

KURUMA-BÜZÜLME ENGELLEYİCİ KATKILARIN HARÇLARIN KURUMA-BÜZÜLMESİNE ETKİSİ VE SU AZALTICI KATKI İLE UYUMU*

Ali Mardani-Aghabaglou¹, Muhammet Gökhan Altun²,
Süleyman Özen³, Kambiz Ramyar⁴

Özet

Bu çalışmada, kuruma-büzülme engelleyici (KBE) katkının harç karışımlarının kuruma-büzülmesine etkisi ve su azaltıcı katkı ile uyumu incelenmiştir. Bu amaçla, farklı fabrika ürünü iki ticari KBE katkı ve tek tip CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. KBE katkı içermeyen kontrol karışımına çimento kütlesinin %1'i kadar KBE katkı ilave edilerek farklı çimento hamuru ve harç karışımları üretilmiştir. Tüm harç karışımlarında su/çimento, kum/bağlayıcı kütle oranları ve yayılma değerleri sırasıyla, 0,485, 2,75 ve 230±20 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenen yayılma değerlerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Harç karışımlarının kuruma büzülmesi ve 1, 3, 7 ile 28 günlük basınç dayanımı sırasıyla, ASTM C 596-01 ve ASTM C 109-01 Standardı'na göre belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, kuruma büzülme engelleyici ve su azaltıcı katkıların uyumunu incelemek amacı ile çimento hamurlarının Marsh Hunisi akış süreleri ve mini-yayılmalı, harç karışımlarının ise zamana bağlı yayılması incelenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, KBE katkı, karışımların taze hâl ve nihai dayanımları üzerinde olumlu etki oluşturmuş ve kullanılan su azaltıcı katkı ile uyumsuzluk göstermemiştir. KBE kat-

kı çimento kütlesinin %1'i kadar kullanıldığında karışımların büzülmeleri kontrol karışımınınkinden daha yüksek olmuştur. KBE katkı oranının %2'ye kadar arttırılmasına rağmen, karışımların büzülme davranışlarında bir iyileşme gözlemlenmemiştir.

Effect of Shrinkage Reducing Admixtures on Drying Shrinkage of Mortars and Their Compatibility with Water Reducing Admixture

In this study, the effect of shrinkage-reducing admixtures (SRA) on drying shrinkage of mortars and their compatibility with a water reducing admixture were investigated. For this purpose, two commercial SRA from different factories and a CEM I 42.5 R type cement were used. In addition to the control mixture without any SRA, different cement paste and mortar mixtures were produced with SRA additions of 1% by mass of cement. In all mortar mixtures, water/cement, sand/binder mass ratios and flow value were kept constant at 0.485, 2.75 and 230 mm ± 20 mm, respectively.

1. GİRİŞ

Betonlarda sıkça rastlanan ve betonun kalıcılığını doğrudan etkileyen çatlaklar çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu çatlaklar başta çekme dayanımı olmak üzere betonun mekanik özelliklerini zayıflatmakta ve sülfat etkisi, alkali silis reaksiyonu, karbonatlaşma, donatı korozyonu vb. iç ve dış etkilere maruz kalma riskini arttırarak kalıcılığına zarar vermektedir [1].

Çatlak oluşumunun önemli sebeplerinden biri kuruma büzülmesidir. Kuruma büzülmesi, sertleşmiş betonun, dış yüklemeye olsun ya da olmasın, boşluklarda ki suyun bünyesinden uzaklaşması ve dolayısıyla hidrasyon ürünlerinin birbirine yaklaşması sonucu meydana gelen hacimsel şekil değiştirmedir [2]. Bu

şekil değiştirme, beton karışım oranları, özellikle su/çimento oranı, kimyasal bileşimi, agrega tane büyüklüğü ve çeşidi, ortam sıcaklığı ve nemi, rüzgâr hızı gibi parametrelerden etkilenebilir [3].

