
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X		
	Dergi sayfası: http://dergipark.gov.tr/saufenbilder		
	<u>Geliş/Received</u> 09-10-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.342519	
	<u>Kabul/Accepted</u> 21-12-2017	<u>Online Access</u>	

Büzülme engelleyici katkıların harç karışımlarının basınç dayanımına, su emmesine ve kuruma-büzülmesine etkisi

Ali Mardani-Aghabaglou*¹, Metin İlhan¹

ÖZ

Bu çalışmada, kuruma büzülme engelleyici (KBE) katkı içeren harç karışımlarının basınç dayanımı, su emme oranı ve kuruma büzülmesi incelenmiştir. Bu amaçla, 4 farklı fabrika ürünü 9 adet toz ve sıvı halinde katkı kullanılmıştır. Tüm harç karışımlarında bağlayıcı olarak CEMI 42.5 R tipi çimento ve agrega olarak standart kum kullanılmıştır. KBE katkı içermeyen kontrol karışımına ilaveten çimento ağırlığının %2'si kadar KBE katkı kullanılarak toplamda 10 seri karışım hazırlanmıştır. Üretilen tüm harç karışımlarında, kum/bağlayıcı oranı, su/çimento (S/Ç) oranı ve yayılma değeri sırasıyla, 2.75, 0.485 ve 230±20 mm olarak sabit tutulmuştur. Hedeflenen yayılma değerlerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Hazırlanan harç karışımlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ve 28 günlük su emme oranı elde edilmiştir. Ayrıca söz konusu karışımların 28 günlük kuruma büzülme davranışı incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, kontrol karışımına kıyasla, KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının basınç dayanımı ve geçirgenlik özellikleri genel olarak olumlu etkilenmiştir. Ancak, 2 farklı KBE katkı kullanımı harç karışımlarının priz almamasına sebep olmuştur. Söz konusu karışımlarda su azaltıcı katkı kullanılmamıştır. Ayrıca, KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının kuruma büzülme değerlerinde %10-%45 oranında azalmalar tespit edilmiştir. Sıvı halinde olan KBE katkıları genel olarak toz halinde olan katkılara kıyasla kuruma-büzülme davranışı açısından daha başarılı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: harç karışımları, kuruma-büzülme engelleyici katkı, su emme kapasitesi, basınç dayanımı

Effect of shrinkage reducing admixture on compressive strength, water absorption and drying-shrinkage of mortar mixture in the presence of water reducing admixture

ABSTRACT

In this study, compressive strength, water absorption and drying-shrinkage behaviour of shrinkage-reducing admixture (SRA) bearing mortar mixture were investigated. For this purpose, 9 powder and liquid commercial SRA admixtures provided from 4 different factories were used. In all mortar mixture, CEM I 42.5 R type cement as binder and standard sand as aggregate were used. In addition to the containing no SRA admixture, 10 different mortar mixtures were produced by using SRA admixture as 2 wt.% of the

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: alimardani@uludag.edu.tr

¹Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

cement. In all mortar mixtures, water/cement ratio, sand/binder ratio and flow value were kept constant as 0.485, 2.75 and 230 ± 20 mm, respectively. A type of polycarboxylate-ether based high range water reducing admixture was used for providing the desired flow values. 1, 3, 7 and 28-day compressive strength and 28-day water absorption of mortar mixtures were obtained. Also, the 28-day drying-shrinkage of mortar mixtures was measured.

Test results demonstrated that utilization of SRA positively affected compressive strength and permeability of the mortar mixtures. However, utilization of SRA led to incompleteness of setting time of mortar mixtures. In the mentioned mortar mixtures, water reducing admixture was not used. In addition, a reduction of %10-%45 was found in drying shrinkage value of mortar mixtures by utilization of SRA. The liquid types of SRA generally were more successful compared to the powder types in term of drying-shrinkage behaviour of mortar mixtures.

Keywords: mortar mixture, drying-shrinkage reducing admixture, water absorption capacity, compressive strength

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilindiği gibi beton karışımlarının mukavemetini azaltan olumsuz etkenlerden biri rötredir. Betonun büzülmesi şeklinde tanımlanan rötre, betonda yüzeysel veya derin çatlaklar meydana getirir. Çatlaklar sonucu beton numunesinin geçirgenlik özellikleri ve dayanımı olumsuz şekilde etkilenmektedir. Betonarme yapılarda beton fazı, yapının basınç dayanımını karşılama yanında, pasif tabaka oluşturduğundan (CH'ların varlığından bazik ortam oluşur) donatıyı korozyona karşı da korur. Ancak, rötre sonucu beton karışımının geçirgenliği arttığından hava, su ve kimyasal maddeler rahatlıkla betona girebileceğinden, donatı korozyon oluşumuna veya beton dayanıklılığının azalmasına neden olmaktadır [1]. Bu yüzden rötre hem statik hem de estetik olarak kötü sonuçlara neden olabilir.

