

POLİKARBOKSİLAT-ESASLI SU AZALTICI KATKININ ANYONİK MONOMER DEĞİŞİMİNİN ÇİMENTO HAMURU VE HARÇ KARIŞIMLARININ TAZE HAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Ali MARDANI-AGHABAGLOU¹, Tolga KAPTI², Süleyman ÖZEN¹,
Muhammet Gökhan ALTUN³, Ece GEVEN¹, Ali NEMATZADEH¹,
Kambiz RAMYAR⁴, Uğur Başak ÖZTÜRK²**

¹Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nilüfer-Bursa, Türkiye

²Polisan Kimya, İstanbul, Türkiye

³Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa, Türkiye

⁴Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir, Türkiye

ÖZET

Günümüzde farklı özelliklere sahip su azaltıcı katkıları üretilmektedir. Su azaltıcı katkı özellikleri çimentolu sistemlerin taze ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini ciddi mertebede etkilemektedir. Çimentolu sistemlerin özelliklerini etkileyen, polikarboksilat-esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkılardan kaynaklanan başlıca faktörler, katkının kimyasal bileşimi, molekül ağırlığı, ana zincir uzunluğu, yan zincir uzunluğu ve molekülleri arasındaki bağ türü olarak sıralanabilir. Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik monomerleri farklı 3 adet polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu içeren anyonik monomerler, %10 mol oranında karboksilat esaslı

anyonik monomeri ile yer değiştirilmiştir. Anyonik monomerler olarak, birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Tüm polimerlerin anyonik içeriği sabit tutulmuştur. Bağlayıcı olarak tek tip CEMI 42,5 R çimentosu kullanılarak çimento hamuru ve harç karışımları üretilmiştir. Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi ve mini-yayılma değerleri belirlenmiştir. Tüm harç karışımlarında su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,485, 2,75 ve 270±20 mm olarak sabit tutulmuştur. Harç karışımlarının zamana bağlı akış değeri ve V-hunisi akış süresi değişimi incelenmiştir. Buna ilaveten, harç karışımlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları da elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre su azaltıcı katkının karboksilat anyonik grubunun %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu ile yer değişimi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini iyileştirmiştir. Söz konusu değişimin harç karışımlarının basınç dayanımına ciddi mertebede etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelime: Polikarboksilat-esaslı su azaltıcı katkı, hamur karışımı, harç karışımı, taze hal özellikleri

1. GİRİŞ

1981 yıllarında üretimine başlanan su azaltıcı katkılar günümüzde beton sektöründe sıkça kullanılmaktadır [1]. Su azaltıcılar; su azaltma özelliği sayesinde yüksek dayanımlı betonların imal edilmesini, kalıp alma süresini kısaltarak inşaat hızının artmasını, daha işlenebilir ve daha uzun servis ömrü olan betonların daha düşük maliyet ile üretilebilmesini sağlar. Son zamanlarda farklı özelliklere sahip çeşitli su azaltıcı katkılar üretilmektedir. Söz konusu katkılar sağladığı olumlu etkilerin yanı sıra beton karışımlarında olumsuz etkilerin oluşumuna da sebep olabilir. Çimentolu sistemlerin taze hal ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini etkileyen parametrelerin bir kısmı kullanılan çimentodan, bir kısmı su azaltıcı katkıdan, diğer kısmı ise karışım oranı, sıcaklık ve bakım koşulları gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır [2-4]. Çimento özelliklerinden kaynaklanan etkiler sırasıyla, çimentonun kimyasal kompozisyonu ve ana bileşenlerinin miktarı ile yapısı (C_3A ve C_4AF miktarı ve C_3A 'nın kristal yapısı), çimento inceliği ve alkali içeriği ile çimento üretimi esnasında klinkere eklenen kalsiyum sülfatın (alçının) miktarı ve türü ile ilişkili

olabilmektedir [5-8]. Polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkıya bağlı etkenler içinde ana zincir uzunluğu, yan zincir sayısı ve uzunluğu, molekül ağırlığı, moleküller arası bağ yapısı, kimyasal bileşimi, yoğunluğu, adsorpsiyon özelliği, beton karışımına katılış şekli ve sırası önem kazanmaktadır [2, 3, 9-13].