1) alimardani@uludag.edu.tr, Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa 2) gokhan.altun@bursa.bel.tr, Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa 3) suleyman.ozen@btu.edu.tr, Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa 4) kambiz.ramyar@ege.edu.tr, Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

Kuruma büzülmesi sonucu meydana gelen çatlakların önüne geçilmesi betonun kullanım ömrü açısından büyük önem arz etmekte ve bu konu ile ilgili birçok yöntem bulunmaktadır. Su/ imento oranının azaltılması, mineral ve KBE katkılarının kullanılması bu yöntemler arasındadır [4-5]. Betona katılan karışım suyu miktarını azaltmak ve mineral katkı ilave etmek her ne kadar büzülme çatlaklarını engellese de betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bu durum su azaltıcı katkıların kullanılmasını zorunlu h le getirmektedir. Su azaltıcı katkının (polikarboksilat esaslı s perakışkanlaştırıcının)  imento tanecikleri üzerinde adsorbe olması sonucu oluşan elektrostatik ve sterik itme kuvvetleri, tanecikler arasındaki sürtünmeyi azaltarak ve topaklaşmayı engelleyerek daha az su ile daha akıcı bir kıvam sağlamaktadır [6].

Büzülme çatlaklarını önlemek amacı ile son yıllarda tercih edilen bir diğer yöntem ise KBE katkılarının kullanılmasıdır. Bu katkılar ilk olarak 1980'li yıllarda Japonya'da üretilmiştir. Günümüzde ise birçok farklı ticari KBE katkı geliştirilmiştir. Düşük viskoziteye sahip bu katkılarının harç ve beton karışımına ilave edilmesi sonucu karışımın yüzey gerilmesi azalarak kontrol altına alınabilmekte ve çatlak oluşumu engellenebilmektedir [4-7].

Folliard ve Berke [4] ile Ruacho vd. [8] tarafından yapılan çalışmalarda, KBE katkı kullanımının hem normal hem de yüksek dayanımlı betonların ge irirliili i ve çatlak oluşumu üzerindeki etkileri araştırılmış, katkı oranı bağlayıcı kütlesinin %1,5'i olarak belirlenmiştir. KBE katkı kullanımının ge irirliili i azalttığı ve çatlak oluşumunu engellediği tespit edilmiştir.

Rongbing ve Jian [9] ile Quangphu vd. [10] 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. Ancak, söz konusu katkı, betonların mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiş ve katkı kullanım oranı arttıkça bu etki daha da belirgin olmuştur.

A type of polycarboxylate-ether based high range water reducing admixture was used to provide the desired flow value. The drying shrinkage as well as 1, 3, 7 and 28-day compressive strength of mortar mixtures were determined in accordance with ASTM C596-1 and ASTM C109 / C109M-01 standards, respectively.

Besides, Marsh funnel flow time and mini-slump values of the cement pastes as well as time depended flow values of the mortar mixtures were measured in order to investigate the compatibility between water reducing and drying shrinkage inhibiting admixtures. Test results demonstrated that SRA has a positive effect on the fresh properties and strength of the mixtures, without showing any incompatibility with water-reducing admixture. Drying shrinkage of the mortar mixtures incorporating 1% SRA were higher than that of the control mixture. Increasing the SRA incorporation level to even 2% had an insignificant effect on the mortar drying shrinkage.

Wang vd. [11] ile Yoo vd. [12] yaptıkları  alışmalarda, büzülme engelleyici katkı kullanımının hem normal hem de yüksek dayanımlı lifli betonların mekanik özellikleri (basınç, çekme ve eğilme dayanımı)  zerindeki etkilerini araştırmıştır. Yoo vd. katkı kullanımının betonun basınç, çekme ve eğilme dayanımlarını azalttığını tespit ederken, Wang vd. katkı kullanımının betonların basınç ve eğilme dayanımlarını arttırdığını ifade etmiştir.

Özetle KBE katkılar, harç ve betonlarda oluşan kuruma büzülmesi çatlaklarını önlemede önemli rol oynamaktadır. Ancak bazı çalışmalarda aksi ifade edilse de genel kanı bu katkılarının betonların mekanik özelliklerini zayıflatıldığıdır. Çimentolu sistemlerin hem kuruma büzülme davranışlarını hem de mekanik özelliklerini istenen yönde etkileyen ayrıca kullanılan su azaltıcı katkı ile en iyi uyumu gösteren KBE katkının belirlenmesinin önemli bir konu olduğu yapılan çalışmalardan da anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı fabrika ürünü olan iki ticari KBE katkının, harçların kuruma-büzülmesine etkisi ve kullanılan su azaltıcı katkı ile uyumu araştırılmıştır. Bu kapsamda, tüm harç karışımında, S/  oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma miktarı sırasıyla, 0,485, 2,75 ve 230 20 mm olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca istenilen 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  ALIşMA

