



Genleştirilmiş Kil İle Yapılan Hafif Agregalı Harçta Süperakışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Araştırılması

Investigation of The Use of Superplasticizer Admixtures In Lightweight Aggregate Concrete With Expanded Clay

Berivan ÖRÜÇ¹ , Salih Taner YILDIRIM^{2,*} , Kübra DEMİR³ 

¹ İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-9489-1083

² İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0003-0021-0625

³ İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8215-5767

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 29/03/2021

Kabul Tarihi : 19/07/2021

Anahtar Kelimeler

Hafif Beton
Genleştirilmiş Kil Agregası
Süperakışkanlaştırıcı
Su/Çimento Oranı
Fiziksel ve Mekanik Deneyler

Özet

Hafif agregalarla yapılan hafif betonlar genel olarak; geleneksel betona göre daha düşük birim hacim ağırlığa, daha iyi ısı yalıtım ve yangın direnci özelliklerine sahiptirler. Önemli hafif agregalar arasında yer alan genleştirilmiş kil agregası (GKA) en iyi basınç değeri veren hafif agregalar arasında yer almaktadır. Bu çalışmada agrega olarak 0-500 µm, 0-3 mm, 3-8 mm, 8-16 mm ebatlarında GKA ve 4 farklı süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesi (SA) kullanılarak, su/çimento (S/C) oranı 0.40, 0.45, 0.50 oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan yayılma, basınç dayanımı, birim ağırlık, su emme ve kılcal su emme deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde, çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıların bu hafif agregalı beton için uygun tipte olduğu anlaşılmıştır.

Research Paper

Received Date : 29/03/2021

Accepted Date : 19/07/2021

Keywords

Lightweight Concrete
Expanded Clay Aggregate
Superplasticizer
Water/Cement Ratio
Physical and mechanical experiments

Abstract

Lightweight aggregate concrete generally has lower unit weight, better thermal insulation and fire resistance properties than conventional concrete. Expanded clay, one of the important lightweight aggregates, is one of the lightweight aggregates that gives the best compressive strength when used in concrete. In this study, physical and mechanical tests were carried out on specimens prepared with water/cement ratio of 0.40, 0.45 and 0.50 using expanded clay aggregate of sizes 0-500 µm, 0-3 mm, 3-8 mm, 8-16 mm and 4 different superplasticizer admixtures as aggregate. The evaluation of the test results of flow table, compressive strength, unit weight, water absorption and capillarity shows that the superplasticizer admixtures used in the study are suitable for this lightweight concrete.

1. Giriş

Harç; ince agregalar ile çimento, kireç veya alçı gibi bağlayıcılar ile uygun oranlarda, su ve gerektiğinde kimyasal katkı ilave edilerek plastik kıvamda elde edilen bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe tuğla veya taş gibi duvar malzemelerinin örgüsünü sağlamlaştırmak, duvarları dış etkenlere karşı korumak, pürüzsüz yüzeyler ve estetik bir görünüm kazandırmak için sıva olarak kullanılır.

Hafif agregaların normal agregalarla belirli oranlarda veya kısmen değiştirilmesiyle elde edilerek üretilen hafif betonun birim hacim ağırlığı düşürülmüştür. Bu sayede yapıya gelen yük, dolayısıyla deprem kuvveti ve depremde oluşabilecek hasar riski azaltılmış olur. Yapı yükünün azaltılmış olmasının bir diğer avantajı ise büyük binaların inşa edilmesine olanak sağlamasıdır. Ayrıca hafif agregalı betonlar (HAB) daha iyi ısı yalıtımı, yangın direnci, donma-çözülme direnci özelliklerine sahiptirler.

Geleneksel beton ile karşılaştırıldığında çok düşük yoğunluk ve yüksek yalıtım özelliği gösterirler. Hafif

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): styildirim@kocaeli.edu.tr



agregalar; yüksek ısı yalıtım özelliklerine rağmen, hafif ve zayıf bir agrega tipi olmalarından dolayı betonda düşük mukavemete sebebiyet verirler. HAB' lar bu özelliklerinden dolayı, duvar blokları ve panelleri; köprü, taşıyıcı olmayan tipte çatı ve taban betonları ve bölme duvarlar gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır [1-7].

Artan beton üretimi ile beraber, agrega tüketimindeki artış doğal kaynak tüketimi konusunda önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Çözüm odaklı çalışmalar doğrultusunda son zamanlarda geri dönüşüm atıkları ve özel olarak üretilen yapay agregalara yönelim artmaktadır [8]. Mekanik özelliklerinden çok, hafiflik ve yalıtım özellikleriyle karşımıza çıkan HAB' larda kullanılan hafif agregalar; gözenekli ve düşük su emme kapasitesine sahip olmalıdır [1,9].

Hafif beton yapımında kullanılan hafif agregalar; doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Yapay agregalar endüstriyel bir işlemin yan ürünü veya kalsinasyon, genleştirme veya sinterleme ile özel olarak üretilirler [10]. Özel olarak (özgül ağırlıklarının azaltılmasıyla) üretilen yapay agregalar kil, şeyl ve arduvaz gibi malzemelerden elde edilir. Endüstriyel bir işlemin yan ürünü olan yapay agregalara; cüruf, klinker tipi malzemeler, sinterlenmiş ve pulverize edilmiş uçucu küller gibi örnekler verilebilir [4]. Endüstriyel atıklardan elde edilen bu agregaların yan ürünleri geri dönüştürdükleri ve doğal tüketimi azalttıkları için, çevre kirliliğini azaltmaya da yardımcı olurlar [11]. Doğal agrega sınıfında ise diatomit, pomza, perlit, vermikülit, tuf ve volkanik cüruf lar yer alır. Genleştirilmiş kil, perlit ve vermikülit genellikle genleştirildikten sonra kullanılır [4].

Yapı sektöründeki gelişmeler ile malzeme kaynaklarında sıkıntılar çıkmaya başlamıştır. Doğal agregalar tükenme noktasına gelmiştir ve yerine başka kaynak arayışları artmıştır [12]. Hafif betonların üretiminde alternatif malzemeler bulmak daha kolaydır. Böylelikle inşaat sektörüne hafif agrega olarak kil agregası (pişirilmiş ve genleştirilmiş olarak) ve türevlerinin girmesi mümkün olmuştur. Hafif genleştirilmiş kil agregaları, Türkiye, Danimarka, Finlandiya, Norveç, Portekiz, Almanya, İtalya ve İran'da "Leca" ismi ile 20'den fazla ülkede ve İtalya'da "Laterlite", İspanya'da "Liapour", Fransa'da "Argex", Rusya'da "Keramzit" ve Güney Afrika'da "Aglite" gibi çeşitli marka isimleriyle üretilmektedir [13].

