



Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri

Ahmet BENLİ*

Bingöl Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl
abenli@bingol.edu.tr ORCID: 0000-0002-3005-6123, Tel: (426) 2160012 (1949)

Mehmet KARATAS

Firat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ
mkaratas@firat.edu.tr ORCID: 0000-0002-3705-846,

Geliş: 23.08.2018, Kabul Tarihi: 06.11.2018

Öz

Bu deneysel çalışmada, Portland Çimentosu (PÇ) yerine farklı oranlarda uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ikame edilerek üretilen Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) dayanım ve durabilite özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. KYH 'lar, PÇ yerine ağırlıkça %6, %10 ve %14 oranlarında SD ile birlikte 10% UK, ağırlıkça %6 ve %10 oranlarında SD ile %20 UK ikame edilerek mineral katkı ve kontrol numunesiyle birlikte 6 adet karışımla numuneler hazırlanmıştır. Toplam bağlayıcı miktarı 630 kg/m³ olan 6 farklı karışımla üretilen KYH' in taze ve sertleştirilmiş koşullarda davranışı yapılan deneylerle araştırılmıştır. Karışımların Su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.39 ila 0.44 arasında kalması sağlanmıştır. UK ve SD ikameli üçlü karışımlardan üretilen KYH'ların taze özelliklerini ölçmek için slump çapı ve V-huni akış hızı süresi tespit eden testler yapılmıştır. KYH'lardan üretilen sertleşmiş numunelerin basınç ve çekme dayanımlarını için 40x40x160 mm boyutunda numuneler 28 ve 90 günlük suda kür edilmiş ve test edilmiştir. Durabilite özelliklerini araştırmak amacıyla 50 mm boyutunda küp numuneler üretilmiş ve 28 gün suda bekletildikten sonra toplam su emme, porozite ve yoğunluk değerleri tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda UK10SD6 den üretilmiş üçlü karışımlarının en iyi basınç ve eğilme dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen harç, uçucu kül; silis dumanı, taze özellikler, dayanım özellikleri, durabilite

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.474074

Giriş

Mineral katkı maddeleri, çimentonun harç karışımlarında ve hafif beton, reaktif pudra, silindirle sıkıştırılmış ve kendiliğinden yerleşen beton gibi bazı beton türlerinde, puzolanik ve / veya kendinden bağlama etkilerinden kaynaklanan mekanik özellikleri ve dayanıklılığı arttırmak için kullanılmaktadır. (Mardani-Aghabaglou vd., 2014; Li vd., 2017; Mohamed ve Najm, 2017). Mineral katkıların incelendiğinde, taze betonun işlenebilirliği, sertleştirilmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığı en çok ilgilenilen özelliklerdir.

Uçucu kül ve silika dumanı, beton / harçta en çok kullanılan mineral katkı maddeleridir. Uçucu kül, su talebi ve hidrasyon ısısını azaltmak, kusmayı azaltmak ve iyi bir durabilite elde etmek gibi beton üzerinde çok olumlu etkileri vardır (Wang vd., 2016).

Silika dumanı, çimento yerine yüksek performanslı beton (YPB) üretmek için mineral katkı olarak kullanılır. Beton / harçta etkili bir puzolanik malzeme olan silika dumanının eklenmesinin, daha sonra geçirimsiz bir gözenek ve süreksiz yapı oluşturması ardından, normal Portland çimentosu üretildiği belirtilmektedir. Silis dumanının değiştirilmesi ile alkali ve OH iyonlarının gözenekli sıvılara salınmasından kaynaklanan erken yaşta hidrasyon oranı da artmaktadır. (Mardani-Aghabaglou vd., 2014; Sabet vd., 2013; Sadrmomtazi vd., 2018). Ayrıca, betonda mineral katkıların kullanılmasının faydaları doğayı korumak ve ekonomiyi sağlamaktır. İşlenebilirlikte fayda sağlayan, kendiliğinden yerleşen beton (KYB), geleneksel betona kıyasla işçilik maliyetlerini ve yüksek mukavemeti azaltır, yeni beton teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır ve kullanımı son 30 yılda hızla artmış ve yayınlanmış eserlerin sayısına yansıtılmıştır. Kendiliğinden yerleşen harç (KYH), KYB'na benzer mekanik ve dayanıklılık özellikleri sergiler ve KYB'un performans mekanizmalarını incelemek için kullanılabilir. (Sahmaran vd., 2006). Harç, KYB işlenebilirlik özelliklerinin temelini oluşturur ve bu özellikler

KYH'lar ile değerlendirilebilir. Aslında, KYH'ların özelliklerini değerlendirmek KYB tasarımının ayrılmaz bir parçasıdır (Sahmaran vd., 2006; Domone ve Jin, 1999). KYB / KYH üretiminde yüksek seviyelerde suyu azaltan süper akışkanlandırıcı ve/veya viskozite düzenleyiciler kullanılır. (Sonebi, 2004; Chen vd., 2013, Ghrici vd., 2007).