Bu çalışmada bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [13] Standardı'na uygun CEM I 42.5 R tipi Portland  imentosu, agrega olarak TS EN 196-1 [14] Standardı'na uygun standart kum kullanılmıştır. Üretici firmadan temin edilen çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri  izelge 1'de verilmiştir. Agreganın  zg l a ırlılı ı ve su emme kapasitesi, TS EN 1097-6 [15] Standardı'na uygun olarak sırasıyla, 2,72 ve kütlece %0,7 olarak elde edilmiştir. Standart kumun tane b y kl  u dağılımı  izelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri

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	Basınç dayanımı (MPa)	1-günlük 14,7
CaO	62,70		2-günlük 26,8
MgO	1,16		7-günlük 49,8
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 elekten kalıntı (%)	7,6
Kızdırma kaybı	3,20		
Serbest CaO	1,26		

Bir adet KBE katkı içermeyen kontrol karışımı ve çimento kütlesinin %1'i kadar farklı fabrika ürünü iki KBE katkı kullanarak toplamda 3 seri karışım üretilmiştir. Tüm karışımlarda tek tip polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır. İlk aşamada, kullanılan katkıların çimento ile uyumlu olup olmadığı çimento hamuru karışımları hazırlanarak Marsh Hunisi akış süresi ve mini-çökme deneyleri ile incelenmiştir. Önceki çalışmalarda [16] önerilen 0,35-0,40 S/Ç oranları dikkate alınarak bu çalışmada karışımların S/Ç oranı 0,35 olarak seçilmiştir. Tüm karışımlarda çimento ve su miktarları sabit tutulmuştur. Çimento kütlesinin %0,5'i ile %2,75'i arasında değişen oranda su azaltıcı katkı kullanılarak her seri için toplamda 8 adet hamur karışımı hazırlanmıştır. Yaklaşık 1,2 L hacimli homojen çimento hamuru karışımları karışım hazırlanmasından hemen sonra alt ucu parmakla kapatılan Marsh Hunisi içine dökülüp daha sonra parmak huni ucundan kaldırılarak 700 mL hamur boşalana kadar geçen süre ölçülmüştür. Ölçülen süre o karışımın akış süresi olarak kaydedilmiştir. Karışımlarda ayrışma oluşturan düzeye kadar aynı karışım daha fazla akışkanlaştırıcı katkı dozajıyla hazırlanarak, deney tekrar-

lanmıştır. Marsh Hunisi deneyi, hazırlanan hamur karışımının standart Marsh hunisinden geçiş süresinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır [16]. Bu deney yönteminde, akış süresinin katkı dozajıyla değişimi incelenerek “doygunluk noktası” belirlenmektedir. Çimento hamurunda akışkanlaştırıcı katkı dozajı arttıkça akış süresi azalmaktadır. Ancak, katkı dozajının belirli bir sınırın üstünde artmasıyla akış süresinde kayda değer değişim görülmemektedir. Bu katkı dozajı, katkı-çimento ikilisinde katkının doygunluk noktası olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik zararının yanında, bu dozajın üzerinde katkı kullanımı ayrışmaya neden olabilmektedir [16]. Marsh Hunisi deneyi için hazırlanan hamur karışımı mini çökme deneyinde de kullanılmıştır. Bu deneyde hazırlanan hamur karışımı düzgün bir yüzeyin merkezine konulan, alt iç çapı 38,1 mm, üst iç çapı 19 mm ve yüksekliği 57,2 mm olan kesik koni biçimli bir aparatın (alt ve üstü açık kalıbın) içine doldurulur [16, 17]. Çökme aparatı düşey olarak yavaşça kaldırılır ve yayılmanın tamamlanması için bir süre (10 s - 20 s) beklenir. Daha sonra kumpas yardımıyla birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınır ve kaydedilir.