Yapay agregalar arasında yer alan hafif genleştirilmiş kil agregaları, özel nitelikli killerin döner fırınlarda 1100-1300 °C arasında sinterleştirilmesi ile malzeme bünyesinde açığa çıkan gazların hapsolmesi ile hacimce 5-6 kata kadar genişleyen killerdir. Genleştirilmiş kil ile oluşturulan bu agregaların dış yüzeyi sert bir kabuk, içi gözenekli bir yapıda olup, hafif ve oldukça dayanıklıdır (Özguven ve Gündüz, 2012). Her bir kil agregasının dış kabuğunun

kalınlığı ve yoğunluğu; farklı bir parçacıktan diğerine, hatta aynı parçacıktan bir alandan diğerine değişmektedir [13]. GKA çoğunlukla kahverengi veya kırmızımsı renktedir. Ancak sarı ve siyah renkleri de mevcuttur. Farklı renklerde oluşmasının nedeni, kilin kimyasal bileşimi ve üretimindeki farklılıklardır [14]. GKA en yüksek basınç dayanımına sahip agregalardan biridir [15]. Ayrıca doğal PH değerinden (yaklaşık 7) dolayı zararlı maddeler içermez, suya zarar vermez, çok yüksek ısı yalıtımı, ses yalıtımı ve yangın direncine sahip agregalardır [14,16].

Beton teknolojilerindeki gelişmeler ve beklentiler ile birlikte yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar 1990 yıllarında Japon endüstrisi tarafından kullanılmaya başlanmıştır [17]. Süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile beton karışımlarında viskoziteyi azaltmak ve beton performansında iyileştirme sağlamak hedeflenmiştir [12]. Katkı oranlarındaki değişim kombinasyonları betondan istenilen yüksek mukavemetin yanı sıra; işlenebilirlik süresini arttırmak, S/C oranını azaltmak ve hidrasyon ısısını arttırmak amaçlanmaktadır. Katkı kullanımı olmaksızın elde edilen beton karışımlarında, işlenebilirliği arttırmak amacıyla kullanılan su oranı arttırılmakla birlikte beton dayanımı yönünden olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Betonda süperakışkanlaştırıcı kullanmak, çimento tanelerinin daha iyi dağılmasına ve bu da kısa sürede daha fazla hidrasyon ürününe neden olur. Süperakışkanlaştırıcılar, çimento bileşenleri ile veya çimento hidrasyonundaki ürünlerle reaksiyona girebilirler [17]. Su oranı azaltıldığında hidrasyon ısısı beklenen etkiyi sağlamamaktadır. Bu sonuçları kontrol altına almak amacıyla kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıların tipi ve oranın tayinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Süperakışkanlaştırıcıların etkinliği ve bağlayıcılığı; çimento bileşimi, beton bileşenleri ve karıştırma koşullarındaki ufak değişimlerden büyük ölçüde etkilenmektedir [18].

Hafif genleştirilmiş agregaların su emme özellikleri nedeniyle beton akışkanlığı azalmaktadır. Küçük boyutlu ve gözenekli hafif agregalar yüzey alanını arttırdığından, su talebinin artmasına ve betonun akışkanlığının daha da azalmasına neden olmaktadır. Akışkanlığı arttırmak için fazladan su eklenmesi durumunda bağlayıcı ile agrega arasında ayrışma oluşmakta ve hafif agregaların harç üstünde yüzmesine ve agregaların eşit dağılmasına neden olur. HAB' da, viskoziteyi arttıran katkı maddesi betondan istemediğimiz ayrışmayı önleyebilmektedir. Böylelikle ayrışma derecesinin süperakışkanlaştırıcı dozajına ve viskozitesine bağlı olduğu bulunmuştur. Betonda bir süperakışkanlaştırıcı kullanımı, çimento taneçiklerinin daha iyi dağılmasına neden olur [19, 20].

Bu çalışmanın amacı; bundan sonraki çalışmalarda da kullanabilmek için, farklı boyutlardaki GKA kullanılarak yapılan hafif betonda, S/C oranını düşürerek uygun

süperakışkanlaştırıcı ve S/C oranını bulmaktır. Bu amaçla 4 çeşit süperakışkanlaştırıcı malzeme beton içinde kullanılmıştır. Taze betonda kıvam-yayıma deneyi, sertleşmiş betonda 50x50x50 mm boyutlarında numuneler üzerinden su emme ve birim ağırlık, basınç dayanımı ve kılcalık deneyleri yapılarak sonuçlar incelenmiştir.

2. Literatür Araştırmaları

2.1.İşlenebilirlik

Katkıların seçimi ve kullanım oranları beklentiye göre değişmektedir. SA etkisi, su içeriğini ve betonun S/C oranı üzerindeki değişimleri kontrol altına almaktır [21]. SA kullanımında tavsiye edilen oranlar çimento miktarının %0,8-3' ü arasındadır [22]. Yüksek çimento ve SA kullanımı sıcak hava şartlarında işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemekte ve beton yüzeyinde çatlama oluşurmaktadır [23]. SA ilavesi, işlenebilirliği arttırmak ve böylece gözenekliliği azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. SA; segregasyon olmadan, harcın ve betonun doğru ve kolay bir şekilde dökülmesini sağlar. Daha düşük S/C oranı kullanılsa dahi SA kullanım oranına göre işlenebilirlik aynı kalabilir ya da artabilir [24].

S/C oranı düşük tutulmak istenen HAB' daki agrega partikül boyutu dağılımı, agrega yoğunluğu ve birim ağırlığı da betonun işlenebilirliğini ve maliyetini önemli derecede etkilemektedir [19-25].

2.2.Birim Ağırlık

HAB yoğunluğu 1120-1920 kg/m³ olmalıdır [6]. Beton yoğunluğunun azalması genellikle farklı özelliklere sahip olan agregaların dahil edilmesiyle gerçekleşir [26].

Geri dönüştürülmüş hafif beton agregaları ile iki tip hafif ve iri agregaları %20, %50, %100 ikame ederek çeşitli beton karışımları hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada yoğunlukları 2000 kg/m³ 'ün altında olan yapısal ve yapısal olmayan geri dönüştürülmüş hafif beton agregaları ile geri dönüştürülmüş hafif beton üretmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır [27].

Agregaların yoğunlukları ve boyutlarının elastik modüller üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 480-1100 kg/m³ aralığında 4-14 mm boyutlarında agregalar kullanılarak yapılan deney sonuçlarına göre GKA' ların partikül yoğunluğu ve elastik modülleri arasında doğrusal bir ilişki olduğu sonucuna varmışlardır. Elastik modül, yoğunluğun artmasıyla artış göstermiştir [13].

2.3. Basınç ve Eğilme Dayanımı

HAB'dan beklenen 28 günlük basınç dayanımı en az 17 MPa' dır [6]. Beton karışımlarında malzemelerdeki

özellik ya da oranlar, karıştırma, yerleştirme ve deneylerdeki değişimler beton mukavemetinde değişikliklere neden olmaktadır [25]. Basınç dayanımındaki düşüş; çimento miktarı, beton yaşı, agrega özellikleri ve S/C oranlarına bağlıdır [14].