Betonun priz alma esnasında beton yüzeyindeki suyun buharlaşması sonucu büyük boşluklarda bulunan su yüzeye hareket ederek buharlaşır. Ortamın bağıl nemi çok düşük ise veya ortam sıcaklığı çok yüksek ise betonun büyük boşluklarındaki su buharlaştıktan sonra katmanlar arası küçük boşluklardaki sular kılcal yollarla büyük boşluklara hareket eder. Böylece katmanlar arası basınç oluşturan su kaybolduğundan katmanlar birbirine yakınlaşır. Dolayısıyla, bir büzülme oluşumu söz konusu olur. Büzülmeden kaynaklı bir iç gerilme doğar. Oluşan bu gerilme, çimentolu sistemlerin çekme dayanımını aşar ise çatlak oluşur [2]. Betonun rötresini çimento pastasının boşluk oranı, yaşı, hidrasyon derecesi, su/çimento oranı, kür sıcaklığı, çimento içeriği, su içeriği, katkıların özellikleri (kimyasal ya da mineral gibi özellikleri), betonun agrega rijitliği,

agrega içeriği, hacim/yüzey oranı, kalınlığı gibi özellikleri etkilemektedir [3].

Taze betonda işlenebilirlik, sertleşmiş betonda ise dayanım ve dayanıklılık özellikleri betonda aranan en önemli özelliklerdir. Betonun kuruma büzülmesi ve dolayısıyla oluşan çatlaklar dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkiler ve servis ömrü yüksek kaliteli bir beton üretilmesini engeller. Bu çatlakları engellemek için su/çimento oranını azaltmak, KBE ve mineral katkı kullanmak gibi yöntemler mevcuttur [4-5]. Su/çimento oranını azaltmak ve mineral katkı kullanmak, taze betonda en çok aranan özelliklerden biri olan işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Su azaltıcı katkı kullanmak her ne kadar işlenebilirliği arttırsa da karışımların büzülmesini azaltmak için son yıllarda tercih edilen diğer bir yöntem ise KBE katkı kullanmaktır. Rötre azaltıcı katkı maddeleri düşük viskoziteye sahip maddelerdir ve bu sebeple suya %1 oranında eklenmesi durumunda dahi yüzey gerilmelerinde %30 oranında azalma sağlamaktadır. Rötre azaltıcı katkıların kapiler boşluklarda var olan sudaki gerilmelerin oluşumunu azaltmakta ve böylece suyun dışarı çıkışı engellenmektedir. Bu sayede sünmeye neden olacak gerilmeler azaldığı için sünmeyi de azaltmaktadır ve çatlak oluşumu engellenmektedir [6]. Konu ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kadıoğlu [5] yaptığı bir çalışmada, KBE katkının beton karışımlarının elastisite modülüne etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, 2 farklı su/çimento oranına sahip beton karışımları hazırlamıştır. Sonuçlara göre, KBE katkı kullanımı beton karışımlarının elastisite modülünü ciddi mertebede etkilememiştir.

Gu [7] ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, NanoSio₂ 'in (NS) çimento hamurundaki dağılımını geliştirmek amacıyla NS yüzeyine kuruma-büzülme engelleyici katkı (KBE) graft edilerek yeni bir çekirdek-kabuk parçaçığı (NS+KBE) sentezlemiştir. Yazarlar, bu yeni sentezin çimento hamurunun rötresine ve basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, NS, KBE ve NS+KBE katkısı içeren 3 farklı seri karışım hazırlamışlardır. Deney sonuçlarına göre NS+KBE katkı kullanımı karışımların özellikle ileri yaşlardaki dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Çimento hamurunun otojen rötresini önemli ölçüde arttıran geleneksel NS'den farklı olarak NS+KBE katkısı çimento hamurunun otojen rötresini belirgin bir şekilde etkilemediği yazarlar tarafından beyan edilmiştir.

Diğer bir çalışmada Bloom ve Bentur [8] yüksek ve normal dayanımlı beton karışımlarında kuruma-büzülme davranışını incelemiştir. Bu amaçla düşük ve yüksek su/çimento oranına sahip 2 seri beton karışımı hazırlamıştır. Yazarlar, beton karışımının dayanımı arttıkça betonda oluşan içsel gerilme miktarının arttığını iddia etmiştir.

Wehbe ve Ghahremaninezhad [9] yaptığı bir çalışmada, süper emici polimerlerin (SAP) ve kuruma-büzülme engelleyici (KBE) katkıların çimentolu sistemlerin otojen rötresine ve mikro yapısına etkisini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre çimento hamurunda KBE katkı kullanımının SAP emilimini azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca KBE katkı ve SAP'lerin birlikte kullanıldığı çimento hamuru karışımlarının sadece SAP içeren hamur karışımlarına göre özellikle erken yaşlarda daha fazla büzülme sergilediği belirtilmiştir.

Lopez [10] yaptığı çalışmalarda, yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı hafif betonların sünme ve rötresini araştırmıştır. Hafif betonun sünmesinin normal betona göre daha az ve rötresinin ise daha fazla olduğu sonucuna varmıştır.

Zuo [11] ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada su azaltıcı fonksiyonu olan yeni bir polimer tipi KBE katkının çalışma mekanizmasını araştırmıştır. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla geleneksel KBE katkı ve yeni nesil polimer tipli KBE katkı içeren karışımlar hazırlamıştır. Deney sonuçlarına göre, erken yaşlarda genleşme periyoduna sahip olan poli-ether tipi geleneksel KBE katkı içeren karışımların aksine polimer tipi KBE katkı içeren karışımlarda daha yavaş ve monoton bir büzülme gelişimi gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Folliard ve Berke [4] ile Ruacho vd. [12] tarafından yapılan çalışmalarda, KBE katkı kullanımının hem normal hem de yüksek dayanımlı betonların geçirimsizliği ve çatlak oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu araştırmalarda söz konusu katkı oranı bağlayıcı ağırlığının %1.5'i olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre KBE katkı kullanımının geçirimsizliği azalttığı ve çatlak oluşumunu engellediği tespit edilmiştir.

