

UÇUCU KÜL VE METAKAOLIN İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLAR

Erhan GÜNEYİSİ

Yrd.Doç.Dr.
Gaziantep Üni., İnşaat Müh.
Bölümü
Gaziantep, Türkiye

Mehmet GESOĞLU

Yrd.Doç.Dr.
Gaziantep Üni., İnşaat Müh.
Bölümü
Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, uçucu kül ve metakaolin içeren kendiliğinden yerleşen harçlarda (KYH) yayılma, V-hunisi akma zamanı, viskozite ve priz alma süresi gibi taze özellikler ile basınç dayanımı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, su/bağlayıcı oranı 0.40 ve toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m³ olan toplam 16 harç karışımı tasarlanmıştır. Kontrol harç karışımında bağlayıcının tamamı portland çimentosu (PC) iken ikili ve üçlü sistemlerde uçucu kül (UK) ve metakaolin (MK) çimento ile değişik oranlarda ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Böylece, 1 kontrol (sadece portland çimentolu), 3 portland çimentolu ve uçucu küllü, 3 portland çimentolu ve metakaolinli ve 9 portland çimento, uçucu kül ve metakaolin içeren toplam 16 farklı karışım tasarlanmıştır. Tüm karışımlarda serbest yayılma 24-26 cm olacak şekilde yeteri miktarda yeni nesil kimyasal katkı katılmış ve taze özelliklerdeki değişimler ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre, uçucu küllü kendiliğinden yerleşen harçlarda priz alma süresi kontrol harca göre oldukça uzamıştır. Ayrıca, metakaolinin uçucu küllü kendiliğinden yerleşen harçlarda priz alma süresini önemli oranda azalttığı ve viskoziteyi ise artırdığı gözlenmiştir.

GİRİŞ

20. yüzyılın sonlarına doğru geliştirilen Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB) taze haldeki yüksek akıcılık ve ayrışma direnci özelliklerinin üretim kalitesi ve verimlilik açısından sağladığı yararlar ile çevre ve çalışma koşullarında sağladığı iyileşme neticesinde dünyada olduğu gibi ülkemizde de

özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonlara bu özellikleri kazandıran yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici kimyasal katkıları maliyeti de önemli ölçüde artırmaktadır [1]. Ancak, KYB'da bağlayıcı olarak çimento ile yer değiştirmeli uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve taş tozu kullanımının maliyeti azaltırken aynı zamanda betonun taze ve mekanik özelliklerini önemli oranda iyileştirdiği tespit edilmiştir [2,3]. Nehdi ve arkadaşları uçucu külün (UK) çimentonun ağırlıkça %50 sine kadar yer değiştirerek kullanılmasıyla maliyeti önemli oranda azaltarak KYB üretilebileceğini belirtmiştir [4].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda aranan özellikleri etkileyen önemli faktörlerden biri de harçların taze özelliğidir. Bu anlamda, bu tip betonların karışım oranlarını hesaplamada Kendiliğinden Yerleşen Harçların (KYH) reolojik özellikleri dikkate alınır. Bu nedenle, bir çok araştırmacı harçların reolojik özelliklerini incelemiştir [5-8]. Ayrıca, mineral katkıların KYH'ların işlenebilme, ayrışma direnci ve priz alma süresi gibi özelliklerine etkileri incelenmiştir [6,8,9]. Buna karşın, kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özellikleri de harç fazı ayrıştırılmadan incelenebilmektedir [10]. Ancak, beton içerisindeki agrega taneleri reolojik özellikleri önemli ölçüde etkilemekte ve büyük değişimlere sebep olmaktadır.

AMAÇ

Bu çalışma kapsamında uçucu kül ve/veya metakaolinin portland çimentosu ile ikili ve üçlü kullanımı sonucunda elde edilen kendiliğinden yerleşen harçlarda taze özellikler ile basınç dayanımının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. KYH'ların taze özellikleri incelenirken yayılmayı sabit tutulmuş ve V-hunisi akma zamanı, viskozite ve priz alma süresindeki değişimlere mineral katkıların etkileri araştırılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

Tüm deneylerde Adana Çimento Sanayi AŞ'den sağlanan CEM I 42.5 R portland çimentosu, Ceyhan-Yumurtalık Termik Santralinden elde edilen F-sınıfı uçucu kül ve ABD'den temin edilen metakaolin kullanılmıştır. Tablo 1' de portland çimentosu, uçucu kül ve metakaolinin fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmektedir. İnce agrega olarak doğal ve kırma kum karışımı kullanılmıştır. Agregaların özellikleri Tablo 2'de sunulmaktadır. KYH serilerinde polikarboksilik eter esaslı yeni nesil bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu kimyasal katkı ASTM C494'e göre F tipi olup, yoğunluğu 1.07 olan yüksek oranda su azaltıcı bir katkıdır.