Bazı inşaat uygulamaları için 40 MPa' dan daha yüksek basınç mukavemeti gerekmektedir. Yapılan deneylerde GKA ile üretilen HAB' da bu dayanımlara yakın dayanımlar elde etmek mümkündür [28]. Yüksek mukavemetli hafif betonda 7. ve 28. günlerdeki dayanımlar 46.5 ve 51 MPa olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi 7.gündeki beton dayanımı 28. gündeki dayanımın %91,2'sine ulaşmıştır. Normal bir betonda ise bu oran %70-%80 aralıklarında olmaktadır. HAB' daki başlangıç dayanım gelişimi normal betona göre oldukça yüksektir. Bunun nedeni hafif agreganın çimento hamurunun ara yüzey bağında yaptığı iyileştirmeler olarak açıklanabilmektedir [29]. Hacimce fazla olan agrega içeriği; hafif betonun yoğunluğu, sertliği, basınç mukavemeti ve termal iletkenliğinde azalmalara neden olur [19].

HAB' lar normal betonlarla karşılaştırıldığında daha düşük eğilme ve basınç dayanımına sahiptirler [30]. %100 GKA kullanılan karışım ile %50 GKA kullanılan karışım arasında yapılan kıyaslamada, %50 GKA kullanılan numunelerde %2-15 daha yüksek eğilme mukavemeti elde edildiği sonucuna varılmıştır. GKA kırılma ve zayıf mukavemetli olduğundan dolayı, betondaki oranı arttıkça dayanım azalmaktadır [31]. Basınç ve eğilme mukavemetleri her beton tipinde gözeneklilik ve gözenek boyutu dağılımından etkilenmektedir [7]. Beton numunelerde daha küçük ebatlı agregalar doğru granülometri ile kullanıldığında, boşlukları daha iyi doldurduğundan, beton numunelerin basınç ve eğilme mukavemetini arttırmıştır [19].

2.4. Büzülme

Yapılan çalışmalarda; normal beton ve hafif betonlar için büzülme ile elastisite modülü arasındaki ilişkiden yola çıkarak, yüksek elastisite modülüne sahip bir betonun düşük kuruma büzülmesi gösterdiği sonucuna varılmıştır [30].

Genleştirilmiş kil suya batırıldığında mikro gözenekler nedeniyle hızla şişmeye neden olmaktadır. Su emmiş olan genleştirilmiş kil tekrar su emdiğinde ise gözenekler büyüdüğünden, gelen su fazla şişmeye neden olmaktadır. Buradan yola çıkarak daha önceden su emdirilen genleştirilmiş kil büzülmesi azalmaya başlamaktadır [14]. Genleştirilmiş kilin emdiği su beton kurdukça harcın içine salınmaktadır. Böylece beton kurdukça kaybedilen su telafi edilecektir [21].

2.5. Isıl İletkenlik

Genleştirilmiş kilin normal ağırlıktaki agregalardan daha az yoğunluğa ve daha yüksek gözenekliliğe sahip olması, daha yüksek ısı izolasyonu sağlar, enerji performansının artmasına yardımcı olur ve enerji kaybının azaltılmasını sağlar [32, 33].

Bağlayıcı olarak 214 kg/m³ çimento, iri agregata olarak %65, %70 ve %80 oranlarında GKA kullanılan ve üretilen beton blokların ısı iletkenliği deneylerle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda beton blokların ısı iletkenlik katsayıları sırasıyla 0.51, 0.44 ve 0.33 W/mK olmuştur. Bulgular neticesinde karışımdaki GKA oranı arttıkça ısı iletkenlik değerinde düşüş gözlemlenmiştir [34].

Agregaların bir bölümünde GKA içeren duvar birimlerinin yüksek ses ve ısı yalıtımı sağladığı belirtilmiştir. Agregata olarak normal ağırlıkta kum ve 2-4 mm ve 3-8 mm boyutlarındaki GKA ile malzeme karışımı oluşturulmuştur. GKA'nın karışıma dahil edilmesiyle ısı iletkenlik katsayısı değerleri 0,5 W/mK'ye düşürülmüştür [32].

Normal ağırlıktaki agregaları, 1-4 mm ve 4-8 mm boyutlarındaki GKA ile ikame ederek kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlamıştır. Yapılan çalışmada, 0,243 W/mK gibi düşük bir ısı iletkenlik katsayısı elde edebileceği sonucuna varılmıştır [35].

2.6. Kılcallık ve Su emme

3 farklı GKA'yı (Arlita, LECA, Argex; gözeneklilik, yağın yoğunluğu ve geometri açısından farklılık göstermektedir. 24 saat su emme ve toplam porozite oranı sırasıyla büyükten küçüğe Argex, LECA ve Arlita olarak dizilmektedir.) normal ağırlıktaki ince agregata veya iri agregata ile kısmen yer değiştirerek HAB karışımları

hazırlanmıştır. Betonlarda normal ağırlıktaki inverte agregata veya iri agreganın kısmen LECA ile yer değiştirilmesinin referanstan daha yüksek başlangıç ve uzun vadeli kılcal absorpsiyon gösterdiği sonucuna varılmıştır [36].

Farklı S/C oranlarında, Portekiz'den alınan iki genleştirilmiş kil agregası (Leca ve Argex) ve farklı bağlayıcı türleri kullanarak 74 adet kompozit harç üretilmiştir. Leca dahil edilerek hazırlanan harçlar üzerinde yapılan deneylerde kılcal su emme katsayısında artış bulunmuştur [37]. İri agregata olarak GKA kullanılarak hazırlanan karışımlarda, GKA oranının %55'den %90'a yükselmesi ile beton blokların su emme oranının da yükseldiğini fark edilmiştir [34].

%50 LECA (GKA) +%50 normal agregata ve %100 LECA içeren 18 adet numune hazırlanmıştır. Betonun su emiciliği; agregata tipi, matris tipi, S/C oranı ve agregata parçacıkları ile çimento hamuru arasındaki ara yüzey geçiş bölgesi gibi birçok faktörden etkilenir. Tamamen LECA karışımlarının %50 LECA karışımlarından daha yüksek gözenekliliğe sahip olduğu ve bunun da daha yüksek su emiciliğe neden olduğu sonucuna varılmıştır [31].