2. AMAÇ

Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Anyonik monomeri olarak, birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Bu bağlamda tüm harç karışımlarında su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,485, 2,75 ve 270 ± 20 mm olarak sabit tutulmuştur. Üretilen tüm harç karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları elde edilmiş olup, su azaltıcı katkının anyonik monomeri değişimi ile katkıların performansları kıyaslanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [14] standardına uygun CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu ve agrega olarak ise TS EN 196-1 [15] standardına uygun standart kum kullanılmıştır. Üretici firma tarafından verilen çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile kullanılan standart kumun tane büyüklüğü dağılımı sırasıyla Çizelge 1 ve 2' de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi TS EN 1097-6 [16] standardına uygun olarak sırasıyla 2,72 ve kütlece %0,7 olarak elde edilmiştir.

Ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik grupları farklı 3 adet polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılarak toplamda 3 seri karışım üretilmiştir. Anyonik yan zincir olarak, birinci seride sadece karboksilat, ikinci seride hem karboksilat hem de fosfat üçüncü seride ise hem karboksilat hem de sülfonat fonksiyonel grupları içeren monomerler kullanılmış olup deneysel çalışma kapsamında sırasıyla SA-K, SA-%10F ve SA-%10S olarak gösterilmiştir. Ayrıca tüm polimerlerin toplam anyonik içeriği sabit tutulmuştur. 2. ve 3. seri su azaltıcı katkılarda kullanılan anyonik monomerlerin

karboksilat fonksiyonel grubu %10 mol oranında sülfonat ve fosfat grupları ile ikame edilmiştir.

Çizelge 1. Çimento 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	1-günlük	14,7
CaO	62,70	Basınç dayanımı (MPa)	2-günlük 26,80
MgO	1,16		7-günlük 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 elekta kalıntı (%)	7,6
Kızdırma kaybı	3,20		
Serbest CaO	1,26		

Çizelge 2. Standart kumun tane büyüklüğü dağılımı

Kare Göz Açıklığı	Kalan (%)	Yığılımlı Elekta 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

İlk aşamada, çimento hamuru karışımları hazırlanarak kullanılan katkıların çimento ile uyumluluğu Marsh-Hunisi akış süresi ve mini-çökme deneyleriyle incelenmiştir. Önceki çalışmalarda su/çimento oranı için önerilen 0,35-0,40 oranları dikkate alınarak bu çalışmadaki tüm hamur karışımlarında su/çimento oranı 0,35 olarak seçilmiş, çimento ve su miktarları sabit tutulmuştur [17]. Her çimento-katkı ikilisi için çimento ağırlığının %0,5' i ile %2,25' i arasında değişen oranlarda su azaltıcı katkı kullanılarak her seri için sekizer adet hamur karışımı hazırlanmıştır. Yaklaşık 1,2 litre hacimli homojen çimento hamuru 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. Elde edilen süre o karışımın akış süresi olarak belirlenmiştir. Marsh hunisi deneyi hamur karışımlarının standart Marsh hunisinden geçiş süresinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır [10]. Bu deney yönteminde katkı dozajı ve akış süresi arasındaki

ilişki incelenerek katkının doygunluk noktası belirlenmektedir. Akışkanlaştırıcı katkı dozajı arttıkça çimento hamurunun akış süresinde azalma gözlenmiştir. Ancak, katkı dozajı belirli bir sınırın üstüne çıktığında çimento hamuru akış süresinde önemli bir değişim görülmemiştir. Bu değerdeki katkı dozajı, katkı-çimento ikilisinde kullanılan akışkanlaştırıcı katkının doygunluk noktası olarak tespit edilmiştir. Bu dozajın üstünde katkı kullanımı karışımda ayrışma oluşumunun yanı sıra ekonomik zarara da sebep olmaktadır [11]. 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 kalıbın içine doldurulur [18]. Çökme kalıbı düşey olarak yavaşça kaldırılır ve yayılmanın tamamlanması için bir süre (10-20 sn) beklenir. Daha sonra kumpas yardımıyla birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınır ve kaydedilir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise çimento hamuru karışımları ile benzer 3 farklı seri harç karışımı ASTM C109 [19] standardına uygun ve homojen olarak hobart mikserinde hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento (S/C), kum/çimento oranları ve yayılma değeri sırasıyla, 0,485, 2,75 ve 270 ± 20 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. İstenen yayılma değerini karşılayacak şekilde anyonik monomer yapısı farklı üç su azaltıcı katkının kullanım oranları belirlenmiştir. Harç karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir.