Tablo 1 Çimento ve mineral katkıların özellikleri

Analiz	Portland çimentosu	Uçucu kül	Metakaolin
CaO (%)	62.58	4.24	0.78
SiO ₂ (%)	20.25	56.2	52.68
Al ₂ O ₃ (%)	5.31	20.17	36.34
Fe ₂ O ₃ (%)	4.04	6.69	2.14
MgO (%)	2.82	1.92	0.16
SO ₃ (%)	2.73	0.49	-
K ₂ O (%)	0.92	1.89	0.62
Na ₂ O (%)	0.22	0.58	0.26
Kızdırma kaybı	3.02	1.78	0.98
Özgül ağırlık	3.15	2.25	2.5
Özgül yüzey (cm ² /g)	3260	2870	12000

KYH Karışımları

Bu çalışmada su/bağlayıcı oranı 0.40 ve toplam bağlayıcı miktarı 550 kg/m³ olan toplam 16 harç karışımı tasarlanmıştır. Kontrol harç karışımında bağlayıcının tamamı portland çimentosu iken, ikili sistemin ilk üç karışımında uçucu kül çimento ile ağırlıkça %20, 40 ve 60 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Benzer şekilde ikili sistemin diğer üç karışımında ise metakaolin %5, 10 ve 15 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Üçlü sistemlerde ise portland çimentosu, uçucu kül ve metakaolin farklı oranlarda birlikte kullanılarak toplam dokuz karışım daha tasarlanmıştır. Böylece, 1 kontrol (sadece portland çimentolu), 3 portland çimentolu ve uçucu küllü, 3 portland çimentolu ve metakaolinli ve 9 portland çimento, uçucu kül ve metakaolin içeren toplam 16 farklı karışım tasarlanmıştır (Tablo 3). Tüm karışımlarda serbest yayılma EFNARC sınırlarını sağlayacak şekilde (24-26 cm) yeteri miktarda yeni nesil kimyasal katkı katılmıştır [11].

Bütün KYH'ların hazırlanmasında aynı yöntem izlenmiştir. Öncelikle bütün toz malzeme ve kum 1 dk süresince standart bir mikserde karıştırıldıktan sonra karışım suyunun 3/4'ü eklenerek karıştırma işlemine bir süre daha devam edilmiştir. Sonrasında, geriye kalan karışım suyu ve kimyasal katkı harç karışımına katılarak ve 3 dk daha karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra serbest yayılma ölçülmüş ve amaçlanan yayılmayı sağlayan karışımlarda V-hunisi akma süresi, priz alma süresi ile viskozite ölçülmüştür. Ayrıca, basınç dayanımı belirlenmesi için her bir karışımın 3 adet 100 mm'lik küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat

sonra kalıptan çıkarılmış ve deney zamanına kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip su havuzunda bekletilmiştir. Numuneler üzerinde 28 günlük kür süresi sonunda basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 2. Agregaların özellikleri

Elek açıklığı (mm)	İnce agrega	
	Doğal kum	Kırma kum
16	100	100
8	100	100
4	86.6	95.4
2	56.7	63.3
1	37.7	39.1
0.5	25.7	28.4
0.25	6.7	16.4
İncelik modülü	2.87	2.57
Özgül ağırlık	2.66	2.45
Su emme (%)	0.55	0.92

Tablo 3. KYH karışım oranları (kg/m^3)

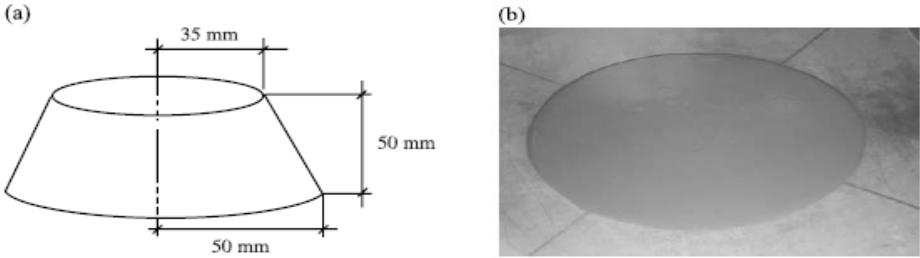
Karışım no	s/b	Bağlayıcı	Su	PC	UK	MK	Doğal kum	Kırma kum	SP*
Kontrol-PC	0.40	550	220	550	0	0	1077	425	6.82
UK20MK0	0.40	550	220	440	110	0	1055	416	5.80
UK40MK0	0.40	550	220	330	220	0	1033	408	5.39
UK60MK0	0.40	550	220	220	330	0	1011	399	4.20
UK0MK5	0.40	550	220	523	0	27.5	1074	424	8.2
UK0MK10	0.40	550	220	495	0	55	1071	423	10.0
UK0MK15	0.40	550	220	468	0	82.5	1067	421	11.8
UK15MK5	0.40	550	220	440	82.5	27.5	1057	417	7.60
UK10MK10	0.40	550	220	440	55	55	1059	418	8.95
UK5MK15	0.40	550	220	440	27.5	82.5	1062	419	10.30
UK35MK5	0.40	550	220	330	192.5	27.5	1035	409	7.50
UK30MK10	0.40	550	220	330	165	55	1037	409	8.85
UK25MK15	0.40	550	220	330	137.5	82.5	1040	410	10.20
UK55MK5	0.40	550	220	220	302.5	27.5	1013	400	7.20
UK50MK10	0.40	550	220	220	275	55	1015	401	8.55
UK45MK15	0.40	550	220	220	247.5	82.5	1017	402	9.90