3. Malzeme ve Metot

3.1. Malzeme

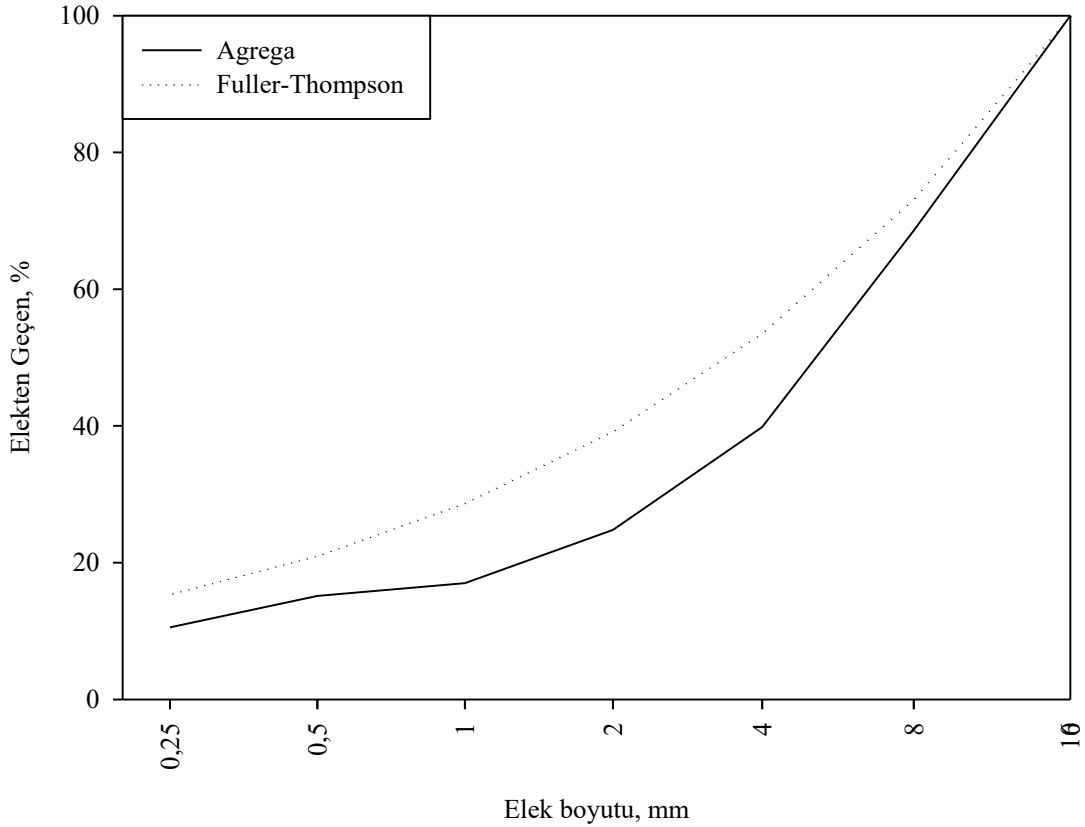
Bu çalışmada agregata olarak 0-500 µm, 0-3 mm, 3-8 mm, 8-16 mm ebatlarında GKA kullanılmıştır. Agregata Bilecik'te bulunan Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş.'den (LECAT) temin edilmiştir. GKA-Lecat fiziksel özellikleri ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Kullanılan çimento Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'ye ait Cem I 42,5 R çimentosudur. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. GKA-LECAT Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler				
Bileşen	%	Tane Boyutu(mm)	500 µm altı	0-3 mm	3-8 mm	8-16 mm
SiO ₂	66.9	Tane yoğunluğu (g/cm ³)	1.3	1.2	0.9	0.7
Al ₂ O ₃	18.4	Aşınma Direnci(%kayıp)	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	7.2	Donma Direnci(%kayıp)	1	1	1	1
CaO	2	Su emme (%)	8.75	9.62	16.4	18.2
MgO	1.3	Kızdırma Kaybı (%)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K ₂ O	2.3	Organik Kirleticiler (%)	-	-	-	-
Diğer	8.1	Termal İletkenlik	0.9<λ<0.10	0.9<λ<0.10	0.9<λ<0.10	0.9<λ<0.10

Tablo 2. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
Bileşen	(%)		
SiO ₂	20.5	Özgül Ağırlık	3.12
Al ₂ O ₃	4.65	Özgül Yüzey Alanı(m ² /kg)	360
Fe ₂ O ₃	3.4	Kütle Kararlılığı(mm)	2
CaO	62.7	Priz Başlama Periyodu(dakika)	153
Free_CaO	1.09	Priz Bitiş Periyodu (dakika)	188
MgO	1.02	90 µ Elek (%)	0.2
SO ₃	2.21	45 µ Elek (%)	12.8
Na ₂ O	0.18	Basınç Dayanımı	
K ₂ O	0.41	2 Gün (MPa)	30.2
Çözünmeyen Kalıntı	0.6	7 Gün (MPa)	51.1
Kızdırma Kaybı	2.15	28 Gün (MPa)	62.2

**Şekil 1.** Agregat malzemelerin granülometri eğrisi

Şekil 1’de görüldüğü gibi beton karışımında kullanılan 4 farklı GKA karışımından oluşturulan agreganın granülometri eğrisi verilmiştir. Burada 500 µm altı agregadan %16, 0-3 mm arası agregadan %25, 3-8 mm arası agregadan %29 ve 8-16 mm arası agregadan %30 kullanılarak hazırlanan GKA karışım eğrisi şekilde verilen Fuller-Thompson eğrisine mümkün olduğunca yaklaştırılarak idealize edilmiştir (Fuller, 1902).

Çalışmada hazırlanacak karışımlarda suyun miktarını azaltmak ve işlenebilirliği artırmak için SA ilave edilmiştir. Katkılar SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş. firmasından temin edilmiştir. Karışımlarda 4 farklı SA katkı malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan katkı malzemelerinin özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Süperakışkanlaştırıcı Özellikleri

Ürün Adı	Kimyasal Yapısı	Yoğunluk	PH	Klorür İçeriği	Alkali miktarı
FFN (Süperakışkanlaştırıcı)	Melamin sülfonat polim. esaslı sıvı	1,15-1,19 kg/l	7- 11	<%0,1	<%7
HE200 (Süperakışkanlaştırıcı)	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer	1,08 kg/l	7,3 +/- 1,0	<%0,1	<%4,2
PC15 (Yüksek per. süperakışkanlaştırıcı)	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer	1,09±0,02 kg/l	3 - 7	<%0,1	-
SF18 (Yüksek perfor. Süperakışkanlaştırıcı)	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer	1,10±0,02 kg/l	3 - 7	< % 0,1	-

3.2. Metot

S/C 0.40, 0.45 ve 0.50 olacak şekilde her katkı tipi için karışımlar hazırlanmıştır. Önce çimento ve GKA karıştırıcı kabına dökülerek kuru kıvamda karıştırılmıştır. Karışımlarda m³'te 400 kg olacak miktarda çimento kullanılmıştır. Daha sonra karışımlara %1,2 oranında SA eklenerek beton karışımı hazırlanmıştır. GKA'nın karışımdaki hacimsel oranı %75, çimentonun GKA'ya ağırlıkça oranı 0.50'dir. GKA tamamen kuru olarak kullanılmış olup, emeceği su karışım suyuna ilave edilmiştir. Taze beton karışımına ASTM C1437 ve TS EN 1015-3'e göre yayılma deneyi yapıldıktan sonra 50*50*50 mm' lik kalıplara iki kademede vibrasyonla sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Her katkı tipi için numuneler 6'şar adet olarak hazırlanmıştır. 24 saat kalıpta bekletildikten sonra, kalıptan çıkarılıp 20 °C' deki kür havuzuna konulmuştur. 7 gün sonunda kür havuzundan çıkarılan numunelerin 3 tanesi laboratuvar ortamında kuruduktan sonra ASTM C109'a göre basınç dayanım tespiti için kırılmış, 3 tanesinin ise yüzeyi kurutularak (doğgun kuru yüzey halde) tartımları yapılmıştır. Daha sonra etüve konan bu numuneler 105 °C' de 24 saat bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler tekrar tartılmış hem kuru birim ağırlık hem de su emme (%) hesapları yapılmıştır. Kuru haldeki numunelerin yan yüzeyleri su geçirmez malzeme ile kaplandıktan sonra tartılmıştır. Alt yüzeyleri su ile temas ettirilerek TS EN 450-5 ve ASTM C-1585-04 standartları esas alınarak 24 saatlik süre sonunda kılcal su emme



a. FFN katkısı ile yapılan numune

deneyleri yapılmış ve kılcallık katsayısı belirlenmiştir. Şekil 2' de kılcal su emme için su dolu kaptaki alüminyum profillere oturtulan numuneler görülmektedir.