Yayılma değerleri sonuçlarından anlaşıldığı gibi karboksilat grubunun %10 mol oranında fosfat ve sülfonat fonksiyonel grupları ile yer değiştirmesi, sabit bir yayılma değerini elde etmek için katkı gereksinimini olumsuz etkilememiştir. Harç karışımlarının 1 saat boyunca her 15 dakikada bir yayılma değerleri ASTM C1437 [20] standardına uygun olacak şekilde ölçülmüştür. Harç karışımlarının zamana bağlı V-hunisi akış süresi değişimini araştırmak için 270 ± 20 mm yayılma değerine sahip karışımlar hazırlanarak 30 dakikaya kadar 15 dakika zaman aralıklarıyla ölçümler alınmıştır. Ayrıca söz konusu karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları 50 mm'lik küp numuneler üzerinde ASTM C109 [19] standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kütlece malzeme oranları

	SA-K	SA-%10F	SA-%10S
Çimento	1	1	1
Su	0,485	0,485	0,485
Standart kum	2,75	2,75	2,75
Su azaltıcı katkı	0,0032	0,003	0,0032
Yayılma, mm	256	260	253

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

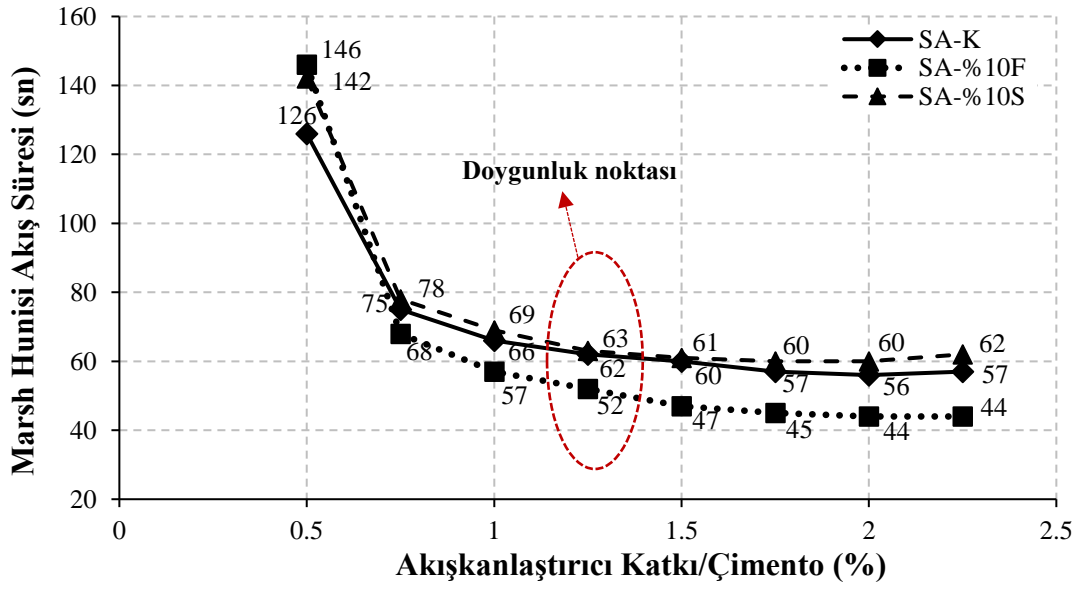
4.1. Taze Hal Özellikleri

Hamur karışımlarının Marsh hunisi akış süresi mini-çökme ve sıcaklık değerleri Çizelge 4 ve Şekil 1' de verilmiştir. Çimento ağırlığının %0,5' inden daha az miktarda su azaltıcı katkı içeren hamur karışımları Marsh-Hunisinden akmadığından bu karışımların akış süreleri ölçülmemiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi akışkanlaştırıcı katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artmasıyla hamur karışımlarının akış süreleri beklenildiği gibi azalmıştır. Çimento ağırlığının %0,5' i kadar SA-%10F ve SA-%10S katkı içeren karışımların Marsh hunisi akış