Süper akışkanlandırıcı kullanımı akışkanlığı korurken, ince içerikli karışımın stabilitesini sağlar ve böylece kuma ve ayrışmaya karşı direnç kazanır. Uçucu kül ve silika dumanının KYB'na eklenmesi, sadece Portland çimentosundan üretilen karışımlara kıyasla benzer bir yayılma çapı sağlamak için gereken süper akışkanlandırıcı miktarını azaltır. Wongkeo ve Chaipanich (2010) ve Yahia ve diğerleri (1999) yaptıkları çalışmada UK ve SD çimento yerine ikame edilerek üretilen ikili ve üçlü karışimli harçların otoklav küründeki basınç dayanımlarını incelemişlerdir. UK içeren ikili karışımların basınç dayanımının, artan UK içeriği ile azaltma eğilimi gösterdiği ve kontrol numunelerinden daha düşük bir basınç dayanımı ortaya koyduğu sonucuna varmışlardır. Öte yandan, SD katkılı ikili karışımları basınç dayanımını arttırmış ve kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında, basınç dayanımı daha yüksek bir değere sahip olmuştur. Poon ve diğerleri (1997) çeşitli kütleme çeşitlerinin gözenek yapısı üzerindeki etkileri ve UK içeren harçların özellikleri üzerine bir araştırma yapmıştır. Hamurlar ve agregalar arasındaki ara yüzey bölgesinin F sınıfı uçucu kül tarafından geliştirildiğini bulmuşlardır. Wongkeo ve diğerleri (2012) C sınıfı uçucu kül ve silis dumanının ikili ve üçlü karışımlarını içeren KYB'un klorür direncini ve basınç dayanımını araştırmıştır. Çalışma KYB' un 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımının genel olarak azaldığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, uçucu kül ve silis dumanının üçlü karışımlarının basınç dayanımı, aynı içerik için uçucu külün ikili karışımlarına göre 7 gün sonra daha iyi bir performans göstermiştir. Leung ve diğerleri (2016), F sınıfı uçucu kül ve silika dumanı içeren KYB'un kılcal su emme durumunu

incelemişlerdir. Araştırma, uçucu kül ve silis dumanının önemli ölçüde, KYB'un su/bağlayıcı (s/b) oranının 0.38 olduğunda kılcal suemmesini azalttığını göstermiştir. Siddique (2013), uçucu kül içeriği arttıkça KYB karışımlarının kılcal su emmesinin arttığını göstermiştir. Bu çalışmada EFNARC tarafından yayınlanan standartlar kullanılmıştır (Zhao vd., 2018). EFNARC'a (2005) göre; KYB un işlenebilirliği, doldurma kapasitesi, akış hızı ile belirlenen uygun viskozite, dar kısımdan geçme yeteneği ve ayrışma direnci ile donatılabilir (Karatas vd.,2017; Rao vd., 2015, Benli vd., 2017). KYB / KYH'ların yüksek akışkanlığına ulaşmak için iri agreganın sınırlayıcı miktarı yaygın bir yöntemdir. Bu çalışmanın temel amacı, KYH'ların mekanik özelliklerini, farklı kür sürelerinde (28 ve 90 gün) ve 28 günlük durabilite özelliklerinde incelemektir. Bu amaçla, KYH'ların üçlü karışımları hazırlanmış ve Portland çimentosunun C sınıfı uçucu kül (UK) silis dumanının (SD) farklı ikame içerikleriyle değiştirilmesiyle üretilmiştir. KYH'ların davranışını taze ve sertleştirilmiş koşullarda gözlemek için 630 kg/m³ bağlayıcı ile 6 farklı karışım hazırlanmıştır. s/b oranı 0.39 ila 0.44 arasındadır. Sertleşmiş harç özellikleri 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri ile değerlendirilmiştir. UK ve SD içeren KYH'ların taze özelliklerini değerlendirmek için mini çökme akış çapı ve mini V-huni akış süresi testleri yapıldı. Ek olarak, 28 günde kürlenmiş KYH örneklerinin dayanıklılık porozite ve görünür yoğunluk özellikleri de değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın amacı, uçucu kül ve silis dumanının farklı oranlarda mineral katkı olarak kullanıldığı kendiliğinden yerleşen harçların mekanik ve durabilite özelliklerini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda 40*40*40 mm³ boyutlarında kendiliğinden yerleşen harç numuneleri üretilmiştir. Kendiliğinden yerleşen harcın taze haldeki özelliklerini incelemek için EFNARC tarafından önerilen mini V hunisi ve

mini slump testleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra 28 günlük kür süresinin sonunda porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır.