Çizelge 2. Standart kumun tane büyüklüğü dağılımı

Kare Göz Açıklığı	Kalan (%)	Yığılımlı 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

Çalışmanın ikinci aşamasında ise harç karışımları hazırlandı. Burada da hamur karışımlarına benzer olarak KBE katkı kullanılarak 3 farklı harç karışımı ASTM C305-14 [18] Standardı'na uygun olarak hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento (S/Ç), kum/çimento oranları ve yayılma değeri sırasıyla, 0,485, 2,75 ve 230 mm $\pm$ 20 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenen yayılma değerini sağlamak için polikarboksilat-eter esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Harç karışımlarında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir. Harç karışımlarının 1 saat boyunca her 20 dakikada bir yayılma değerleri ASTM C1437 [19] Standardı'na uygun olacak şekilde ölçülmüştür. Söz konusu karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları 50 mm'lik küp numuneler üzerinde, ASTM C109-16 [20] Standardı'na göre belirlenmiştir. Bunlara ilaveten, karışımların kuruma-büzülme davranışlarını incelemek amacı ile her seri için üçer adet 25 mm x 25 mm x 285 mm prizmatik numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 48 saat boyunca 20°C sıcaklıkta suda bekletilmiştir. Daha sonra sudan çıkarılıp sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %55 olan bir odada tutulmuştur. Bu ortamda prizmatik numunelerin zaman içindeki boy değişimleri Denklem 1'de gösterildiği gibi ASTM C 596-18'e [21] göre hesaplanmıştır.

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

Burada, S numunenin büzülme yüzdesini, L_1 kür havuzundan çıkarıldıktan sonra başlangıç ölçüm değerini, L sonraki günlerde ölçüm değerlerini, L_0 etkin ölçüm boyunu ifade etmektedir.

Çizelge 3. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan malzeme kütle oranları

	K	KB1	KB2
Çimento	1	1	1
Su	0,485	0,485	0,485
Standart kum	2,75	2,75	2,75
Su azaltıcı katkı	0,004	0,0034	0,0034
KBE katkı, KBE-1	0	0,01	0
KBE katkı, KBE-2	0	0	0,01
Yayılma, mm	225	240	245

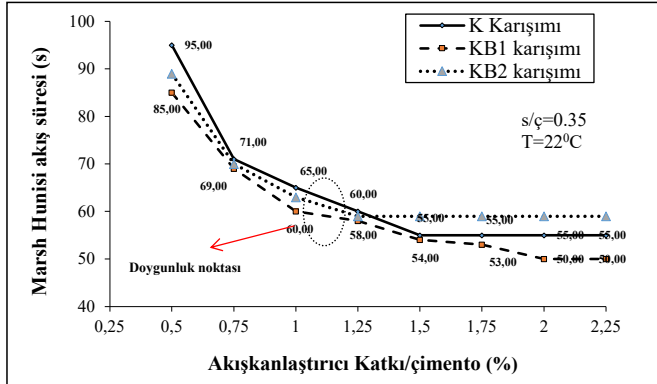
3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Taze hâl özellikleri

Hamur karışımlarının taze hâl özellikleri Çizelge 4 ve Şekil 1'de verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, KBE katkı içeriğinden bağımsız olarak, su azaltıcı katkı kullanım oranının artışıyla hamur karışımlarının akış süreleri beklenildiği gibi azalmıştır. KBE katkı kullanımı ile Marsh Hunisi akış süresinde herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır. Ancak, başlangıç akış hızında bir miktar artış (sürede kısalma) gözlemlenmiştir. Her üç karışımın su azaltıcı katkı içeriği, katkının doygunluk noktası olan, çimento kütlesinin %1'i seçilmiştir. KBE katkı kullanımı ile hamur karışımlarının mini-çökme yayılma değerleri az da olsa olumsuz etkilenmiştir. Bu olayın, viskozitesi düşük bir sıvı olan KBE katkı kullanımı ile karışımların akıcılığının artışıyla ayrılmaya daha meyilli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. KBE-2 katkılı çimento hamurunun akış süresi KBE-1 katkılı çimento hamuruna kıyasla daha yüksek olmuştur. Bu durum KBE-2 katkının KBE-1 katkıya göre daha az su azaltıcı etki oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca tüm çimento hamurlarında su azaltıcı katkı içeriğinin artışıyla karışımların sıcaklığı, kontrol karışımına kıyasla 3°C - 6°C daha düşük olmuştur. Bu durumun, kullanılan su azaltıcı katkının priz geciktirici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