Deboodt [13] ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, harç karışımlarının otojen rötresini ve beton prizmaların kuruma-büzülme davranışını incelemiştir. Tüm karışımlarda ince hafif agregalar kullanılmıştır. Kontrol karışımına ilaveten, agreganın nem durumu ve KBE katkı kullanımına bağlı olarak 3 farklı seri karışım hazırlamıştır. 1. seride, ince hafif agregalar önceden ıslatılarak kullanılmıştır. 2. seride, KBE katkı karışıma ilave edilmiştir. 3. seride ise KBE katkı ve önceden ıslatılmış ince hafif agregalar kombinasyonu olan karışım üretilmiştir. Deney sonuçlarına göre, KBE katkı ve önceden ıslatılmış ince hafif agregaların kombinasyonu olan karışımın otojen rötreyi azaltmada en etkili karışım olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca söz konusu karışımın kontrol karışımına kıyasla %84 daha az büzülme davranışı gösterdiği tespit edilmiştir.

Rongbing ve Jian [14] ile Quangphu vd. [15] tarafından yapılan çalışmalarda, farklı oranlarda KBE katkı kullanılarak üretilen betonların kuruma büzülme davranışları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. KBE katkı kullanım oranı arttıkça betonların çatlama miktarlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca söz konusu katkı kullanımı betonların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir ve katkı kullanım oranı artışı ile birlikte betonların mekanik özelliklerinin zayıfladığı belirlenmiştir.

Tioua [16] ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, hurma ağacı lifi (HAL) ve KBE katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarında nihai ve erken yaş büzülme davranışına etkisini incelemiştir. Bu amaçla toplam hacmin %0.1 ve %0.2'si HAL ve çimento ağırlığının %2'si oranında KBE katkı kullanılarak 14 farklı KYB karışımı hazırlamıştır. Deney sonuçlarına göre, HAL'nin kuru-ıslak çevrimlerine maruz kalan KYB karışımlarının büzülme davranışına KBE katkıyla benzer etki göstermiştir. Yazarlar, HAL'nin KYB karışımlarının erken yaş kuruma-büzülmesini ve

çatlama riskini azalttığından kaynaklandığını öne sürmüştür.

Zhang [17] yaptığı çalışmalarda, genleştirilmiş kil agregası kullanılan bir tür hafif betonun kuru kür koşullarında ilk 6 aylık rötresinin normal betonunkinden daha az 1 yıllık rötresinin ise daha fazla olduğu sonucuna varmıştır.

Yoo [18] ve arkadaşları yaptığı bir çalışmada, ard-germeli yüksek dayanımlı betonların çatlama potansiyelini KBE katkı kullanarak azaltmayı hedeflemiştir. Bu amaçla, KBE katkı içermeyen kontrol karışımına ilaveten çimento ağırlığının %1 ve %2'si oranında KBE katkı kullanılarak farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Deney sonuçlarına göre, ard-germeli yüksek dayanımlı betonlarda KBE katkı kullanımı kontrol karışımına kıyasla 28 gün sonunda daha yüksek basınç ve çekme dayanımı, daha düşük büzülme gerilmesi ve gecikmiş büzülme çatlakları gösterdiği ifade edilmiştir. Yazarlar, ard-germeli yüksek dayanımlı betonlarda çalışma kapsamındaki özellikler açısından en uygun KBE katkı kullanım oranının %2 olduğunu iddia etmişlerdir.

Wang vd. [19] ile Yoo vd. [20] yaptıkları çalışmalarda, büzülme engelleyici katkı kullanımının hem normal hem de yüksek dayanımlı lifli betonların mekanik özellikleri (basınç, çekme ve eğilme dayanımı) üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yoo vd. katkı kullanımının betonların basınç, çekme ve eğilme dayanımlarını azalttığını tespit ederken, Wang vd. ise katkı kullanımının betonların basınç ve eğilme dayanımlarını arttırdığını ifade etmişlerdir.

Gagné [21] benzer diğer bir çalışmada, çimentolu sistemlerin otojen büzülmesini incelemiştir. Bu amaçla, ürettiği karışımlarda hamur fazı hacmini arttıran Cao bazlı genleştirici bir etken kullanmıştır. Yazarlar, söz konusu yöntemi kullanarak karışımlarda otojen büzülmenin azaldığını beyan etmiştir.

Hafif agregalı nem durumunun beton karışımlarının kuruma büzülmesine etkisi Mardani [22] ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Bu amaçla, tamamen kuru, hava kurusu ve suya doymuş yüzey olmak üzere 3 farklı nem durumuna sahip hafif pomza agregası kullanarak beton karışımları hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda çökme ve yayılma değeri sabit tutulmuştur. Yazarlar, agreganın kuru doymuş yüzey kullanılması durumunda beton karışımlarının kuruma büzülmesinin azalmasına neden olduğunu ifade etmiştir. Söz konusu bu

olumlu etkinin kuru doymuş yüzey agregaların içsel kütleme görevi yaptığından dolayı olduğunu açıklamıştır. Benzer sonuçlar Aitcin [23] tarafından da iddia edilmiştir.