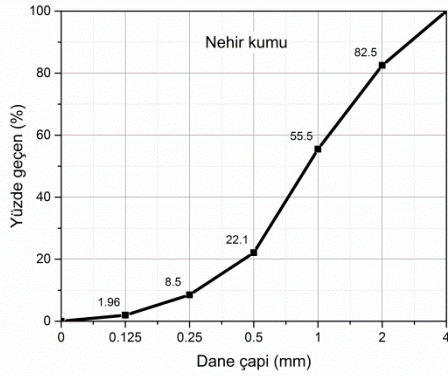
Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen harç üretmek için CEM-I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan C sınıfı uçucu kül Soma Termik Santrali'nden, silis dumanı ise Antalya Elektro Metalurji İşletmesi'nden temin edilmiştir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanın özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	PÇ	UK	SD
SiO ₂	21.12	38.34	91.0
Al ₂ O ₃	5.62	16.69	0.58
Fe ₂ O ₃	3.24	5.11	0.24
CaO	62.94	27.62	0.71
MgO	-	1.60	0.33
SO ₃	2.3	4.44	-
Na ₂ O	-	-	-
K ₂ O	-	-	-
Cl	-	-	-
Kızdırma kaybı	3.52	0.79	1.84
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.1	2,50	2,2
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3490	1343	96,5%<45µm

Karışımlarda kullanılan ince agrega doğal dere kumudur. Özgül ağırlık, incelik modülü ve su emme değerleri sırası ile 2.63 g/cm³ suemme, 3.29 ve %1.91'dir. Kullanılan kumun maksimum tane çapı 4.00 mm'dir (Şekil 1). Ek olarak düşük su/bağlayıcı oranında istenen işlenebilirliği elde etmek için modifiye polikarboksilat esaslı polimer yapılı ViscoCrete SF-18 yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmıştır.



Şekil 1. İnce agreganın tane dağılımı

Karışım oranları ve taze beton deneyleri

Kontrol karışımı dâhil 630 kg/m^3 dozajında 6 farklı karışım, KYH'nın taze ve sert harç özelliklerini gözlemlemek üzere hazırlanmıştır. UK ve SD içeren karışımların taze harç özelliklerini belirlemek için mini slump ve mini V hunisi deneyleri yapılmıştır. Farklı oranlarda UK ve SD içeren KYB harçlarının karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. KYH'ların SA oranlarını değiştirmek suretiyle 240-260 mm'lik bir yayılma akış çapına ulaşacak şekilde tasarlanmıştır. Arzulanan yayılma çapını elde etmek için her bir karışım için ayrı deneyler yapılmıştır. Ulaşmak istenen değerler EFNARC tarafından önerilmektedir. UK ve SD den sonraki her sayı harçtaki her bir mineral katkı miktarını gösterir. Örnek olarak UK10SD10; yüzde 10 uçucu kül ve yüzde 10 silis dumanı ikamesini belirtmektedir.

Tablo 2. Karışım Oranları

NUMUNE ADI	PÇ	UK	SD	KUM	S/T
KONTROL	630	0	0	1306	0.39
UK10SD6	529.2	63	37.8	1278	0.40
UK10SD10	504	63	63	1236	0.42
UK10SD14	478.8	63	88.2	1211	0.44
UK20SD6	466.2	126	37.8	1282	0.39
UK20SD10	441	126	63	1207	0.44

Numunelerin Üretilmesi

Tüm karışımlar için öncelikle çimento, mineral katkılar ve kum ilk 1 dakika kuru halde karıştırılmıştır. Daha sonra SP suya ilave edilip kuru karışıma eklenerek 4 dakika daha karıştırılmıştır. Taze harçların işlenebilirliği, EFNARC standartlarına göre mini slump ve V hunisi deneyleri ile elde edilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımları 28 ve 180 gün suda kür edilme işleminden sonra $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ boyutunda üretilen prizmatik nümünler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Durabilite deneyleri için 28 gün boyunca suda kürlenmiş 50 mm³ küp örnekleri kullanılmıştır.

Numunelerin Kür Edilmesi

Ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında UK, ağırlıkça %6, %10, %14 oranlarında SD, PÇ yerine ikame edilerek mineral katkılı ve mineral katkısız 1 adet kontrol 5 adet üçlü karışım olmak üzere toplam 6 adet karışımla numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra, şehir şebeke suyu ile doldurulan $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki kür havuzunda 28 ve 90 gün süre ile kür için bekletilmişlerdir.

Deney Metotları

Taze harç için işlenebilirlik deneyleri

Mini V hunisi testi ve mini slump deneyi, KYH'ların işlenebilirliğini ölçerken, EFNARC (2005) 'ye göre yapılmıştır. Mini slump deneyinde, kesik koni düz bir plaka üzerinde harçla doldurulmuş ve yukarı doğru kaldırılmıştır. Çap, harcın birbirine dik iki boyutuna yayılan harcın ortalaması alınarak belirlenmiştir ve bu değer 240-260 mm arasında kalması sağlanmıştır. V-hunisi deneyinde, huniyi harçla tamamen doldurduktan sonra harcın akmasına izin vermek için alt çıkış açılmıştır. Kapağın açıldığı andan üstten bakıldığında ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre t süresi olarak kaydedilmiştir. Bu deneyde V-hunisi akma zamanının 7-11 sn arasında

kalması sağlanmıştır. Bu değerler EFNARC tarafından önerilmektedir.