Şekil 2. Kılcallık deneyinde numunelerin su dolu kaptaki alüminyum profillere oturtulması

4. Deneysel Çalışmalar ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmalarda yapılan dökümlerin öncelikle görsel olarak viskozitesine, dökümden sonra numunelerin şekilsel düzgünlüklerine ve segregasyon oluşup oluşmadığına bakılmıştır. Bu amaçla yapılan dökümler esnasında ve sonrasında kalıplanmış haldeki malzemenin görsel durumları da incelenmiştir. Şekil 3'te kalıptan çıkarılan numuneler görülmektedir.



b. HE200 katkısı ile yapılan numune

Şekil 3. 0.45 S/C oranı için katkılarla üretilen 50*50*50 mm küp beton numunelerinin görünüşü



c. PC15 katkısı ile yapılan numune



d. SF18 katkısı ile yapılan numune

Şekil 3. (Devam) 0.45 S/C oranı için katkılarla üretilen 50*50*50 mm küp beton numunelerin görünüşü

Şekil 3'te görüldüğü gibi 0.45 S/C oranı için katkılarla üretilen 50*50*50 mm küp beton numunelerin görünüşü verilmiştir. 0.45 S/C oranında tüm katkılar daha iyi kıvamına sahip olduklarından özellikle bu S/C oranı seçilmiştir. Farklı S/C oranlarının da yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numunelerinin görünüşlerini pek etkilenmediği, FFN numunesinin 0.40 oranında düşük kıvamdan nispeten iyi etkilendiği ve HE200 katkısı ile yapılan numunelerin çok daha iyi görüldüğü anlaşılmaktadır. Özellikle iri agregaların SF18 ile PC15 numunelerinin üzerinde toplandığı görülmektedir. FFN katkısı nispeten daha iyi görünmektedir.

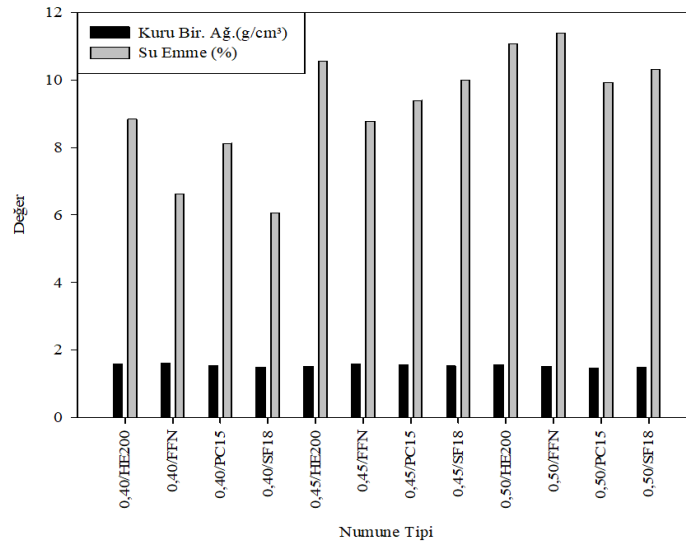
4.1. Yayılma Deneyi

Taze beton karışımları için harç yayılma tablası üzerinde yapılan yayılma deneylerinde, yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numuneleri tüm S/C oranlarında işe yaramıştır ve iyi yayılma göstermiştir. HE200 ve FFN numuneleri ise 0.40 S/C oranı için yayılma yapmamıştır (deney aparatı halka çapı olan 10 cm'lik yayılma değerine yakın değer almışlardır), bu S/C oranında SF18 ile PC15 katkıları sırası ile 21 ve 20 cm ile çok iyi sonuçlar vermiştir. S/C oranı

0.45'ten 0.50 S/C oranına arttırıldığında numunelerin hiçbirinde kıvam değişmemiştir [24]. Bu durumda sadece 0.45 S/C oranı için tüm katkılar efektif olarak kullanılabilir. 0.45 S/C oranında, SF18 ve PC 15 katkıları harcın akışkanlığını HE200 ve FFN katkılarına göre yaklaşık 5 cm daha fazla arttırmıştır. Şekil 6'da yayılma deney sonuçları basınç dayanımı sonuçları ile beraber değerlendirilmiştir.

4.2. Kuru Birim Ağırlık ve Su Emme

Şekil 5'te numunelerin kuru birim ağırlığı ve su emme (%) değerleri verilmiştir. Genel olarak S/C oranı arttıkça su emme oranı yaklaşık %6-9 seviyelerinden %10-11 seviyelerine artarken, birim ağırlıkların azaldığı görülmüştür [26,27]. Su emme açısından süperakışkanlaştırıcılar arasında özellikle S/C 0.45 ve 0.50 oranlarında belirgin bir fark görülmezken, 0,40 oranında FFN ve SF18 katkıları nispeten %2-3 oranında daha az su emilmesini sağlamıştır. Aynı S/C oranları için birim ağırlıklar arasında ciddi bir farklılık olmazken, FFN katkılı numunenin kendi özgül ağırlığından dolayı, diğer numunelere göre bir miktar birim ağırlığının fazla olduğu göze çarpmaktadır.