süreleri aynı miktarda SA-K katkı içeren karışıma göre sırasıyla %15 ve %12 oranında uzamıştır. Katkı oranları artırıldığında SA-%10F katkılı hamur karışımının akış süresinin diğer katkılı karışımlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda SA-K ve SA-%10S katkılı karışımlar Marsh hunisi akışı açısından benzer davranışlar göstermiştir. Katkı türünden bağımsız olarak tüm çimento-katkı ikilisi için doyum noktası akışkanlaştırıcı-katkı/çimento oranının %1,25 olduğu durumda tespit edilmiştir. Ancak, doyum noktasındaki akış süreleri dikkate alındığında SA-%10F karışımı SA-K karışımına kıyasla Marsh hunisinden yaklaşık %20 daha hızlı aktığı anlaşılmıştır. Katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artışıyla hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde beklenildiği gibi bir artış gözlemlenmiştir. Ancak belli bir katkı kullanım oranının üstünde hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde bir sabitleme veya azalma olmuştur. Bu olayın nedeninin çok akıcı olan söz konusu karışımlarda ayrışma oluşumundan 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, sn	SA-K	126	75	66	62	60	57	56	57
	SA-%10F	146	68	57	52	47	45	44	44
	SA-%10S	142	78	69	63	61	60	60	62
Mini-çökme, mm	SA-K	17	18	18,5	19	20	20	20	20
	SA-%10F	18	18	19	19	19	19	18,5	18,5
	SA-%10S	16,5	17	18	18	18,5	19,5	19	18,5
Sıcaklık, °C	SA-K	30,8	29,8	28,5	28,5	28	28,2	28,4	28
	SA-%10F	28,6	28,4	27,8	27,8	28,6	28,8	29,2	28
	SA-%10S	31	30	29,5	29	28,5	28,5	28	28

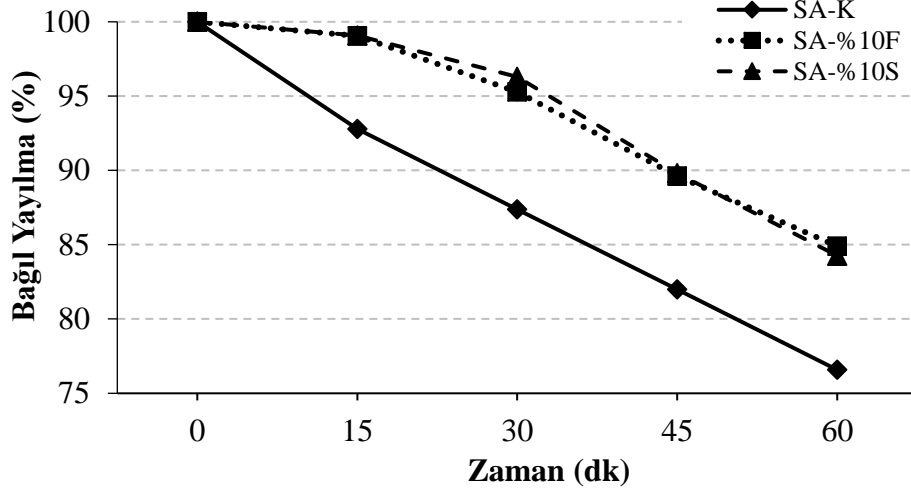


Şekil 1. Hamur karışımlarının akışkanlaştırıcı katkı dozajına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süreleri

Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma davranışlarını gözlemlemek amacıyla sabit miktarda su azaltıcı katkı kullanılarak 3 farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Söz konusu karışımların zamana bağlı yayılma ve bağıl yayılma değerleri sırasıyla, Çizelge 5 ve Şekil 2' de verilmiştir. Beklenildiği gibi harç karışımlarının yayılma miktarları zamanla azalmıştır. Ancak söz konusu azalmanın anyonik monomerleri değiştirilen SA-%10F ve SA-%10S karışımlarında SA-K karışımına kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir. 60 dakika sonunda, SA-K karışımı %23 oranında yayılma kaybı gösterirken bu kaybın SA-%10F ve SA-%10S karışımlarda %16 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5. Harç Zamana Bağlı Yayılma

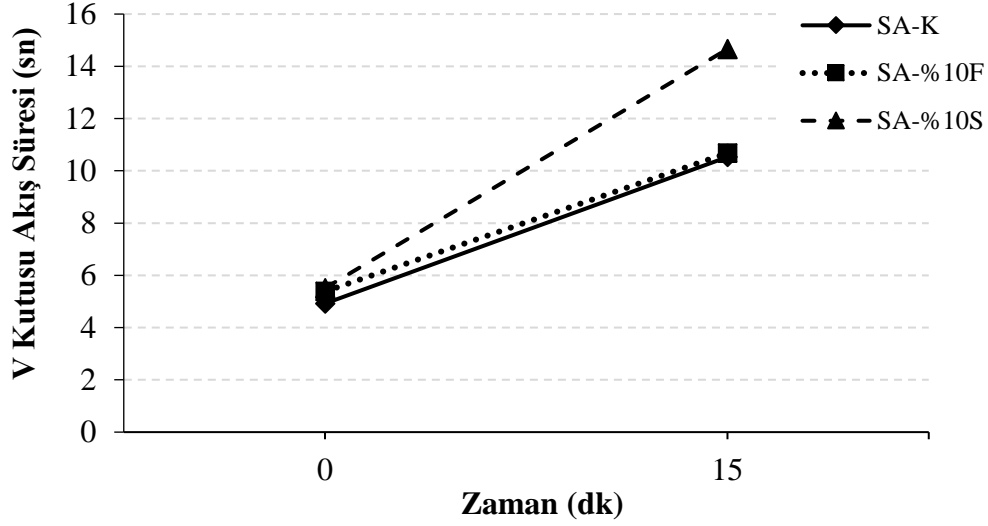
Zamana Bağlı Yayılma (cm)					
Katkı/Zaman	0 dk	15 dk	30 dk	45 dk	60 dk
SA-K	27,75	25,75	24,25	22,75	21,25
SA-%10F	26,50	26,25	25,25	23,75	22,50
SA-%10S	27,00	26,75	26,00	24,25	22,75



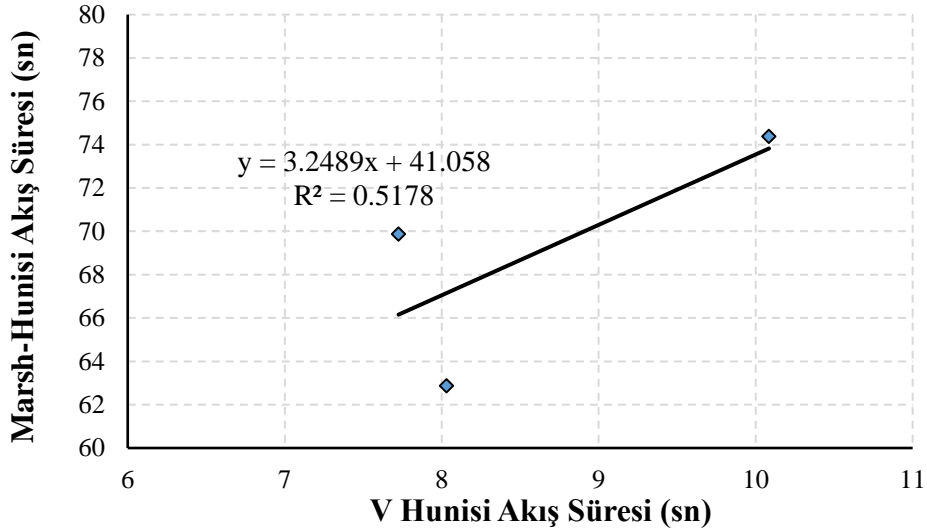
Şekil 2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimi

Harç karışımlarının zamana bağlı V hunisi akışı süresi değişimi Şekil 3' te gösterilmiştir. 30 dakika üretim sonrası tüm karışımlar V-hunisinden akmadığından ilk 15 dakikaya kadar akış değerleri alınmıştır. Şekil 3'ten de anlaşıldığı gibi, tüm karışımların başlangıç akış süreleri hemen hemen aynı olmuştur. 15 dakika bekleme sonrası, kontrol ve fosfat fonksiyonel grubu içeren karışımlar benzer akış davranışı gösterirken sülfonat grubu içeren karışımın akış süresi artmıştır. Bilindiği gibi, karışımların yayılma ve V-hunisi akış süreleri karışımın sırasıyla, eşik kayma gerilmesi ve viskozitesi ile ilgili bilgi vermektedir [21]. Bu çalışmada karboksilat esaslı anyonik monomerinin fosfat ve sülfonat fonksiyonel grubu ile yer değiştirmesi sonuç karışımların yayılma değerini artırmış ve zamana bağlı yayılma davranışı iyileştirmiştir. Buna bağlı olarak karışımların eşik kayma gerilmesinin azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak, sülfonat fonksiyonel grubu kullanımı ile harç karışımının akışkanlığının azalması karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Genel olarak karışımların V-hunisi akış süresi ve Marsh-hunisi akış süresi davranışları arasında bir uyumsuzluğun söz konusu olduğu Şekil 4'ten de anlaşılmaktadır. Aslında bu beklenen bir davranıştır. Marsh-hunisi akış süresi deneyi için

hazırlanan karışımın, huniden akması için viskozitesi düşük ve çok akıcı olması gerekmektedir. Ayrışmaya meyilli olan söz konusu karışımı daha kohezif olan V-hunisi deneyi için hazırlanan karışımla kıyaslanması doğru olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 3. Harç karışımlarının zamana bağlı V hunisi akış süreleri

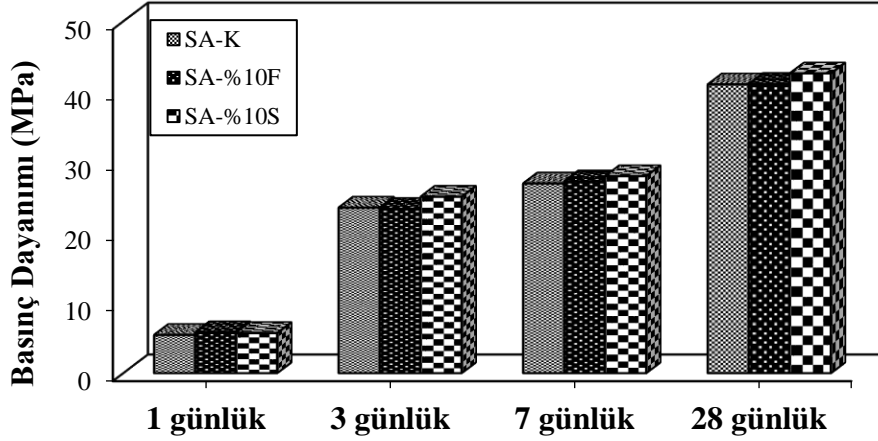


Şekil 4. Hamur karışımlarının katkı dozajı artışına bağlı ortalama Marsh-Hunisi Akış süresi ve Harç karışımlarının zamana bağlı ortalama V-Hunisi akış süreleri

Sonuçlara dayanarak, su azaltıcı katkıda anyonik içeriğin karboksilat fonksiyonel grubunun %10 mol oranında fosfat ve sülfonat fonksiyonel grupları ile ikame edilmesi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu bağlamda, fosfat grubu içeren katkı sülfonat grubuna göre daha başarılı olmuştur.