Basınç ve eğilme dayanım deneyleri

Taze harç testlerinin tamamlanmasından sonra, harçlar 40x40x160 mm çelik kalıplara dökülmüştür ve 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarıldıktan sonra, numuneler sertleşmiş beton deneylerinin uygulanacağı güne kadar (20 ± 2) C sıcaklıkta su içinde kür edilmiştir. 28 ve 90 günlük kür periyodlarının sonunda ASTM C109 (2016) 'a göre 6 karışımın her birinden üretilen 40x40x160 mm³ boyutundaki prizmatik numuneler için basınç ve eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta, eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Daha sonra ikiye ayrılan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Basınç dayanımı deney cihazının kapasitesi 250 kN iken eğilme dayanımı cihazının kapasitesi 150 kN'dir.

Porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri

Porozite, su emme ve yoğunluk deneyleri 28 günlük kür süresinin sonunda ASTM C642 (2013) 'ye göre yapılmıştır. Su emme, porozite ve yoğunluk deneyleri için 5 mm boyutundaki küpler su altında ve doymuş yüzeyde kuru halde tartılmıştır. Her bir numune daha sonra bir fırında 105 C'de sabit bir ağırlığa ulaşana kadar kurutulmuştur. Su numunesi hacminin yüzdesi olarak ifade edilen porozitenin hesaplanması için suyla doyurulmuş ve fırında kuru koşullar arasındaki ağırlık farkı kullanılmıştır. Üç numunenin ortalaması alınarak Porozite, su emme ve yoğunluk değerleri belirlenmiştir (Şekil 2).



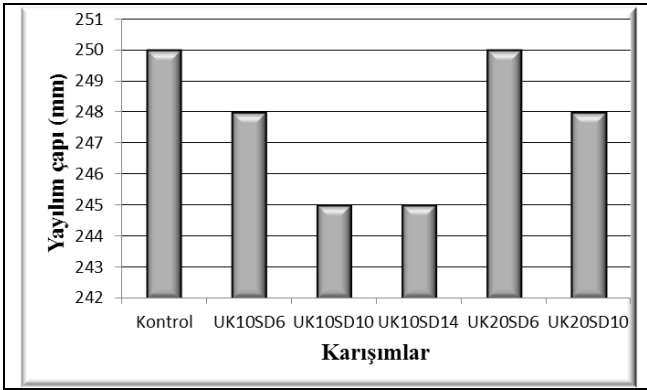
Şekil 2. a) Fırında bulunan örnekler
b) Desikatördeki örnekler c) 24 saat sonra suda bekletilmiş örnekler (Benli ve Karatas, 2017)

Sonuçlar ve tartışma

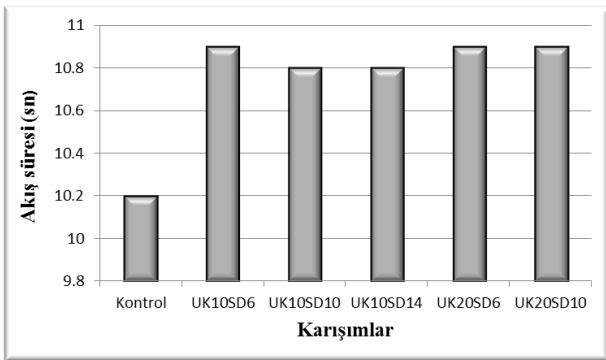
Taze harç özellikleri

Mini slump deneyi ve mini V hunisi deneyi sonuçları sırası ile Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Görüleceği üzere elde edilen tüm veriler EFNARC tarafından önerilen sınırlar arasında kalmıştır. Şekil 3'de görüldüğü üzere en yüksek yayılma değeri kontrol ve UK20SD6 karışımlarından elde edilmiştir. Yüksek oranda silis dumanı ile ikame edilen karışımların yayılma çaplarının daha düşük olduğu söylenebilir. Bunun nedeni olarak silis dumanının çok ince taneli olmasından ötürü katı taneciklerin birbirine temas ederek işlenebilirliği azaltması gösterilebilir. Mineral katkı ikamesi ile birlikte UK20SD6 karışımı hariç diğer karışımların yayılma çapları kontrol karışımına göre düşmüştür. UK20SD6 karışımında düşmemesi, %20 oranında ikame edilen uçucu külün kendiliğinden yerleşen harçların işlenebilirliğine olumsuz etkisi bulunmadığı, aksine SD6 karışımına rağmen kontrol karışımında elde edilen yayılma çapına ulaşarak işlenebilirliği iyileştirdiği söylenebilir. Şekil 3 incelendiği zaman mineral katkıların akış süresini olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu olumsuz etkiye rağmen tüm değerler EFNARC sınırları arasında kalmıştır. Kontrol

karışımı hariç diğer tüm karışımların akış süresi birbirlerine yakın değerlerdedir.