Günümüzde mevcut olan birçok farklı markaya ait değişik KBE katkılarından su azaltıcı katkı ile uyum gösteren, kuruma büzülme ve mekanik özellikleri olumlu etkileyen KBE katkının belirlenmesi çok önemli bir husustur. Bilindiği gibi çimento-katkı uyumsuzluğuna sebebiyet veren ya da kuruma büzülmede pek verim alınmayan birçok KBE katkı da mevcuttur. Bu çalışmada, 4 farklı fabrika ürünü olan toz ve sıvı halinde olmak üzere 9 adet ticari KBE katkının, harç karışımlarının kuruma büzülmesine, su emmesine ve dayanımına etkisi ve kullanılan su azaltıcı katkı ile uyumu araştırılmıştır. Bu kapsamda, tüm harç karışımlarında, S/Ç oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma miktarı sırasıyla, 0.485, 2.75 ve 230±20 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerlerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen tüm harçların basınç dayanımları, yayılma ve su emme miktarları belirlenmiş olup, kuruma-büzülme değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [24] standardına uygun CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu, agregası olarak TS EN 196-1 [25] standardına uygun standart kum kullanılmıştır. Üretici firma tarafından temin edilen çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi, TS EN 1097-6 [26] standardına uygun sırasıyla, 2.72 ve %0.7 olarak elde edilmiştir. Standart kumun tane boyu dağılımı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun Kimyasal Bileşimi, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Chemical Compound, Physical and Mechanical Properties Of Cement)

Oksit (%)	Çimento	Fiziksel özellikleri	
SiO ₂	18.86	Özgül ağırlık	3.15
Al ₂ O ₃	5.71	Mekanik özellikleri	
Fe ₂ O ₃	3.09	1-günlük	14.7
CaO	62.70	Basınç dayanımı (MPa)	2-günlük 26.80
MgO	1.16	7-dünlük	49.80
SO ₃	2.39	28-günlük	58.5
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	0.92	İncelik	
Cl ⁻	0.01	Özgül yüzey (Blaine, cm ² /g)	3530
Çözünmeyen kalıntı	0.32	0.045 mm elekte kalıntı (%)	7.6
Kızdırma kaybı	3.20		
Serbest CaO	1.26		

KBE katkıların harç karışımlarının özelliklerine etkisini incelemek amacı ile 4 farklı firmanın ticari ürünü olan toplamda 9 adet KBE katkı temin edilmiştir. KBE katkı içeren karışımlarda, KBE katkı kullanım oranı çimento ağırlığının %2'si olarak sabit tutulmuştur. Böylece KBE katkılı ve katkısız toplamda 10 seri harç karışımı üretilmiştir.

Tablo 2. Standart Kumun Tane Boyu Dağılımı (Grain Size Distribution of Standart Sand)

Kare Göz Açıklığı	Kalan (%)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
2.00	0	0
1.60	4.32	7±5
1.00	33.98	33±5
0.50	67.11	67±5
0.16	86.85	87±5
0.08	99.83	99±5

Harç karışımları, ASTM C109 [27] standardına uygun olacak şekilde hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda S/Ç oranı, kum/çimento oranı ve yayılma değeri sırasıyla, 0.485, 2.75 ve 230±20 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerini sağlamak için üretici firma tarafından temin edilen, tek tip polikarboksilat-eter esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Harç karışımları homojen olarak Hobart mikserinde

hazırlanmıştır. Harç karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Harç Karışımlarının Üretimde Kullanılan Malzeme Oranı ve Yayılma Değeri (Material Rate and Flow Value of Mortar Mixture)

Numune Adı	Çimento	Su	Kum	KBE Katkı	SA*	Yayılma (cm)
Kontrol	1	0.485	2.7	0	0.003	23
A	1	0.485	2.7	0.02	0.003	24
B	1	0.485	2.7	0.02	0.003	23
C	1	0.485	2.7	0.02	0	23
D	1	0.485	2.7	0.02	0.004	24
E	1	0.485	2.7	0.02	0.004	22
F	1	0.485	2.7	0.02	0.001	23
G	1	0.485	2.7	0.02	0.002	23
H	1	0.485	2.7	0.02	0.002	22
I	1	0.485	2.7	0.02	0.002	24

*SA; su azaltıcı katkı

Harç karışımlarının yayılma değerleri ASTM C1437 [28] standardına uygun olacak şekilde ölçülmüştür. Söz konusu karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı 50 mm'lik küp numuneler üzerinde ASTM C109 [27] standardına göre belirlenmiştir. Ayrıca üretilen harç karışımlarının 28 günlük su emme oranları ASTM C642-97 [29] standardına uygun olarak elde edilmiştir. Temin edilen katkılardan, D-E-F ile adlandırılan katkılar toz halinde diğerleri ise sıvı halindedir. Bunlara ilaveten karışımların kuruma-büzülme davranışlarını incelemek amacı ile her seri için üçer adet 25x25x285 mm prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 48 saat boyunca sıcaklığı 20°C suda kürlenmiştir. Daha sonra kür havuzundan çıkarılıp sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %55 olan bir odada bekletilmiştir. Bu ortamda prizmatik numunelerin boy değişimi Denklem 1' de gösterildiği gibi ASTM C 596-01 [30]'e göre hesaplanmıştır.

$$S = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada, S numunenin büzülme yüzdesini, L₁ kür havuzundan çıkarıldıktan sonra başlangıç ölçüm değerini, L geçen günlere göre periyodik ölçüm değerini, L₀ efektif ölçüm boyunu ifade etmektedir. Harç karışımlarının kuruma büzülme ölçümüne ait görsel Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Harç karışımlarının kuruma-büzülme ölçümü (Drying-shrinkage measurement of mortar mixture)