*SP: Süperakışkanlaştırıcı

Deney Yöntemi

Serbest yayılma ve V-hunisi akma zamanı EFNARC'da [11] tarif edilen mini çökme konisi ve mini V-hunisi ile sarsma yapılmadan ölçülmüştür. Mini çökme konisi KYH harç ile sıkıştırma yapılmadan doldurulduktan sonra koni kaldırılmıştır. Serbest yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek ortalaması verilmiştir (Şekil 1). Hedeflenen yayılma çapını sağlayan harçlarda, mini V-hunisi sıkıştırılmadan doldurulduktan sonra harcın huniden akma süresi ölçülmüştür (Şekil 2).

Priz başlama ve bitiş süresi deneyleri ASTM C403/403M-99'a [12] uygun olarak ELE penetrasyon direnci aleti ile yapılmıştır (Şekil 3). KYH karışımları 100 mm' lik küp kalıplara yerleştirildikten sonra 23 °C sıcaklıktaki bir ortamda bekletilmiştir. Penetrasyon direnci cihazının standart iğnesi harç yüzeyinden dalma derinliği 25 mm kadar daldırılarak cihaz üzerindeki skaladan bu derinliği karşılık gelen kuvvet okunmuştur. Daldırma işlemi belirli aralıklarla yapılarak penetrasyon direnci-geçen zaman eğrileri çizilmiştir. Buradan priz başlama ve bitiş süreleri hesaplanmıştır. Penetrasyon direnci 3.5 ve 27.6 MPa olan daldırma zamanları sırasıyla priz başlama ve bitiş sürelerini göstermiştir.



Şekil 1. Mini çökme konisi ve serbest yayılma



Şekil 2. Mini V-hunisi akma zamanı deneyi



Şekil 3. Penetrasyon direnci deney aleti

Viskozite ölçümleri Brookfield DV-E model bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Harçların viskozitesi 1, 2.5, 5, 10, 20, 50 ve 100 devir/dk açılmal hızlarda ve karıştırma işleminden hemen sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açılmal hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiş ve viskozite-açılmal hız grafikleri çizilmiştir.

KYH karışımlarının basınç dayanımların belirlenmesi için her bir karışımdan 3 adet 100 mm' lik küp numuneler hazırlanmıştır. Deneyler 0.1 kN duyarlılık, 3000 kN kapasiteli basınç aleti kullanılarak 28. günde yapılmıştır.



Şekil 4. Brookfield DVE viskometre

DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Serbest Yayılma Çapı ve V-Hunisi Akma Zamanı