Şekil 3.KYH numunelerin yayılım çapı



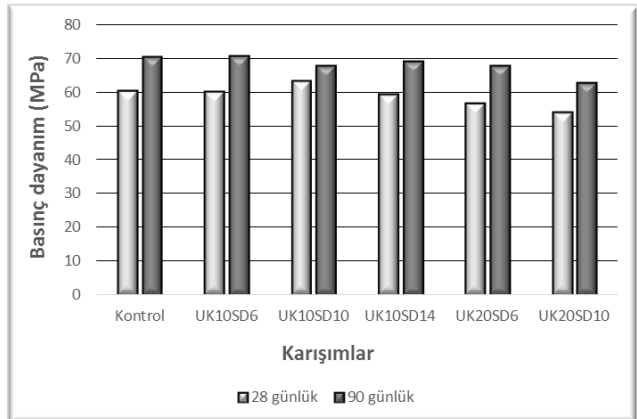
Şekil 4.KYH numunelerin akış hızı

Sertleşmiş harç özellikleri

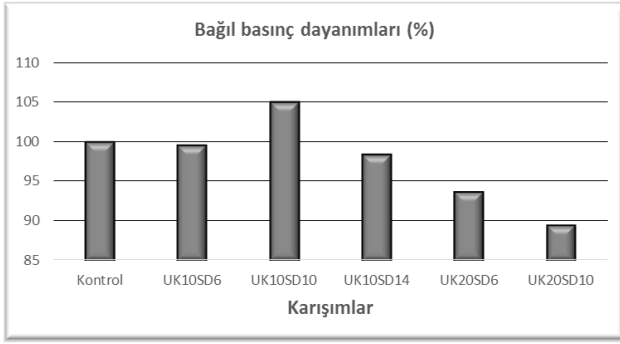
Basınç dayanımı

Hazırlanan numuneler 28 ve 90 günlük kür süresinden sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. 28 günlük bağıl dayanım sonuçları ise Şekil 6'de gösterilmiştir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiği zaman yalnızca UK10SD10 karışımının basınç dayanımında kontrol karışımına kıyasla %5 oranında artış gözlenmiştir. UK10SD6, UK10SD14, K20SD6, UK20SD10 karışımlarının basınç dayanımları kontrol karışımına kıyasla %0.39, %1.59, %6.27, %10.5 oranlarında azalmıştır. Basınç dayanımındaki azalma oranının en yüksek UK20SD10 karışımında olması mineral katkı oranının belli bir orandan fazla olması durumunda

mekanik özelliklerini önemli bir şekilde düşüreceğine işaret etmektedir. 90 günlük basınç dayanımlarına bakılacak olursa, tüm karışımların dayanımlarında önemli artışlar görülmüştür. Artış oranının en fazla olduğu karışım %19.9 ile UK20SD6 karışımından elde edilmiştir. UK10SD10 karışımı ise %6.8 ile dayanım artışının en az olduğu karışım olmuştur. Bu durum, silis dumanının daha büyük bir puzolanik reaksiyona ve mikro-dolgu etkisine sahip olduğu açıklanabilir (Benli and Karatas, 2017). Dolgu etkisi ve silis dumanının puzolanik reaksiyonu daha yoğun bir mikro yapıya ve dolayısıyla basınç mukavemetinde artışa neden olmuştur. Buna ek olarak, SD ikamesi 10% olduğu üçlü karışım en iyi basınç ve eğilme dayanımı göstermiştir. UK ve SD oranı artıktıkça basınç ve eğilme dayanımı düşmektedir. Çünkü SD daha küçük parçacık boyutu ve daha yüksek spesifik yüzey alanı, UK den daha fazla puzolanik reaksiyona neden olmaktadır (Aprianti vd., 2016, Wongkeo vd., 2014).



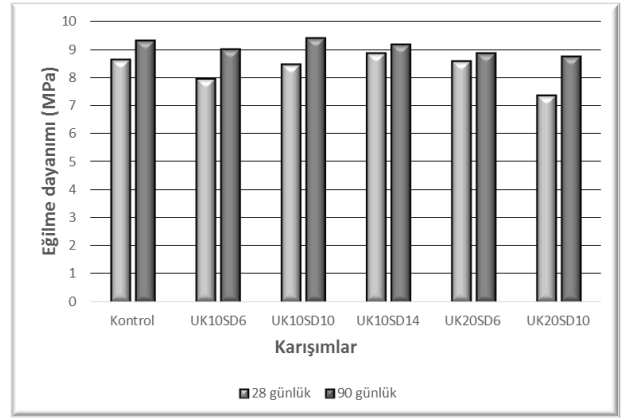
Şekil 5.KYH numunelerin 28 be 90 günlük basınç dayanımı



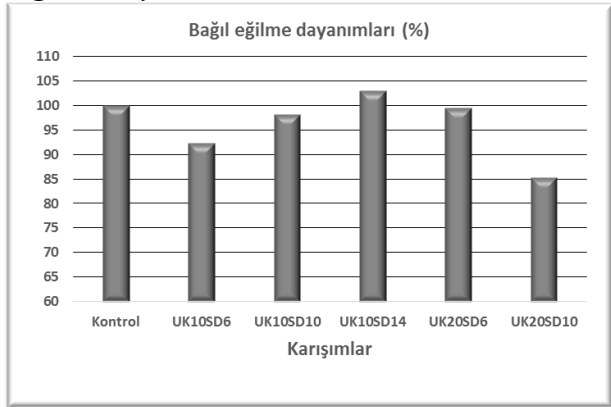
Şekil 6. KYH numunelerin bağıl basınç dayanımları