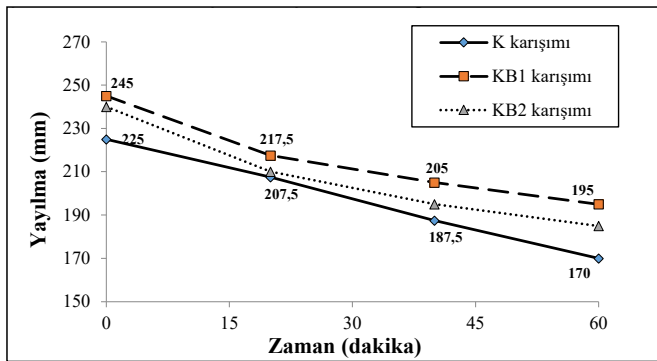
Çizelge 4. Hamur karışımlarının Marsh Hunisi akış süresi, mini-çökmesi ve sıcaklık değerleri

Katkı/çimento oranı (kütlece %)		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
Akış süresi, s	K	95	71	65	60	55	55	55	55
	KB1	85	69	60	58	54	53	50	50
	KB2	89	70	63	59	59	59	59	59
Mini-çökme, mm	K	17,2	19,0	21,4	22,0	24,0	24,0	24,4	24,0
	KB1	14,0	15,0	16,2	17,0	18,7	18,5	19,0	19,0
	KB2	14,5	17,0	17,5	18,8	19,0	18,8	19,2	19,0
Sıcaklık, °C	K	34,3	32,2	31,4	30,8	30,6	30,1	30,0	30,0
	KB1	33,0	32,0	31,6	30,8	30,5	30,3	30,0	30,0
	KB2	36,0	35,0	33,3	32,0	31,1	31,0	30,9	30,5



Şekil 1. Hamur karışımlarının akışkanlaştırıcı katkı dozajına bağlı olarak Marsh Hunisi akış süreleri

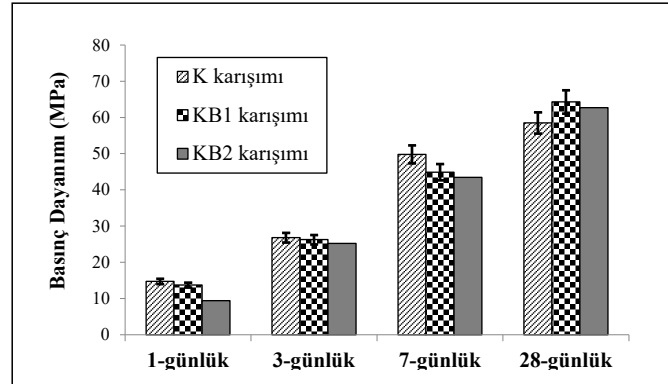
Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Beklendiği gibi harç karışımlarının yayılma değerleri zamanla azalmıştır. Ancak, yayılma değerlerindeki bu azalma KBE katkı içeren karışımlarda kontrol karışımına kıyasla bir miktar daha az olmuştur. Ayrıca, KBE katkı içeren karışımların başlangıç yayılma değerleri de kontrol karışımınıninkinden büyük olmuştur. Üretici firma beyanına göre bu çalışmada kullanılan KBE katkıları az miktarda su azaltıcı etkiye sahiptir. Burada da hamur karışımlarında olduğu gibi KBE-1 katkı içeren karışımın yayılması KBE-2 katkılı karışımıninkinden büyük olmuştur. Ölçme yapılan bir saat süre içerisinde, kıvam koruma açısından da KB1 en başarılı karışım olarak tespit edildi.



Şekil 2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimi

3.2. Basınç dayanımı

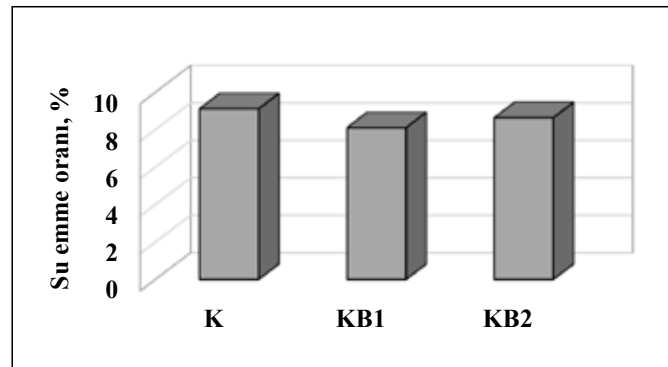
Harç karışımlarının basınç dayanım değerleri Şekil 3'te verilmiştir. KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının erken yaşlardaki basınç dayanımları olumsuz etkilenmiştir. Ancak, 28 günde söz konusu olumsuz etki ortadan kalkmıştır. Erken yaşlardaki dayanımlarda azalmanın kullanılan KBE katkının priz geciktirici özeliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Dayanımlar arasındaki fark zamanla azalmıştır. KB1 karışımının 28 günlük basınç dayanımı, kontrol karışımınıninkinden %10 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Harç karışımlarının basınç dayanımları (MPa)