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME (TEST RESULTS AND EVALUATION)

3.1. Taze Hal Özellikleri (Fresh State Properties)

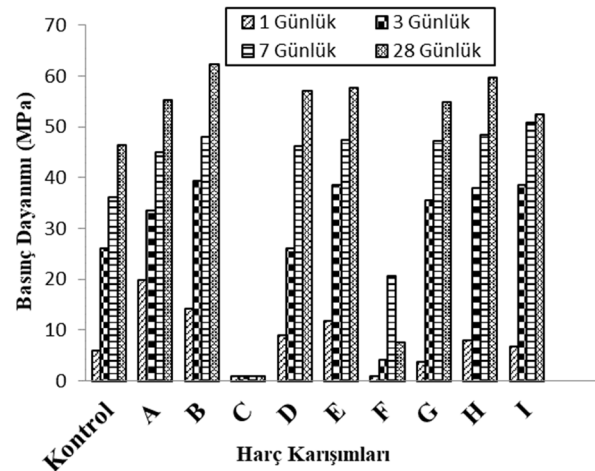
3.1.1. Yayılma Değeri (Flow Value)

Harç karışımlarının yayılma miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi tüm harç karışımlarında yayılma değeri 230 ± 20 mm olarak sabit tutulmuştur. KBE katkı içermeyen kontrol karışımında hedef yayılma değerini sağlamak için çimento ağırlığının %0.3'ü kadar su azaltıcı katkı kullanılmıştır. A ve B karışımlarında da söz konusu yayılma değerini sağlamak için aynı miktarda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. G, H ve I karışımlarında söz konusu su azaltıcı katkı miktarı %0.1 olmuştur. D ve E karışımlarında bu değer kontrol karışımının daha üstünde bir değer olarak (%0.4) tespit edilmiştir. Ancak, C ve F karışımlarında hedef yayılmayı sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi azalmıştır. Hatta C karışımında su azaltıcı katkı kullanılmadan 230 mm yayılma değeri gözlemlenmiştir. Söz konusu C ve F katkıları, üretici firma beyanına göre hava sürüklemek suretiyle karışımların boşluk yapısını değiştirerek kuruma-büzülme davranışını olumlu etkilemektedir. Söz konusu bu KBE katkıları kullanarak karışımların işlenebilirliğinin olumlu etkilenmesi bu katkıların hava sürükleme özelliğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, bahsi geçen C ve F karışımları su azaltıcı katkı içermemesine veya

çok az miktarda su azaltıcı katkı içermesine rağmen sırasıyla 7 ve 3 gün boyunca priz almamıştır. Söz konusu karışımlarda kullanılan KBE katkı-çimento arasında bir uyumsuzluk oluşumu tespit edilmiştir. D, E ve F katkıları karışıma toz halinde eklenmiştir. D ve E karışımlarında istenilen yayılma değerini sağlamak için katkı gereksinimi kontrol karışımına kıyasla artış göstermiştir.

3.2. Basınç Dayanımı (Compressive Strength)

Harç karışımlarının basınç dayanımı sonuçları Şekil 2'de özetlenmiştir. Her değer 3 ölçümün ortalamasını ifade etmektedir. KBE katkı kullanımından bağımsız olarak harç karışımlarının basınç dayanımı zamanla artmıştır. KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının hem erken hem de ileri yaş dayanımları genel olarak olumlu etkilenmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan KBE katkı, üretici firma beyanına göre düşük viskozite özelliği sayesinde yüzey gerilmelerini azaltarak mikro çatlak oluşumunun azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple de karışımların dayanımının artmasına neden olmuştur. Ancak, C ve F karışımları sırasıyla 7 ve 3 gün boyunca priz almadıkları için karışımların dayanım değeri ölçülemedi. F karışımı ise diğer karışımların çok daha altında bir dayanım göstermiştir. Toz halinde olan D ve E KBE katkıları içeren karışımlar erken yaş dayanımlarında kontrol karışımının altında ancak 28 gün sonunda dayanım açısından kontrol karışımına benzer bir davranış göstermiştir.

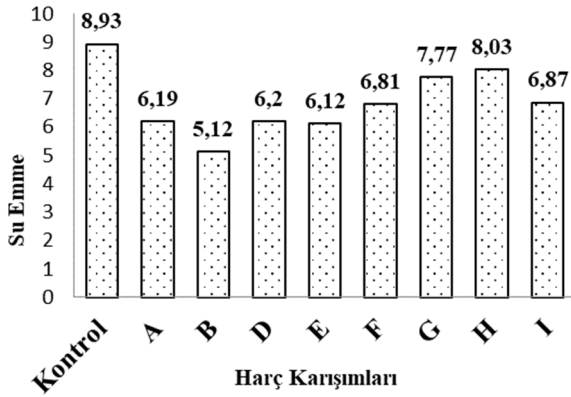


Şekil 2. Harç Karışımlarının Basınç Dayanımları (MPa) (Compressive Strength of Mortar Mixture)