Eğilme Dayanımı

28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda elde edilen eğilme dayanımı değerleri Şekil 7'de gösterilirken, bağıl eğilme dayanımları Şekil 8'de belirtilmiştir. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6, UK20SD10 karışımlarının 28 gün sonunda eğilme dayanımları sırası ile 8.6, 7.9, 8.5, 8.9, 8.6, 7.5 MPa olmuştur. UK10SD6 ve UK20SD10 karışımlarının 28 gün sonunda dayanım değerleri kontrol karışımına kıyasla sırasıyla %7.7 ve %14.8 düşük olmuştur. En yüksek dayanım UK10SD14 karışımından elde edilirken dayanım değeri kontrol karışımına kıyasla %2.9 fazla olmuştur. 90 günlük kür süresinin sonunda eğilme dayanımları incelendiğinde kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 ve UK20SD10 karışımlarının dayanımları 90 günün sonunda sırasıyla %8.1, %13.3, %11.1, %3.3, %3.5 ve %18.9 olmuştur. UK10SD14 ve UK20SD6 karışımları hariç diğer karışımların dayanımlarında önemli bir artış olduğu görülmüştür. Uzun süreli kür şartlarında optimum karışımın UK10SD10 olduğu söylenebilir.



Şekil 7. KYH numunelerin 28 be 90 günlük eğilme dayanımı

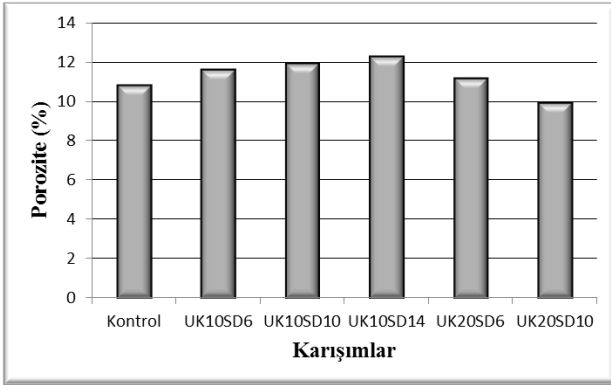


Şekil 8. KYH numunelerin bağıl eğilme dayanımı

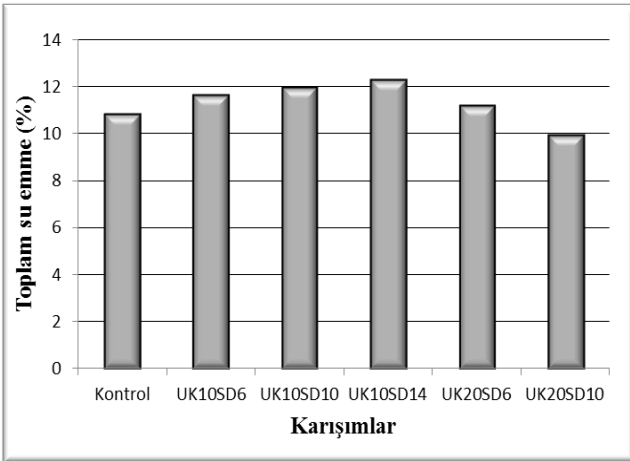
Porozite ve yoğunluk

28 günlük kür süresi sonunda su emme ve porozite sonuçları Şekil 9 ve Şekil 10'de, yoğunluk sonuçları ise Şekil 11'de verilmiştir. Su emme yüzdesinin en düşük olduğu karışım %9.95 ile mineral katkı oranının en yüksek olduğu UK20SD10 karışımı olmuştur. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 karışımlarının su emme yüzdeleri sırası ile %10.85, %11.64, %11.97, %12.31, %11.21 olarak elde edilmiştir. Porozite sonuçları da su emme yüzdeleri ile doğru orantılıdır. Kontrol, UK10SD6, UK10SD10, UK10SD14, UK20SD6 ve UK20SD10 karışımları için sırası ile %22.87, %23.3, %23.8, %24.3, %22.73 ve %20.74'dür. Uçucu külün %10 olarak kullanıldığı karışımlarda silis dumanı oranının arttıkça su emme ve porozite değerlerinin arttığı

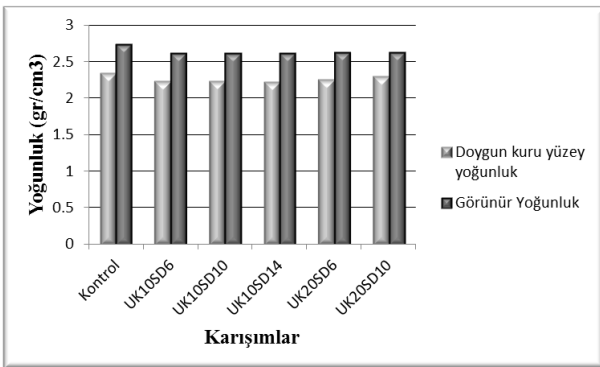
görülmektedir. Bunun nedeni silis dumanının çok ince taneli olmasından ötürü yüzey alanının fazla olmasıdır. Yoğunluklar incelendiği zaman mineral katkı ikamesi ile birlikte doymun kuru yüzey yoğunluk ve görünür yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Yoğunluğun en düşük olduğu karışım UK10SD14 karışımıdır.