**Şekil 5.** Numunelerin kuru birim ağırlık ve su emme değerleri

4.3. Basınç Deneyi

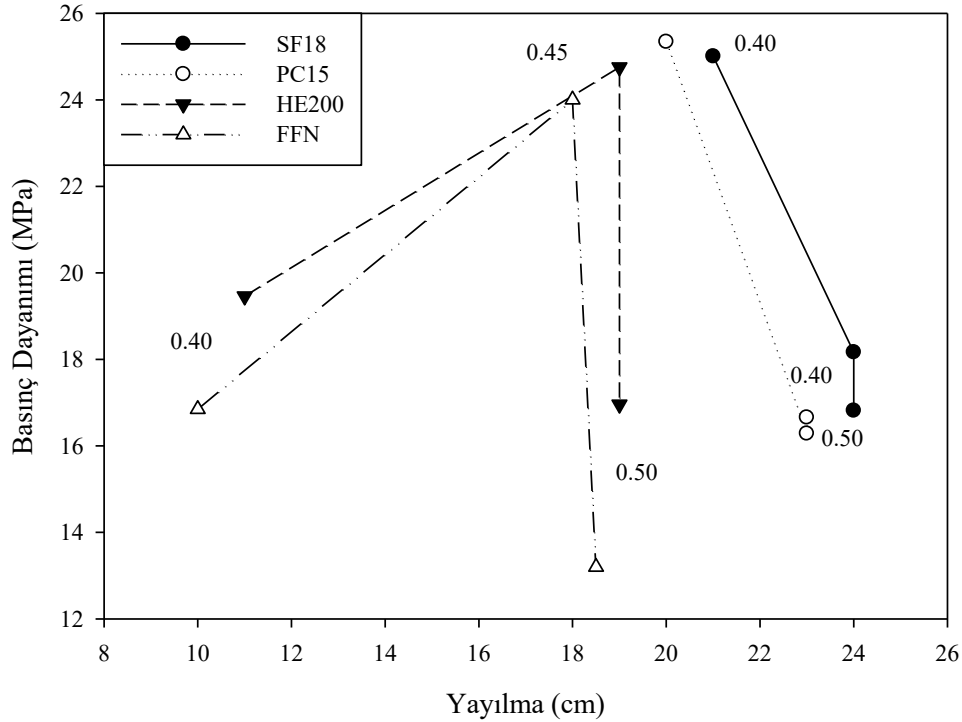
Tablo 4'te görüldüğü gibi, tüm numunelerin dayanımları ve en yüksek dayanım 25.3 MPa (%100) baz alınarak dayanım değişimleri verilmiştir. Yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numuneleri 0.40 S/C oranında sırası ile 25 ve 25.3 MPa ile çok iyi sonuçlar verirken, 0.45 ve 0.50 su çimento oranlarında yaklaşık %30-35 kayıp ile 16-18 MPa seviyelerine gerilemiş ve bu S/C oranlarında yakın değerler almışlardır. Diğer yandan HE200 ve FFN katkıli numuneler sadece 0.45 S/C oranında sırası ile %98 seviyesi için 24.8 ve %95 seviyesi için 24 MPa ile iyi sonuçlar vermiştir. Bu numuneler 0.40 ve 0.50 S/C oranlarında, özellikle de 0.50 oranı için oldukça kötü sonuçlar vermiştir. 0.40 S/C seviyesinde su seviyesinin

yetersizliğinden, 0.50 seviyesinde ise su miktarının fazlalığından dolayı bu numunelerde dayanımın düşmüş olduğu söylenebilir. Bu sonuçlar literatürdeki gibi S/C oranının betondaki dayanıma büyük etkisi olduğunu göstermektedir [14].

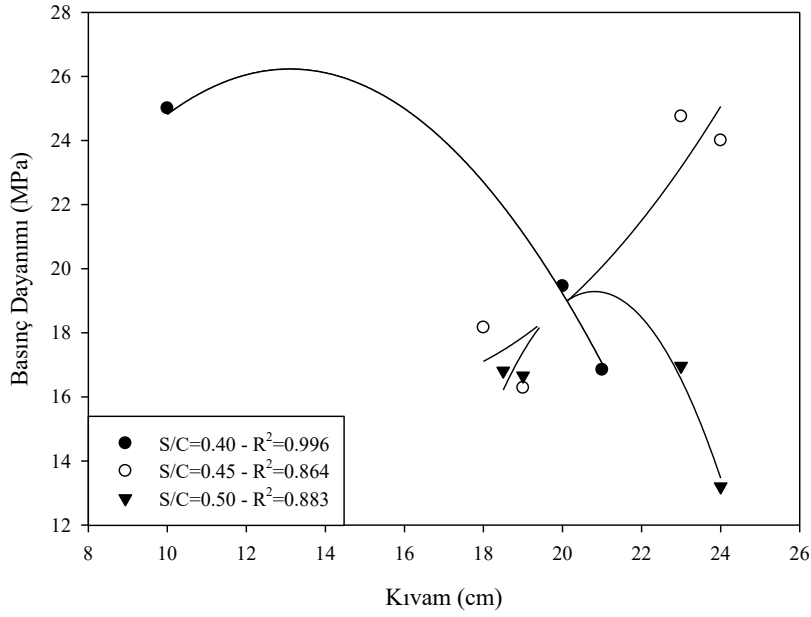
Şekil 6'da kıvam-basınç dayanımı ilişkisine bakıldığında, HE200 ve FFN katkıli numunelerin 0.45 S/C seviyesinde iyi kıvam kazandığı, bundan sonraki 0.50 S/C seviyesinin kıvama bir etkisi olmadığı dikkate alınarak bu sonucun beklenen bir sonuç olduğu söylenebilir. Diğer yandan aynı ilişki durumunda yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcılar kullanılan SF18 ile PC15 numunelerinde 0,40 S/C olması ve buna bağlı iyi dayanım elde edildiği, S/C oranı artışının gereksiz su artışına bağlı olarak dayanım düşürdüğü görülebilir.

Tablo 4. Numunelerin basınç dayanımları ve değişim oranları

Numune Tipi	Basınç Dayanımı (MPa)			Basınç Dayanım Değişimi (%)		
	S/C=0.40	S/C=0.45	S/C=0.50	S/C=0.40	S/C=0.45	S/C=0.50
FFN	16,8	24,0	13,2	66	95	52
HE200	19,5	24,8	17,0	77	98	67
PC15	25,3	16,3	16,7	100	64	66
SF18	25,0	18,2	16,8	99	72	66



Şekil 6. S/C oranına göre basınç dayanımı-yayılma ilişkisi



Şekil 7. S/C oranına göre basınç dayanımı-yayıma polinomik regresyon ilişkisi

Şekil 7’de basınç dayanımı-yayıma regresyon ilişkisi polinom grafikleri üzerinden oldukça yüksek görülmüştür. R2 değerlerine bakıldığında ilişkinin özellikle 0.40 S/C oranında 1’e yakın olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6’da verildiği gibi HE200 ve FFN katkılı numunelerin 0.45 S/C oranındaki dayanım artışına bağlı olarak “S/C=0.45-R2=0.864 grafiği” diğer iki grafiğin düşüşüne ters hareket göstermiştir. R2 değerlerinin yüksek olması tüm grafiklerde basınç dayanımı ve kıvam değerlerinin ne kadar ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

4.4.Kılcal Su Emme

Kapilarite katsayısı hesabı için aşağıdaki formül kullanılmıştır (Denklemler 1). İşlemler sonucunda elde edilen veriler Şekil 8’de gösterilmiştir.