3.3. Su emme oranı

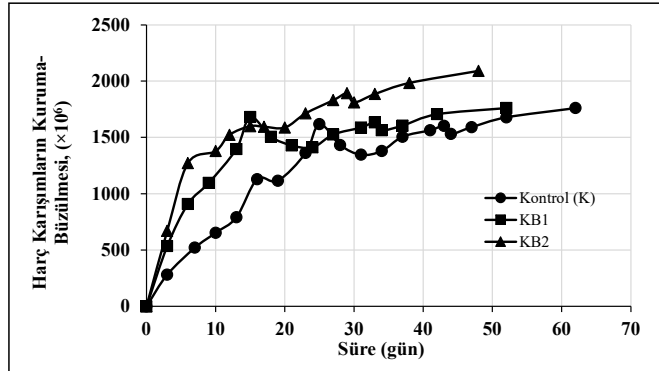
Harç karışımlarının 28-günlük su emme oranı Şekil 4'te verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi KBE katkı kullanımı ile harç karışımlarının su emme oranlarında bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. En düşük su emme oranı KB1 karışımında tespit edilmiştir.



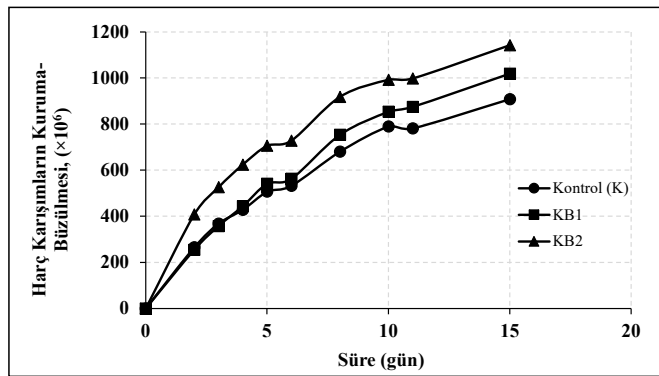
Şekil 4. Harç karışımlarının su emme oranı

3.4. Kuruma-büzülme

KBE katkı kullanım oranının büzülme davranışına etkisini incelemek amacı ile çimento kütlelerinin %1 ve %2'si olmak üzere iki farklı oranda KBE katkısı kullanılarak harç karışımları üretilmiştir. Deney sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. KBE katkı kullanım oranından bağımsız olarak kontrol karışımının kuruma-büzülmesi diğer iki karışıma kıyasla daha düşük olmuştur. KBE katkı dozajının artışıyla büzülme değerleri azalmıştır, ancak beklenen etki gözlemlenmemiştir. Dolayısıyla, büzülme davranışlarını iyileştirmek amacı ile kullanılan KBE katkıların başarısız olduğu kanısına varılmıştır. Bu çalışma, çimentolu sistemlerin büzülme davranışını inceleyen kapsamlı çalışmanın bir parçasıdır. Çalışmanın devamında, çeşitli mineral katkılar, farklı lifler ve etkili KBE katkılar kullanılarak çimentolu sistemlerin büzülme davranışları incelenecektir.



(a)



(b)

Şekil 5. Harç karışımlarının kuruma-büzülme değerleri; (a) KBE katkı içeriği çimento kütlesinin %1'i, (b) KBE katkı içeriği çimento kütlesinin %2'si

İlk 15 günlük kuruma süresinde, kuruma-büzülme engelleyici katkıli harçlar ile kontrol numuneleri yakın kuruma büzülmesi göstermiştir. Buna göre, söz konusu sürede katkıların beklenen etkinliğe sahip olmadığı anlaşılmıştır.