Şekil 9.KYH numunelerin porozite değerleri



Şekil 10.KYH numunelerin su emme değerleri



Şekil 11.KYH numunelerin yoğunluk değerleri

Sonuçlar

Bu makale, uçucu kül ve silis dumanının üçlü karışımlarından üretilen KYH'ların mekanik ve durabilite özelliklerini belirlemek için deneysel bir çalışma sunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir;

- İncelenen tüm harç karışımları kendiliğinden yerleşen özelliğini sağlaması bakımından tatmin edicidir. Ayrıca uçucu kül kendiliğinden yerleşen özelliğini sağlaması bakımından silis dumanından daha avantajlıdır.
- Mineral katkılarının kullanıldığı KYH numunelerinde dayanımlarında artışlar olmuştur. Eğilme dayanım sonuçlarının yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Ancak basınç sonuçlarında silis dumanı ve uçucu kül miktarları arttıkça değerler artmıştır. Buna rağmen artış değerleri kontrol değerlerini geçememiştir.
- Maruz kalınan kür süresinin artmasıyla basınç dayanımı önemli oranda artmıştır. 90 günün sonunda basınç dayanımı UK10SD6 karışımında en yüksek dayanım olan 70.7 MPa dayanımına ulaşmıştır. Eğilme dayanımı için ise bu değer 8.9 MPa ile UK0SD14 karışımından elde edilmiştir.
- Su emme yüzdesinin en düşük olduğu karışım UK20SD10 karışım iken, en düşük yoğunluk UK20SD14 karışımlarından alınan numunelerden elde edilmiştir.
- Silis dumanının içeriğindeki artış, basınç dayanımında artışa neden olurken uçucu kül içeriğindeki artış dayanımı ters yönde etkilemiştir.

Kaynaklar

- Aprianti, E., Shafiqh, P., Zawawi, R., Abu Hassan, Z. F., (2016). Introducing an effective curing method for mortar containing high volume cementitious materials. *Constr Build Mater*, 107, 365-377.
- ASTM C109 / C109M - 16a,(2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
- ASTM C642 – 13,(2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- Benli, A., Karatas, M., (2017). Durability and Strength Properties Self-Compacting Mortars with High-Calcium Fly Ash and Silica Fume. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(2), 647-657.
- Benli, A., Karatas, M., Bakir, Y., (2017). "An experimental study of different curing regimes on the mechanical properties and sorptivity of self-compacting mortars with fly ash and silica fume." *Construction and Building Materials*, 144, 552-562.
- Chen, X., Wu, S., Zhou, J., (2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Constr Build Mater*, 40, 869-874.
- Domone, P. L. J., Jin, J., (1999). Properties of mortar for self-compacting concrete. *Rilem Proc*, 7, 109-120.
- EFNARC (2005). (European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems). The European guidelines for selfcompacting concrete: Specification, production and use, U.K.
- Ghrici, M., Kenai, S., Said-Mansour, M., (2007). Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements. *Cement and Concrete Composites*, 29(7), 542-549.
- Karatas, M., Benli, A., Ergin, A., (2017). Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars. *Constr Build Mater*, 150, 467-479.
- Leung, H. Y., Kim, J., Nadeem, A., Jaganathan, J., Anwar, M. P., (2016). Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume. *Construction and Building Materials*, 113, 369-375.
- Li, L. G., Ng, P.-L., Huang, Z.-H., Zhu, J., Kwan, A. K.-H., (2017). Effects of Micro-silica and Nano-silica on Fresh Properties of Mortar. *Materials Science*, 23(4).
- Mardani-Aghabaglou, A., İnan Sezer, G., Ramyar, K., (2014)., Comparison of fly ash, silica fume and metakaolin from mechanical properties and durability performance of mortar mixtures view point. *Constr Build Mater*, 70, 17-25.
- Mohamed, O. A., Najm, O. F., (2017). Compressive strength and stability of sustainable self-consolidating concrete containing fly ash, silica fume, and GGBS. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11(4), 406-411.
- Poon, C. S., Wong, Y. L., Lam, L., (1997). The influence of different curing conditions on the pore structure and related properties of fly-ash cement pastes and mortars. *Construction and Building Materials*, 11(7-8), 383-393.
- Rao, S., Silva, P., de Brito, J., (2015). "Experimental study of the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with nano materials (SiO₂ and TiO₂)." *Constr Build Mater*, 96, 508-517.
- Sabet, F. A., Libre, N. A., Shekarchi, M., (2013). Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash. *Constr Build Mater*, 44, 175-184.
- Sadrmomtazi, A., Tahmouresi, B., Saradar, A., (2018). Effects of silica fume on mechanical strength and microstructure of basalt fiber reinforced cementitious composites (BFRCC). *Constr Build Mater*, 162, 321-333.
- Sahmaran, M., Christianto, H. A., Yaman, I. O., (2006). The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. *Cement Concrete Comp*, 28(5), 432-440.
- Siddique, R., (2013). Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, 47, 1444-1450.
- Sonebi, M., (2004). Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1199-1208.
- Wang, D., Shi, C., Wu, Z., Wu, L., Xiang, S., Pan, X., (2016). Effects of nanomaterials on hardening of cement-silica fume-fly ash-based ultra-high-strength concrete. *Advances in Cement Research*, 28(9), 555-566.
- Wongkeo, W., Chaipanich, A., (2010). Compressive strength, microstructure and thermal analysis of autoclaved and air cured structural lightweight concrete made with coal bottom ash and silica