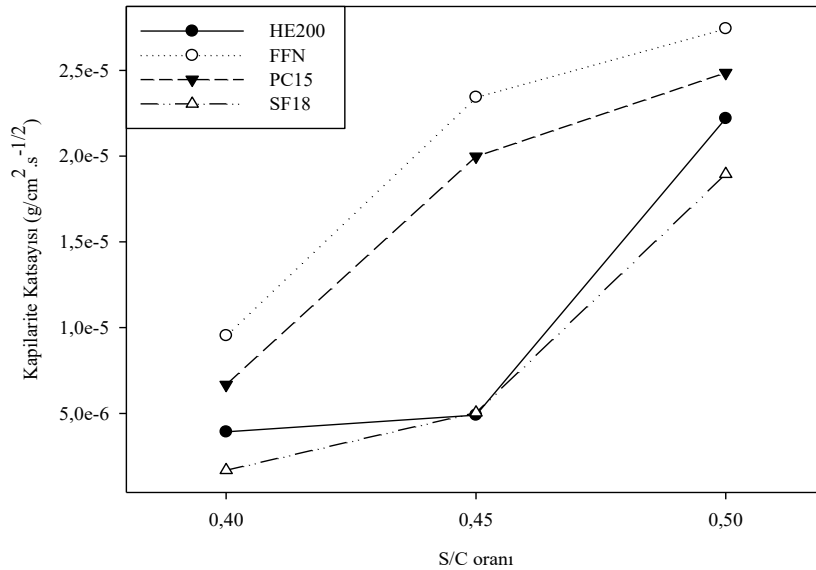
$$k^*t=(Q/A)^2 \quad (1)$$

k=kılcallık katsayısı (gr/cm².s^{-1/2})

t=zaman(s)

Q=hacimsel su miktarı (gr)

A=su emdirilen yüzey alanı (cm²)



Şekil 8. S/C oranına göre kapilarite katsayısı

Şekil 8’de görüldüğü gibi S/C oranı 0.4 olduğu zaman kapilarite katsayısı tüm numuneler için çok düşük seviyede kalırken, S/C oranı arttıkça kapilarite katsayısı da artmaktadır [40]. 0.40 S/C oranında FFN ve PC15 numuneleri diğer iki numune olan HE200 ve SF18’e yakın değerler alırken, 0.45 ve 0.50 S/C oranlarında fark artmıştır. Özellikle 0.45 S/C oranında 4 kata varan artışlar olurken 0.5 S/C oranında bu fark azalmıştır.

5.Sonuçlar

Çalışmada ulaşılan verilere göre elde edilen sonuçlar aşağıda derlenmiştir:

1. HE200 numunelerinde diğer numunelere göre daha az ayrışma gerçekleşmiş, numune yüzeyleri özellikle yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numunelerinde yüksek kıvam ile ilişkili olarak segregasyon göstermiştir.

2. HE200 ve FFN numuneleri 0.40 S/C oranı için yayılma yapmamıştır, fakat diğer oranlarda iyi sonuçlar vermişlerdir. Yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numuneleri tüm S/C oranlarında yüksek yayılma sonuçları vermiştir. S/C oranı 0.45’ten 0.50’ye arttırıldığında tüm numuneler için kıvam değişmemiştir.

3. S/C oranı arttıkça tüm numunelerde su emme oranı artarken, birim ağırlıklar azalmıştır. Katkılar arasında su emme ve birim ağırlık açısından belirgin bir fark görülmezken, 0.40 oranında FFN ve SF18 numuneleri nispeten daha az su emmiştir. FFN katkı tipi kendi ağırlığından dolayı birim ağırlığı düşük oranda nispeten yükseltmiştir.

4. Yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı içerikli SF18 ile PC15 numuneleri 0.40 S/C oranında yaklaşık 25 MPa ile çok iyi sonuçlar verirken, 0.45 ve 0.50 S/C oranlarında dayanım azalmış ve bu iki S/C oranı için sonuçlar yakın olmuştur. HE200 ve FFN katkılı numuneler 0.45 S/C oranlarında 24-25 MPa aralığında sonuçlar vermiş, numuneler 0.40 ve özellikle de 0.50 S/C seviyelerinde olumsuz sonuçlar vermiştir. 0.40 S/C seviyesinde su seviyesinin yetersizliğinden, 0.50 seviyesinde ise su miktarının fazlalığından dolayı bu numunelerde dayanımın düşmüş olduğu söylenebilir. Regresyon analizi yapılarak, numune kıvam durumlarının basınç dayanımları ile oldukça ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

5. S/C oranı 0.40 olduğu zaman kapilarite katsayısı tüm numuneler için çok düşük seviyede kalırken, S/C oranı arttıkça kapilarite katsayısı da artmaktadır. 0.40 S/C oranında FFN ve PC15 numuneleri diğer iki numune olan HE200 ve SF18’e yakın değerler alırken, S/C oranı yükselirken, özellikle 0.45 S/C oranı için, fark artarak daha yüksek değerler almıştır.

Çalışma sonucundan görüleceği üzere tüm numunelerin birbirine üstünlükleri bulunmakta, ancak SF18 numunesinin dış görüntüsü hariç diğer özellikleri ile bir adım öne çıktığı anlaşılmıştır. Bunda katkının yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı olmasının da etkisi vardır. Tüm katkıları geliştirilmiş kil agregalı numunelerde kullanabilmek mümkündür. Çalışmanın perlit, pomza, bims agregası gibi farklı hafif agrega tipleri ile yapılması ya da puzolanik katkılarla bu süperakışkanlaştırıcı katkıların denenmesi de mümkündür. Ayrıca durabilite yönünden burada incelenen kılcallık harici deneysel çalışmalar ve farklı boyuttaki numuneler üzerinde incelemeler yapılabileceği gibi ısı iletkenliğinin incelenmesi de yeni araştırmalara açık konulardır.

Teşekkür

Bu çalışmada Kocaeli Üniversitesi Yapı Malzemeleri laboratuvarına önemli destek sağlayan, Kavanlar Beton, Nuh Çimento San. A.Ş., Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. ve Söğüt Toprak Madencilik Sanayi A.Ş. firmalarına teşekkürü borç biliriz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması belirtilmemiştir.

Etik Standart Beyanı

Yazarlar bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve yasal-özel izin gerekmediğini beyan eder.

Kaynaklar

- [1] Ayati B., Molineux C., Newport,D., Cheeseman C., 2019. Manufacture and performance of lightweight aggregate from waste drill cuttings. Journal of Cleaner Production, 208, 252-260.
- [2] Kalpana M., Tayu A., 2020. Experimental investigation on lightweight concrete added with industrial waste (steel waste). Materials Today: Proceedings, 22, 887-889.
- [3] Aslam M., Shafiq P., Nomeli M. A., Jumaat M., Z., 2017. Manufacturing of high-strength lightweight aggregate concrete using blended coarse lightweight aggregates. Journal of Building Engineering, 13, 53-62.
- [4] Gündüz L., Şapcı N., Bekar M., Yorgun S., 2006. Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği. Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 1(2), 43-49.

