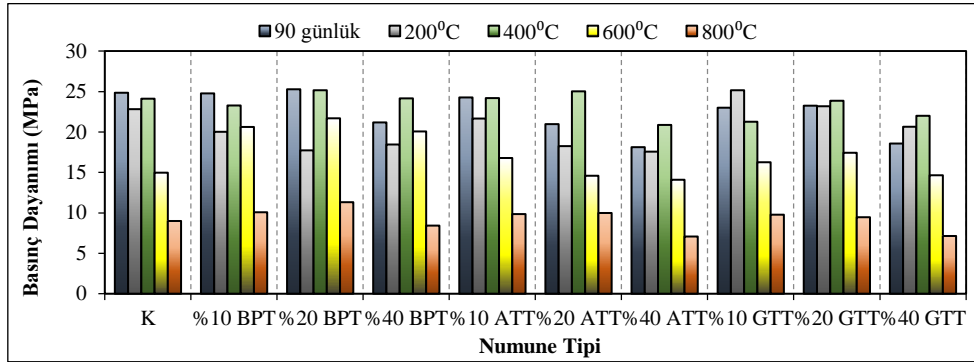
Sıcaklıkların artmasıyla beraber kendi içinde tüm numunelerin basınç mukavemetlerinde düşüş görülmektedir (Şekil 6). Basınç mukavemeti deneyi sonuçlarında 200 °C BPT ve ATT katkılı numunelerin basınç mukavemetleri kontrol numunelerinden daha düşük olduğu gözlenmektedir. GTT katkılı numuneler 200 °C'de kontrol numunesine yakın mukavemetler göstermiştir. Tüm seriler 400 °C'ye kadar kendi kontrollerine yakın mukavemet özellikleri sergilerken özellikle 600 °C ile birlikte basınç mukavemeti sonuçlarında ciddi düşüşler meydana gelmiştir. Basınç mukavemeti yönünden ilginç sonuçlardan biri de, her serinin 600 ve 800 °C sıcaklıklardaki mukavemet sonuçları incelendiğinde %20 katkı kullanımına kadar artış olduğu ve her serinin %40 katkı oranına sahip üyesinin ise K serisi ile benzer mukavemet özelliği sergilediği görülmektedir.



Şekil 4. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası USG hızı deneyi sonuçları.

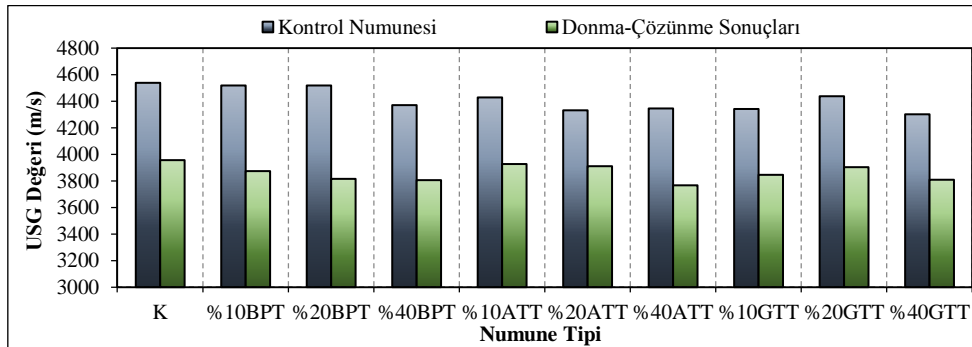


Şekil 5. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.

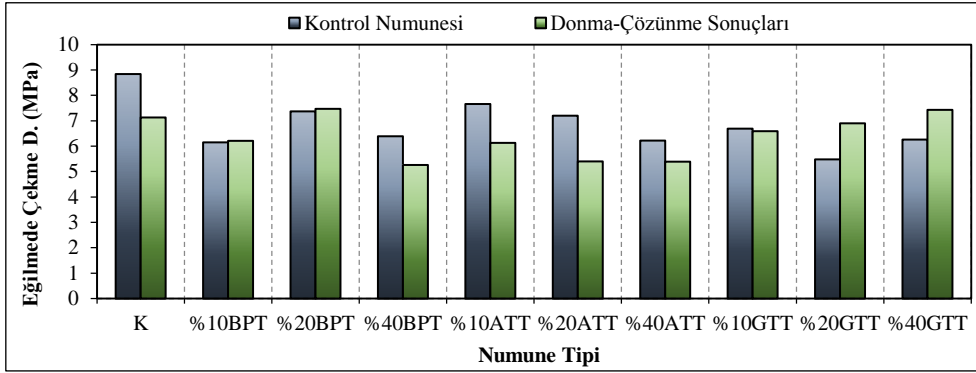


Şekil 6. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları.