3.3. Su Emme (Water Absorption)

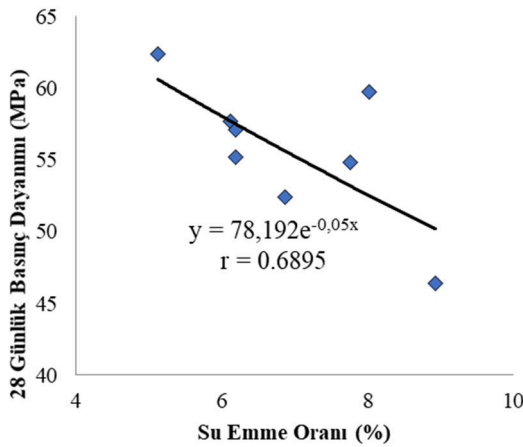
Harç karışımlarının 28 günlük su emme oranı Şekil 3'te gösterilmektedir. Her değer 3 ölçümün

ortalamasını ifade etmektedir. C karışımı priz almadığından su emme ölçümleri alınamamıştır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi, KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının su emme oranı kontrol karışımına göre azaltmıştır. En düşük su emme oranı B karışımında gözlemlenmiştir. Söz konusu karışımın geçirgenliği kontrol karışımına kıyasla %43 daha az olmuştur. Bu karışım basınç dayanımı açısından da en başarılı karışım olarak tespit edilmiştir. KBE katkı kullanımı ile karışımların geçirgenliğinin azalması, yüzey gerilmelerinin azalması sonucu mikro çatlak oluşumunun daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Harç Karışımlarının Su Emme Oranı (Water Absorption of Mortar Mixture)

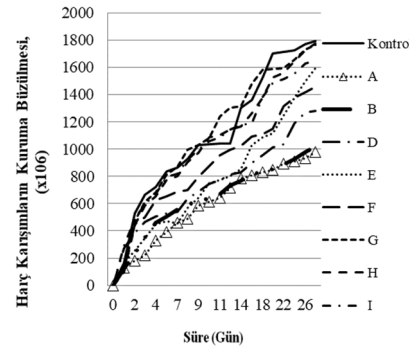
Harç karışımlarının 28 günlük basınç dayanımı ve su emme ilişkisi Şekil 4'te gösterilmiştir. Karışımların basınç dayanımı ve su emme oranı arasında zayıf bir üstel ilişkinin mevcut olduğu Şekil 4'den de anlaşılmaktadır.



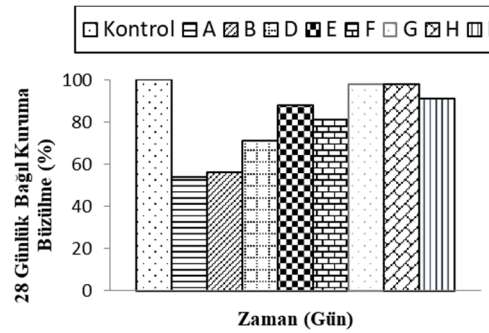
Şekil 4. Harç Karışımlarının 28 Günlük Basınç Dayanımı ve Su Emme Oranı Arasındaki İlişki (Relation Between 28-day Compressive Strength and Water Absorption Capacity of Mortar Mixture)

3.4 Kuruma-Büzülme (Drying-Shrinkage)

Harç karışımlarının kuruma-büzülme ölçüm sonuçları ve bağıl büzülme değerleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Her değer 3 ölçüm ortalamasını ifade etmektedir. C karışımı 7 gün boyunca priz almadığı için kuruma-büzülme ölçümleri alınamamıştır. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, KBE katkı kullanımından bağımsız olarak karışımların ilk günlerde büzülme artışı şiddeti yüksek iken zamanla büzülme artışı şiddeti azalmıştır. KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının büzülme değerleri kontrol karışımının altında bir değer olmuştur. Ancak G, H ve I karışımları büzülme davranışı açısından kontrol karışımına benzer bir davranış göstererek başarısız bir sonuç ortaya koymuştur. Bilindiği gibi, çimentolu sistemlerde su kaybı sonucu büzülme olayı ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla karışım geçirgenliği büzülme davranışını ciddi mertebede etkilemektedir. Tüm karışımlar arasında en düşük su emme oranına sahip olan B karışımının kuruma-büzülme davranışı açısından diğer karışımlara kıyasla, en başarılı karışım olduğu deney sonuçlarından da görülmektedir. 28 gün sonunda söz konusu karışımın büzülme miktarı kontrol karışımına kıyasla %43 daha az olmuştur.

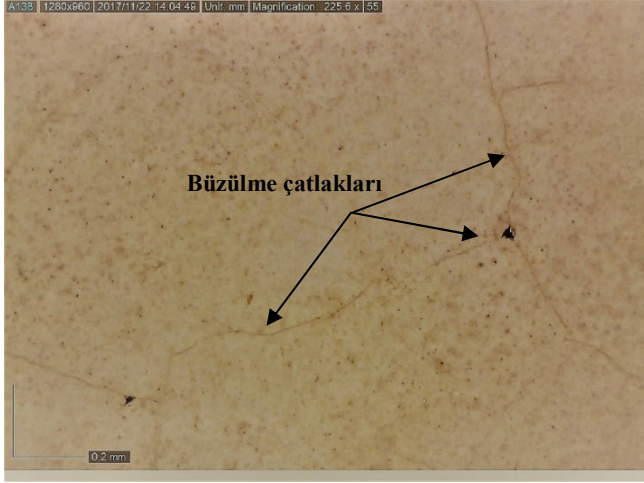


Şekil 5. Harç Karışımlarının Kuruma Büzülme Değerleri (Drying-Shrinkage Values of Mortar Mixture)