- fume. *Mat Sci Eng a-Struct*, 527(16-17), 3676-3684.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Chaipanich, A., (2012). Compressive Strength of Binary and Ternary Blended Cement Mortars Containing Fly Ash and Silica Fume Under Autoclaved Curing. *Materials for Environmental Protection and Energy Application, Pts 1 and 2*, 343-344, 316-321.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Ngamjarrojana, A., Chaipanich, A. (2014). Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume. *Materials & Design*, 64, 261-269.
- Yahia, A., Tanimura, M., Shimabukuro, A., Shimoyama, Y., (1999). Effect of rheological parameters on self-compactability of concrete containing various mineral admixtures. *Rilem Proc*, 7, 523-535.
- Zhao, Z. G., Qu, X. L., Li, F. X., Wei, J. X., (2018). Effects of steel slag and silica fume additions on compressive strength and thermal properties of lime-fly ash pastes. *Construction and Building Materials*, 183, 439-450.

Durability and strength properties of self-compacting mortars produced from ternary mixtures of fly ash and silica fume

Extended abstract

In this study, we aimed to investigate the strength and durability properties of self-compacting mortars (SCMs) produced from class C fly ash (FA) and silica fume (SF). SCMs were manufactured from the ternary mixtures of SF, FA and portland cement (PC). In total, six mixtures were produced including control mix which contains 100% PC. The other five mixtures were the combinations of SF, FA and PC which was substituted by FA and SF at the dosages of 6%, 10% and 14% SF with 10% FA and 6%, 10% SF with 20% FA. The ratio of water/binder (w/b) was kept between 0.39 and 0.44. Mechanical properties including compressive and flexural strength and durability properties including porosity, total water absorption and density of these SCMs samples were investigated. To assess the fresh properties of SCMs containing SF and FA, slump and V-funnel test were performed. In order to examine the compressive and flexural tensile strength, 40x40x160 mm samples were cured in water and tested for 28 and 90 days. In order to examine the durability characteristics, 50 mm cube samples were produced and cured in water for 28 days, total water absorption, porosity and density values were found. The results of this experimental work reveal that ternary mix of FA10SF6 showed the best compressive and flexural tensile strength. Slump diameter and V-funnel flow time were maintained in the range of 240-260 mm and 7-11 s as recommended by EFNARC committee. The largest slump diameters were seen in the control samples and FA20SF6. This is due to the fact that the silica fume is very fine-grained, so that the solid particles can come into contact with each other and reduce the flowability. With the addition of mineral admixture, the slump diameters of the other mixtures except the FA20SF6 mixture decreased compared to the control mixture. It can be said that 20% of the fly ash does not have a negative effect on the flowability of self-compacting mortars. In addition, the compressive and flexural strength of SCMs containing 10% replacement of SF has shown the best performance. As the replacement ratio of SF and FA increases, the compressive and flexural strength values were reduced. This is because SF has very

fine size and very high specific surface results in more pozzolanic activity than that of FA.

Flexural strength of control samples, FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA10SF6 and FA20SF10 samples at the end of 28 days curing period were 8.6, 7.9, 8.5, 8.9, 8.6, 7.5 MPa respectively. The flexural strength of FA10SF6 and FA20SF10 samples at the end of 28 days curing period were reduced 7.7% and 14.8% respectively. The lowest percentage of water absorption was the mixture of FA20SF10 with the highest mineral additive ratio of 9.95%. The water absorption percentages of the blends of FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA20SF6 were 10.85%, 11.64%, 11.97%, 12.31%, 11.21%, respectively. The porosity results are also directly proportional to the water absorption percentages. The control was 22.87%, 23.3%, 23.8%, 24.3%, 22.73% and 20.74% for the mixtures of FA10SF6, FA10SF10, FA10SF14, FA20SF6 and FA20SF10, respectively. As the ratio of silica fume increases in the mixture where fly ash is used as 10%, the water absorption and porosity values increase. This is because silica fume is very fine-grained because of the high surface area. When the densities are examined, it is observed that the saturated dry surface density and apparent density decrease with the mineral additive substitution. The mixture with the lowest density is a mixture of FA10SF14. The compressive strength increased significantly with the increase of the curing time. At the end of 90 days, the compressive strength of the FA10SF6 mixture was 70.7 MPa, the highest compressive strength. This value was obtained from 8.9 MPa and FA10SF14 mixture for flexural strength. All the mortar mixtures examined are satisfactory in terms of their self-compacting properties. In addition, fly ash is more advantageous than silica fumes in order to provide self-compacting property.

Keywords: Self-compacting mortar, fly ash; silica fume, fresh properties, strength properties, durability