4. SONUÇLAR

İki farklı ticari büzülme engelleyici katkının, harçların taze hâl özellikleri, kuruma-büzülmesi ve basınç dayanımına etkisine ilaveten su azaltıcı katkı ile uyumu araştırılan bu çalışmada, yapılan deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

Büzülme engelleyici katkı kullanımı hem çimento hamuru hem harç karışımlarının taze hâl özelliklerini olumlu etkilemiştir. Kullanılan su azaltıcı katkı ile herhangi bir uyumsuzluk söz konusu olmamıştır.

Kuruma-büzülme engelleyici katkı kullanımı ile harç karışımlarının zamana bağlı yayılma kaybı kontrol karışımına kıyasla azalmış, su emme oranlarında da bir azalma söz konusu olmuştur.

Kuruma-büzülme engelleyici katkı kullanımı ile harç karışımlarının erken yaşlardaki basınç dayanımı azalmıştır. Ancak, 28 günlük basınç dayanımları kontrol karışımlarından daha yüksek olmuştur.

Kuruma-büzülme engelleyici katkı dozajının artışı ile harç karışımlarının büzülme değerleri azalmıştır. Ancak, dozajından bağımsız olarak, kuruma büzülmesi engelleyici katkıların ilk 15 günlük sürede beklenen etkinliği göstermemiştir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan malzemenin temininde ve çimento analizlerinin gerçekleşmesinde destek olan Bursa Çimento Fabrikası'na ve Bursa Beton AŞ'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Bentz, D.P., Geiker, M.R., Hansen, K.K., "Shrinkage-Reducing Admixtures and Early-Age Desiccation in Cement Pastes and Mortars", Cement and Concrete Research, No. 31, pp. 1075-1085, 2001.
2. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., "Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık", Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
3. Saliba, J., Roziere, E., Grondin, F., Loukili, A., "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Plastic and Long-Term Shrinkage", Cement and Concrete Composites, No. 33, pp. 209-217, 2011.
4. Folliard, K.J. and Berke, N.S., "Properties of High-Performance Concrete Containing Shrinkage-Reducing Admixture", Cement and Concrete Research, No. 27, pp. 1357-1364, 1997.
5. Kadioğlu, T., "Rötre Azaltıcı Katkı Maddeleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
6. Palacios, M. and Puertas, F., "Effect of Superplasticizer and Shrinkage-Reducing Admixtures on Alkali-Activated Slag Pastes and Mortars", Cement and Concrete Research, No. 35, 1358-1367, 2005.

7. Rajabipour, F., Sant, G., Weiss, J., "Interactions Between Shrinkage Reducing Admixtures (SRA) and Cement Paste's Pore Solution", Cement and Concrete Research, No. 38, pp. 606-615, 2008.
8. Ruacho, J.M., Gettu, R., Aguado, A., "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on the Reduction of Plastic Shrinkage Cracking in Concrete", Cement and Concrete Research, No. 39, pp. 141-146, 2009.
9. Rongbing, B. and Jian, S., "Synthesis and Evaluation of Shrinkage-Reducing Admixture for Cementitious Materials", Cement and Concrete Research, No. 35, pp. 445-448, 2005.
10. Quangphu, N., Linhua, J., Jiaping, L., Qian, T., Tienquan, D., "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.
11. Wang, J.Y., Banthia, N., Zhang, M.H., "Effect of Shrinkage Reducing Admixture on Flexural Behaviors of Fiber Reinforced Cementitious Composites", Cement and Concrete Composites, No. 34, pp. 443-450, 2012.
12. Yoo, D.Y., Kang, A.T., Lee, J.H., Yoon, Y.S., "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.
13. TS EN 197-1, Genel Çimentolar-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara, 2012.
14. TS EN 196-1, Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini, TSE, Ankara, 2016.
15. TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara, 2013.
16. AİTCİN, P.C., High Performance Concrete, E&FN SPON, New York, 2004.
17. Kantro, DL., "Influence of Water Reducing Admixtures on Properties of Cement Paste-A Miniature Slump Test", Cement, Concrete and Aggregates, No: 2, pp. 95-102, 1980.
18. ASTM C305-14, Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency
19. ASTM C1437-15, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.
20. ASTM C109-16, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
21. ASTM C596-18, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.