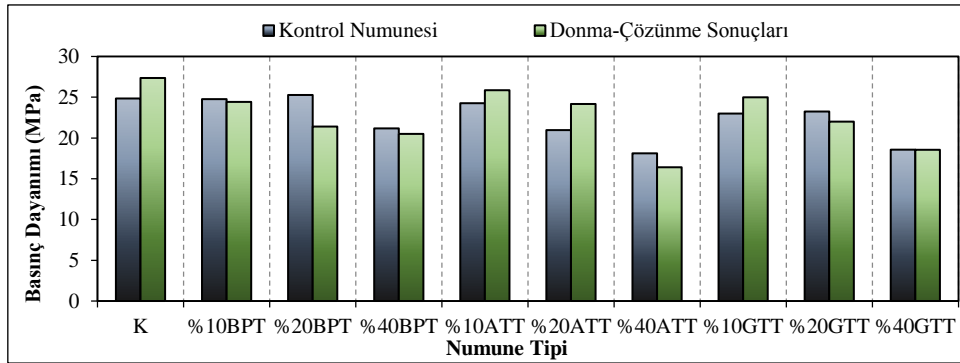
Şekil 7’de donma-çözünme çevrimi uygulanan harç numunelerinin USG deneyi sonuçları, kendi kontrol numunelerine kıyasla daha az olduğu gözlenmektedir. Eğilmede çekme deneyi sonuçları (Şekil 8) incelenecek olursa %10 ve %20 BPT katkılı harçların kendi kontrol numunesinden daha fazla eğilmede çekme dayanımına sahip olduğu görülür. Aynı şekilde tüm GTT katkılı numuneler de kontrol numunesinden daha fazla dayanım göstermiştir. Basınç deneyi sonuçlarından da %10 ATT, %20 ATT ve %10 GTT katkılı harç numunelerinin kontrol numunesine kıyasla daha fazla basınç mukavemetine sahip olduğu görülür (Şekil 9). Diğer numuneler ise kontrol numunesinin basınç mukavemetinden daha az olmakla beraber yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum volkanik kökenli bu taş tozlarının harç numuneler içerisinde kullanılmasının pozitif bir etki doğurduğunu ve bu taş tozlarını belli oranlarda içeren numunelerin donma-çözünme deneylerinin negatif tesirinden yüksek oranda etkilenmediğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda normal kür şartlarına sahip tüm numunelerin katkı oranının artış göstermesi ile mekanik özelliklerde düşüşün gözlenmesine rağmen donma-çözünme deneyi sonrası ise mekanik özelliklerde iyileşme söz konusudur.



Şekil 7. Donma-çözünme deneyi sonrası USH hızı deneyi sonuçları.



Şekil 8. Donma-çözünme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları.



Şekil 9. Donma-çözünme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları.

4. Sonuç

Bu çalışmada Bitlis yöresi endüstriyel atık toz malzemeleri ile 300 adet harç numunesi üretilmiş bu numuneler 7, 28 ve 90 gün kür edilerek dayanım özellikleri belirlenmiş ve aynı zamanda yüksek sıcaklık ve donma-çözünme deneyleri uygulanarak durabilite özellikleri belirlenmiştir.

Çimento yerine %20 oranına kadar kullanılan atık tozların çimento ile benzer dayanım ve durabilite özellikleri sergilediği belirlenmiştir. Bu atık toz katkıların %40 gibi yüksek bir oranda kullanımında ise basınç dayanımı yönünden ortalama her seride %14.7 düşüş gözlenmiş, ancak çimento miktarının %40 oranında eksiltilecek bunun yerine doğada atık olarak bulunan malzemelerin ikame edilmesi, çimento ekonomisi sağlayacağı gibi, atık malzemelerin de yüksek oranda tekrar endüstriye kazandırılması ile bertaraf edilmesi sağlanacağından bu oranda bir düşüşün göz ardı edilebileceği sonucunu doğurmaktadır.

Durabilite çerçevesinde, yüksek sıcaklık deney verilerinden elde edilen genel sonuç bu katkıların kullanımının yüksek sıcaklık açısından kullanımının pozitif etkiye sahip oluşudur. Bazı serilerin 200 °C sonrası elde edilen mukavemet değerleri hariç olmak üzere kullanılan katkıların tamamının K serisi ile benzer mukavemet özellikleri sergilediği görülmüştür. Aynı zamanda BPT serilerinin K serisinden daha iyi yüksek sıcaklık dayanımları sergilediği belirlenmiştir.