- [5] Ariöz Ö., Karasu B., Korkut M., Tuncan A., Tuncan M., 2005. Genleştirilmiş kil agregası üretimi Expanded Clay Aggregate Production.
- [6] Ahmad M. R., Chen B., Shah S. F. A., 2019. Investigate the influence of expanded clay aggregate and silica fume on the properties of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 220, 253-266.
- [7] Chung S. Y., Elrahman M. A., Kim J. S., Han T. S., Stephan D., Sikora P., 2019. Comparison of lightweight aggregate and foamed concrete with the same density level using image-based characterizations. *Construction and Building Materials*, 211, 988-999
- [8] Napolano L., Menna C., Graziano S. F., Asprone D., D'Amore M., de Gennaro R., Dondi M., 2016. Environmental life cycle assessment of lightweight concrete to support recycled materials selection for sustainable design. *Construction and Building Materials*, 119, 370-384.
- [9] Yıldırım S. T., BABA E., 2018. Bims agregalı ve genleştirilmiş perlit agregalı hafif kompozit harçların özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 47-52.
- [10] Styron R. W., 1986. U.S. Patent No. 4,624,711. Washington DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [11] Yang K. H., Song J. K., Lee J. S. 2010. Properties of alkali-activated mortar and concrete using lightweight aggregates. *Materials and structures*, 43(3), 403-416.
- [12] Tang X., Zhao C., Yang Y., Dong F., Lu X. 2020. Amphoteric polycarboxylate superplasticizers with enhanced clay tolerance: Preparation performance and mechanism. *Construction and Building Materials*, 252, 119052.
- [13] Ardakani A., Yazdani M., 2014. The relation between particle density and static elastic moduli of lightweight expanded clay aggregates. *Applied Clay Science*, 93, 28-34.
- [14] Rashad A. M., 2018. Lightweight expanded clay aggregate as a building material—an overview. *Construction and Building Materials*, 170, 757-775.
- [15] Ozguven A., Gunduz L., 2012. Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete composites*, 34(6), 781-787.
- [16] Kalhori E. M., Yetilmezsoy K., Uygur N., Zarrabi M., Shmeis R. M. A., 2013. Modeling of adsorption of toxic chromium on natural and surface modified lightweight expanded clay aggregate (LECA). *Applied Surface Science*, 287, 428-442.
- [17] Janowska-Renkas E., 2015. The influence of the chemical structure of polycarboxylic superplasticizers on their effectiveness in cement pastes. *Procedia Engineering*, 108, 575-583.
- [18] Kismi M., Saint-Arroman J. C., Mounanga P., 2012. Minimizing water dosage of superplasticized mortars and concretes for a given consistency. *Construction and Building Materials*, 28(1), 747-758.
- [19] Adhikary S. K., Rudzionis Z., 2020. Influence of expanded glass aggregate size, aerogel and binding materials volume on the properties of lightweight concrete. *Materials Today: Proceedings*.
- [20] Kawai T., Okada T., 1989. Effect of superplasticizer and viscosity-increasing admixture on properties of lightweight aggregate concrete. *Special Publication*, 119, 583-604.
- [21] Bogas J. A., Nogueira R., Almeida N. G., 2014. Influence of mineral additions and different compositional parameters on the shrinkage of structural expanded clay lightweight concrete. *Materials & Design*, (1980-2015) 56, 1039-1048.
- [22] Şimşek O., Aruntaş H., Demir İ., 2007. Beton üretiminde süper akışkanlaştırıcı çeşitve oranının belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(4).
- [23] Duyar O., Aykan G., Tezel O. O., 2005. Akışkanlaştırıcı katkı teknolojisinin yeni sınırları ve uygulama örnekleri. 1. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu Sempozyum Bildiriler Kitabı, 233-246.
- [24] Peng J., Deng D., Huang H., Yuan Q., Peng J., (2015). Influence of superplasticizer on the rheology of fresh cement asphalt paste. *Case studies in construction materials*, 3, 9-18.
- [25] Yang K. H., Kim G. H., Choi Y. H., 2014. An initial trial mixture proportioning procedure for structural lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 55, 431-439.
- [26] Nepomuceno M. C., Pereira-de-Oliveira L. A., Pereira S. F., 2018. Mix design of structural lightweight self-compacting concrete incorporating coarse lightweight expanded clay aggregates. *Construction and Building Materials*, 166, 373-385.
- [27] Bogas J. A., de Brito J., Figueiredo J. M., 2015. Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 89, 187-195.
- [28] Le Roy, R., Parant E., Boulay C., 2005. Taking into account the inclusions' size in lightweight concrete

- compressive strength prediction. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 770-775.
- [29] Lo T. Y., Cui H. Z., 2004. Effect of porous lightweight aggregate on strength of concrete. *Materials Letters*, 58(6), 916-919.
- [30] Shafiq P., Ghafari H., Mahmud H. B., Jumaat M. Z., 2014. A comparison study of the mechanical properties and drying shrinkage of oil palm shell and expanded clay lightweight aggregate concretes. *Materials & Design*, 60, 320-327.
- [31] Nahhab A. H., Ketab A. K., 2020. Influence of content and maximum size of light expanded clay aggregate on the fresh, strength, and durability properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with micro steel fibers. *Construction and Building Materials*, 233, 117922.
- [32] Sousa H., Carvalh, A., Melo A., 2004, July. A new sound insulation lightweight concrete masonry block. Design and experimental characterization. In *Proceedings of the 13th International Brick and Block Masonry Conference*.
- [33] Zach J., Hubertova M., Hroudova J., 2009. Possibilities of determination of thermal conductivity of lightweight concrete with utilization of non stationary hot-wire method. In *The 10th International Conference Of The Slovenian Society For Non-Destructive Testing*, Ljubljana, Slovenia. Citeseer.
- [34] Bastos A. M., Sousa H., Melo A. F., 2005. Methodology for the design of lightweight concrete with expanded clay aggregates. *The Masonry Society Journal*, 23(1), 73-84.
- [35] Hubertova M., Hela R., 2009. Ultra light-weight self consolidating concrete. In *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, (pp. 597-602). CRC Press
- [36] Bogas J. A., Gomes M. G., Real S., 2015. Capillary absorption of structural lightweight aggregate concrete. *Materials and Structures*, 48(9), 2869-2883.
- [37] Real S., Bogas J. A., Pontes J., 2015. Chloride migration in structural lightweight aggregate concrete produced with different binders. *Construction and Building Materials*, 98, 425-436.
- [38] El-Gamal S. M., Al-Nowaiser F. M., Al-Baity A. O., 2012. Effect of superplasticizers on the hydration kinetic and mechanical properties of Portland cement pastes. *Journal of Advanced Research*, 3(2), 119-124.
- [39] Fuller W.B., Thompson S.E., 1907. The laws of proportioning concrete. *Asian Journal Of Civil Engineering Transport Volume*, 59, Pages 67-14.
- [40] Guardia, C., Schicchi, D. S., Caggiano, A., Barluenga, G., Koenders, E. (2020, February). On the capillary water absorption of cement-lime mortars containing phase change materials: Experiments and simulations. In *Building Simulation*, (Vol. 13, No. 1, pp. 19-31). Tsinghua University Press.