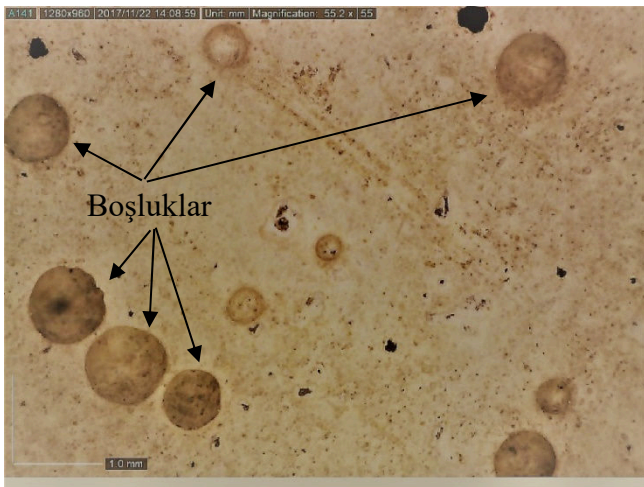


Şekil 6. Harç Karışımlarının 28 Günlük Bağıl Kuruma Büzülme Değerleri (28-day Relative Drying-Shrinkage Values of Mortar Mixture)

Bunlara ilaveten, harç karışımlarında kuruma-büzülme döngü sonrası çatlak oluşumu, mikroyapı analizi gerçekleştirilerek gözlemlenmiştir. KBE katkı içeren harç karışımlarının yüzeyinde herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Burada, kuruma-büzülme davranışı açısından en iyi performansı gösteren A karışımına ait mikroskopik görüntü Şekil 7'de gösterilmiştir. KBE katkı içermeyen kontrol karışımının mikroskopik görüntüsü Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, kuruma-büzülme döngü sonrası numune yüzeyinde büzülme çatlakları oluşmuştur.

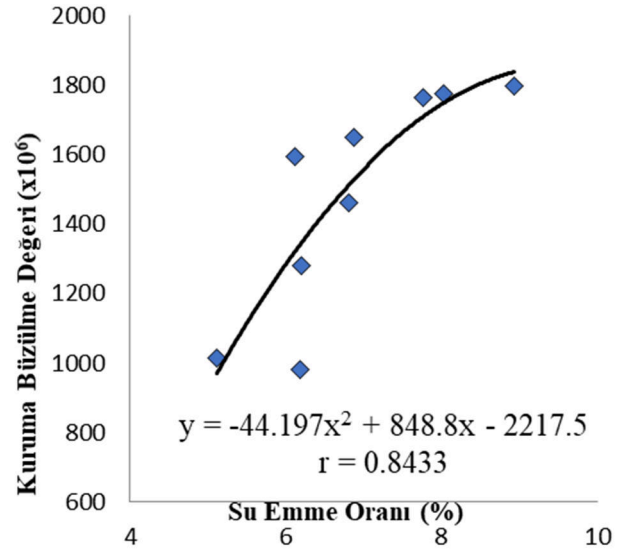


Şekil 7. KBE katkı içeren A karışımının mikroskopik görüntüsü (Microscopic image of A mixture containing SRA)



Şekil 8. KBE katkı içermeyen kontrol karışımının mikroskopik görüntüsü (Microscopic image of control mixture containing no SRA)

Harç karışımlarının su emme oranı ve 28 gün sonundaki büzülme değerleri arasındaki ilişki Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi harç karışımlarının su emme ve büzülme değerleri arasında nispeten kuvvetli polinomsal bir ilişki mevcuttur.



Şekil 9. Harç Karışımlarının 28 Günlük Kuruma Büzülme Değerleri ve Su Emme Oranı Arasındaki İlişki (Relation Between 28-day Drying-Shrinkage Value and Water Absorption Capacity of Mortar Mixture)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Dokuz farklı ticari büzülme engelleyici katkının, harç karışımlarının taze hal özelliklerine, kuruma-büzülmesine, basınç dayanımına etkisinin incelendiği bu çalışmada yapılan deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Büzülme engelleyici katkı kullanımıyla harç karışımlarının taze hal özellikleri olumlu etkilenmiştir. Ancak, biri toz biri sıvı olmak üzere 2 adet kuruma büzülme engelleyici katkı kullanımı harç karışımlarının priz almamasına neden olmuştur. Söz konusu uyumsuz bu iki katkı harç karışımlarında hedef yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimini azaltmıştır.

Büzülme engelleyici katkı kullanımı sonucu harç karışımlarının basınç dayanımı ve geçirgenlik özelliği genel olarak olumlu etkilenmiştir.

Kuruma-büzülme engelleyici katkı kullanımı ile harç karışımlarının büzülme değerleri kontrol karışımının altında bir değer olarak ölçülmüştür. Kontrol karışımına kıyasla büzülme açısından etkili olan KBE katkı harç karışımlarının büzülme miktarında %45'lik bir düşüşe, en verimsiz KBE katkı ise %10'luk bir düşüşe sebebiyet vermiştir.