Donma-çözünme deneyi açısından durabilite özellikleri incelendiğinde ise, eğilmede çekme mukavemeti açısından her katkı seri K serisinden daha düşük sonuçlar sergilemesine rağmen; her katkı seri çevrime katılmamış olan kendi serisine çok yakın ve hatta bazı serilerde daha üstün özellikler sergilemiştir. Bu durum basınç dayanımı verilerinde kendini daha iyi göstermekle beraber K serisine oldukça yakın sonuçlar sağlanmıştır.

Bu çalışma neticesinde özellikle BPT serilerinde kullanılan atık pomza taşı tozunun puzolanik etkisinin diğerlerinden daha üstün olduğu belirlenmiştir. Genel olarak çalışmada kullanılan tüm bu atıkların çimento yerine ikamesi ile çimento tasarrufu ve çevre dostu üretim sağlamanın yanında katkısız kullanıma oranla oldukça iyi (bazı katkı oranlarında daha iyi) dayanım ve durabilite özellikleri sağlanabileceği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Yazıcıoğlu S, Demirel B. Puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında beton basınç dayanımına etkisi. Fırat Üni. Fen ve Müh. Dergisi 2006; 18(3): 367-374.
- [2] Erdal M, Şimşek O. Ahlat taşı (ignimbrit) atıklarının taşunu olarak beton içinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Politeknik Dergisi 2006; 14(3): 173-177.
- [3] Tolğay A, Yaşar E, Erdoğan Y. Nevşehir pomzasının agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 2014 İzmir.
- [4] Khyaliya R K, Kabeer S A, Vyas A K. Evaluation of strength and durability of lean mortar mixes containing marble waste. Construction and Building Materials 2017; 147: 598–607.
- [5] Matos A M, Sousa-Coutinho J. Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement. Construction and Building Materials 2012; 36: 205–215.
- [6] Kallel T, Kallel A, Samet B. Durability of mortars made with sand washing waste. Construction and Building Materials 2016; 122: 728-735.
- [7] Lu J, Duan Z, Poon C. Fresh properties of cement pastes or mortars incorporating waste glass powder and cullet. Construction and Building Materials 2017; 131: 793-799.
- [8] Ez-Zaki H, El Gharbi B, Diouri A. Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders. Construction and Building Materials 2018; 159: 198–204.
- [9] Lu J-X, Poon C S. Use of waste glass in alkali activated cement mortar. Construction and Building Materials 2018; 160: 399–407.
- [10] Kabeer K I S A, Vyas A K. Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes. Construction and Building Materials 2018; 165: 321–332.
- [11] Dang J, Zhao J, Hu W, Du Z, Gao D. Properties of mortar with waste clay bricks as fine aggregate. Construction and Building Materials 2018; 166: 898–907.
- [12] Xu S, Wang J, Jiang Q, Zhang S. Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures. Journal of Cleaner Production 2016; 119:118-127.
- [13] Norambuena-Contreras J, Quilodran J, Gonzalez-Torre I, Chavez M, Borinaga-Trevino R. Electrical and thermal characterisation of cement-based mortars containing recycled metallic waste. Journal of Cleaner Production 2018; 190: 737-751.
- [14] Šimonová H, Zahálková J, Rovnaníková P, Bayera P, Keršnera Z, Schmid P. Mechanical fracture parameters of cement based mortars with waste glass powder. Procedia Engineering 2017; 190: 86 – 91.
- [15] Gil H, Ortega H, Perez J. Mechanical behavior of mortar reinforced with sawdust waste. Procedia Engineering 2017; 200: 325–332.
- [16] Younes M M, Abdel-Rahman, Khattab M.M. Utilization of rice husk ash and waste glass in the production of ternary blended cement mortar composites. Journal of Building Engineering 2018; 20: 42–50.
- [17] TS EN 197-1 Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 2018.
- [18] TS EN 1015-3 Kagir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılmı tablası ile). Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2000.
- [19] TS EN 459-2 Yapı kireci - Bölüm 2: Deney yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2012.
- [20] Güner M S. Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi. İstanbul: Aktif Yayınevi, 2012.
- [21] Erdoğan T. Beton. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ, 2003.
- [22] TS EN 196-1 Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2016.
- [23] Şimşek O. Yapı Malzemesi-II. İstanbul: Seçkin Yayıncılık, 2016.
- [24] TSE, CEN/TR 15177, 2011. Betonda donma-çözünme direncinin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.