4.2. Basınç Dayanımı

Harç karışımlarının basınç dayanımı sonuçları Şekil 5' te gösterilmiştir. Su azaltıcı katkı anyonik monomeri değişiminin harç karışımlarının basınç dayanımını ciddi mertebede etkilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 5. Harç karışımlarının basınç dayanımları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve testler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Su azaltıcı katkının karboksilat esaslı anyonik monomerinin %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grupları ile yer değiştirmesi sonucu hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi azalmıştır. Bu bağlamda %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı en başarılı katkı olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar hamur karışımlarının mini-çökme ölçümlerinde de gözlemlenmiştir. Su azaltıcı katkı doygunluk noktası katkı tipinden etkilenmemiştir.

Su azaltıcı katkının anyonik monomeri değişimi ile harç karışımlarının yayılma değerleri artmıştır. Bu etki zamanla daha belirgin olmuştur. Burada da hamur karışımlarında olduğu gibi %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı daha başarılı sonuç vermiştir.

V-hunisi akış süresi açısından %10 sülfonat fonksiyonel grubu içeren karışım düşük performans göstermiştir. Bu olay söz konusu katkı kullanımıyla, karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Harç karışımlarının basınç dayanımının katkı anyonik monomeri değişiminden kayda değer mertebede etkilenmediği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Polisan Kimya A.Ş'ye ve standart kum temini için Bursa Beton A.Ş' ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Plank, J., Sakai, E., Miao, C. W., Yu, C., & Hong, J. X. (2015). Chemical admixtures- Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. cement and concrete research, 78, 81-99.
2. Bedard, C., & Mailvaganam, N. P. (2005). The use of chemical admixtures in concrete. Part I: Admixture-cement compatibility. Journal of performance of constructed facilities, 19(4), 263-266.
3. Bonen, D., & Sarkar, S. L. (1995). The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss. Cement and Concrete Research, 25(7), 1423-1434.
4. Ramachandran, V.S., (1995). Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications, New Jersey.
5. Roberts, L.R., (1995). Dealing with cement admixture interactions, 23rd Annual Convention of the Institute of Concrete Technology, Telford, UK.

6. Jiang, S., Kim, B. G., & Aïtcin, P. C. (1999). Importance of adequate soluble alkali content to ensure cement/superplasticizer compatibility. *Cement and Concrete Research*, 29(1), 71-78.
7. Jolicoeur, C., Nkinamubanzi, P. C., Simard, M. A., & Piotte, M. (1994). Progress in understanding the functional properties of superplasticizers in fresh concrete. *Special Publication*, 148, 63-88.
8. Ramachandran, V.S., (2002). *Concrete admixtures handbook*, Standard Publishers, New Delhi.
9. Flatt, R. J., & Houst, Y. F. (2001). A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. *Cement and concrete research*, 31(8), 1169-1176.
10. Mardani-Aghabaglou, A., Felekoğlu, B., & Ramyar, K. (2017a). Effect of Cement C3A Content on Properties of Cementitious Systems Containing High-Range Water-Reducing Admixture. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(8), 04017066.
11. Mardani-Aghabaglou, A., Son, A. E., Felekoğlu, B., Ramyar, K. (2017b). Effect of cement fineness on properties of cementitious materials containing high range water reducing admixture, *Journal of Green Building*, 12(1): 142-167.
12. Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Arıöz, Ö., & Ramyar, K. (2013). Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1020-1025.
13. Mardani-Aghabaglou, A., Boyaci, O.C., Hosseinneshad, H., Felekoğlu, B., & Ramyar, K. (2016). Effect of gypsum type on cement-high range water reducing admixture compatibility. *Cement and Concrete Composites*, 68:15-26.
14. TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara, 2012.

15. TS EN 196-1, imento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara, 2016.
16. TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara, 2013.
17. Aıtcin, P.C., High Performance Concrete, E&FN SPON, New York, 2004.
18. Kantro, D. L. (1980). Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste-a miniature slump test. Cement, Concrete and Aggregates, 2(2), 95-102.
19. ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
20. ASTM C1437, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.
21. Mardani-Aghabaglou, A. 2016. Portland imentosu ve sper akışkanlaştırıcı katkı uyumunun incelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstits, İzmir.