Bu çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda, karışımların su emme ve büzülme değerleri arasında nispeten kuvvetli polinomsal bir ilişkinin mevcut olduğu ancak su emme oranı ve dayanım değerleri arasında ise zayıf bir üstel ilişkinin olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan 9 adet KBE katkı içinde, sıvı halinde olan KBE katkıları, toz olan katkılarından daha başarılı olmuştur.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar, standart kum ve çimento temini için Bursa Beton A.Ş.'ne, su azaltıcı katkı ve büzülme engelleyici katkı temini için Polisan A.Ş.'ne ve büzülme engelleyici katkı temini için BASF'ye teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] D.P., Bentz, M.R., Geiker, K.K., Hansen, "Shrinkage-Reducing Admixtures and Early-Age Desiccation in Cement Pastes and Mortars", *Cement and Concrete Research*, No. 31, pp. 1075-1085, 2001.
- [2] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık*, 1st ed. Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
- [3] P.K., Mehta, P.J.M., Monteiro "Concrete: Microstructure, Properties and Materials", 3th ed., McGraw-Hill, 2006.
- [4] J., Saliba, E., Roziere, F., Grondin, A., Loukili, "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Plastic and Long-Term Shrinkage", *Cement and Concrete Composites*, No. 33, pp. 209-217, 2011.
- [5] K. J. Folliard and N. S. Berke, "Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture," *Cement and Concrete Research*, vol. 27, no. 9, pp. 1357-1364, 1997.
- [6] T. Kadioğlu, "Rötre Azaltıcı Katkı Maddeleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [7] Gu, Y., Wei, Z., Ran, Q., Shu, X., Lv, K., & Liu, J., "Characterizing cement paste containing SRA modified nanoSiO₂ and evaluating its strength development and shrinkage behavior", *Cement and Concrete Composites*, 75, 30-37, 2017.
- [8] R., Bloom, and A., Bentur, 1992, Free and restrained shrinkage of normal and high strength concretes, *ACI Materials Journal*, 92, 211-217.
- [9] Wehbe, Y., Ghahremaninezhad, A., "Combined effect of shrinkage reducing admixtures (SRA) and superabsorbent polymers (SAP) on the autogenous shrinkage, hydration and properties of cementitious materials", *Construction and Building Materials*, 138, 151-162, 2017.
- [10] M., Lopez, L.F., Kahn, K.E., Kurtis, 2004, Creep and shrinkage of high-performance lightweight concrete, *ACI Materials Journal*, 101, 391-399.
- [11] Zuo, W., Feng, P., Zhong, P., Tian, Q., Gao, N., Wang, Y., ... & Miao, C., "Effects of novel polymer-type shrinkage-reducing admixture on early age autogenous deformation of cement pastes", *Cement and Concrete Research*, 100, 413-422, 2017.
- [12] J.M., Ruacho, R., Gettu, A., Aguado, "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on the Reduction of Plastic Shrinkage Cracking in Concrete", *Cement and Concrete Research*, No. 39, pp. 141-146, 2009.
- [13] Deboodt, T., Fu, T., & Ideker, J. H., "Evaluation of FLWA and SRAs on autogenous deformation and long-term drying shrinkage of high performance concrete", *Construction and Building Materials*, 119, 53-60, 2016.
- [14] B., Rongbing, and S., Jian, "Synthesis and Evaluation of Shrinkage-Reducing Admixture for Cementitious Materials", *Cement and Concrete Research*, No. 35, pp.445-448, 2005.
- [15] N., Quangphu, J., Linhua, L., Jiaping, T., Qian, D., Tienquan, "Influence of Shrinkage-Reducing Admixture on Drying Shrinkage and mechanical Properties of High-Performance Concrete", *Water Science and Engineering*, No. 1, pp. 67-74, 2008.
- [16] Tioua, T., Kriker, A., Barluenga, G., & Palomar, I., "Influence of date palm fiber and shrinkage reducing admixture on self-compacting concrete performance at early age in hot-dry environment" *Construction and Building Materials*, 154, 721-733, 2017.
- [17] M-H., Zhang, L., Li, P., Paramasivam, 2005, "Shrinkage of high-strength lightweight aggregate concrete exposed to dry environment", *ACI Materials Journal*, 102, 86- 92.

- [18] Yoo, D. Y., Ryu, G. S., Yuan, T., & Koh, K. T. "Mitigating shrinkage cracking in posttensioning grout using shrinkage-reducing admixture", *Cement and Concrete Composites*, 81, 97-108, 2017.
- [19] J.Y., Wang, N., Banthia, M.H., Zhang, "Effect of Shrinkage Reducing Admixture on Flexural Behaviors of Fiber Reinforced Cementitious Composites", *Cement and Concrete Composites*, No. 34, pp. 443-450, 2012.
- [20] D.Y., Yoo, A.T., Kang, J.H., Lee, Y.S., Yoon, "Effect of Shrinkage Reducing Admixture on Tensile and Flexural Behaviors of UHPFRC Considering Fiber Distribution Characteristics", *Cement and Concrete Research*, No. 54, pp. 180-190, 2013.
- [21] R., Gagne, *Science and Technology of Concrete Admixtures*, Chapter 22, 2016.
- [22] A., Mardani, E., Yoğurtçu, Ö., Andiç, "Water Transport of Lightweight Concrete with Different Aggregate Saturation Levels", *ACI Materials Journal*, 112, 681-692.
- [23] P.C., Aİtcin, *High Performance Concrete*, E&FN SPON, New York, 2004.
- [24] TS EN 197-1, Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *TSE*, Ankara, 2012.
- [25] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun Ve Su Emme Oranının Tayini, *TSE*, Ankara, 2013.
- [26] TS EN 196-1, Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini, *TSE*, Ankara, 2016.
- [27] C1437-15, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2017.
- [28] ASTM C642-97, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, , *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2017.
- [29] ASTM C596-01, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, , *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2017.
- [30] ASTM C109-16, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2017.