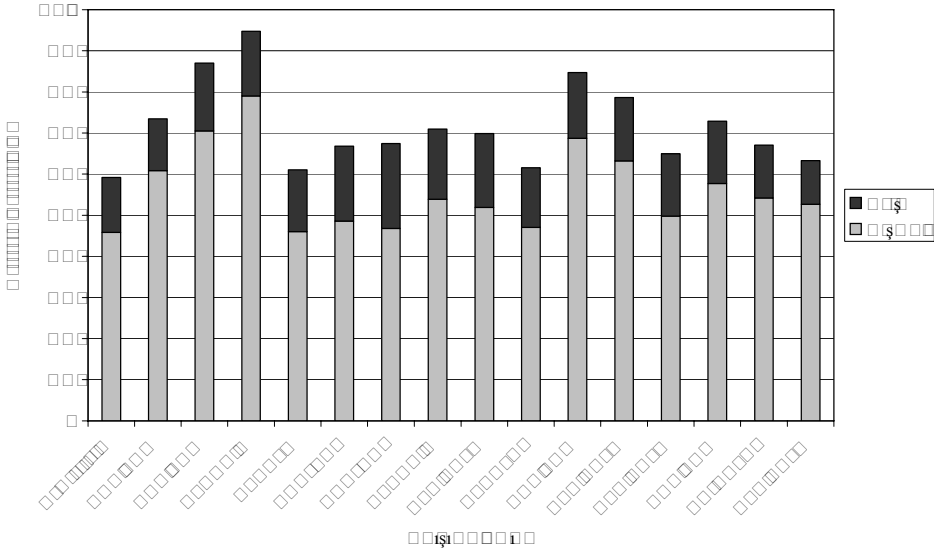
Kendiliğinden yerleşen harçların taze özellikleri Tablo 4 verilmektedir. Tüm KYH harç karışımlarında serbest yayılma çapı hedeflenen aralıkta (EFNARC sınırları: 24-26 cm) tutulmuş ve diğer taze özelliklerdeki değişimler incelenmiştir. Bunu sağlamak için farklı oranlarda süperakışkanlaştırıcı katılmıştır. Uçucu küllü karışımlarda süperakışkanlaştırıcı miktarı azalırken, metakaolin kullanılan karışımlarda katkı ihtiyacı önemli miktarda artmıştır. KYH'larda V-hunisi akma zamanı genel olarak 5.2 ile 17.4 sn arasında değişmektedir. Tablo 4'den de görüldüğü üzere, bazı karışımlarda EFNARC sınırlarının (7-11 sn) sağlanamadığı görülmüştür. Kontrol karışımın 12 sn olan akma zamanı uçucu külün kullanılması ile kullanılan uçucu kül oranına bağlı olarak 5.2 sn mertebesine kadar kısalmıştır. Buna karşın, metakaolin kullanılan karışımlar kontrol karışımına oranla daha uzun V-hunisi akma zamanı göstermişlerdir. Ayrıca, kullanılan metakaolin miktarı arttıkça akma zamanı daha da uzamıştır. Örneğin, MK miktarı %5 olan KYH'lar kontrole göre yaklaşık %28 daha uzun V-hunisi akma zamanına sahip iken kullanılan MK miktarı %15'e ulaştığında akma zamanındaki uzama oranı yaklaşık %43 mertebelerine ulaşmıştır. Üçlü sistemler incelendiğinde ise, MK miktarının %15 olan karışımlar hariç genel olarak bütün karışımlarda kontrol betona göre daha kısa akma süreleri ölçülmüştür. UK'ün MK ile birlikte kullanılması MK'nin V-hunisi akma zamanı üzerindeki olumsuz etkisini önemli ölçüde azaltığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. KYH'ların taze ve basınç dayanımı özellikleri

Karışım no	Yayılma çapı (cm)	V-hunisi akma zamanı (sn)	Birim ağırlık (kg/m ³)	Basınç dayanımı (MPa)
Kontrol-PC	25.5	12.0	2393	72.7
UK20MK0	25.7	7.2	2383	59.4
UK40MK0	25.7	7.0	2372	42.1
UK60MK0	26.2	5.2	2342	28.0
UK0MK5	24.5	15.3	2366	80.7
UK0MK10	25.2	13.9	2387	85.1
UK0MK15	24.8	17.4	2372	89.7
UK15MK5	24.8	10.2	2365	74.6
UK10MK10	24.3	13.0	2384	76.4
UK5MK15	24.3	15.3	2370	78.9
UK35MK5	25.2	10.2	2376	56.4
UK30MK10	24.8	11.5	2380	59.5
UK25MK15	23.9	13.6	2342	65.8
UK55MK5	25.7	6.9	2308	35.8
UK50MK10	24.8	9.4	2325	38.3
UK45MK15	25.2	10.8	2315	44.0

Priz Başlama ve Bitiş Süresi

Şekil 5'de KYH'ların priz başlama ve bitiş sürelerine mineral katkı tipi ve miktarının etkisi görülmektedir. İkili sistemler incelendiğinde, hem UK'ün hem de MK'nin priz başlama ve bitiş sürelerini uzattığı görülmektedir. Ancak, UK'ün priz alma süresi üzerinde daha etkili olduğu Şekil 5'de sunulan deney sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ayrıca, her iki mineral katkı tipinde de kullanılan miktar arttıkça genel olarak harçların priz alma süreleri uzamıştır. Kontrol harcın priz başlangıç ve bitiş süresi sırası ile 458 ve 592 dk iken %60 UK içeren KYH'da bu değerler sırası ile 790 ve 948 dk'dır. Buna karşın, %15 MK içeren KYH'da priz başlama ve bitiş süreleri sırası ile 468 ve 675 dk'dır. İkili sistemlerde görülen bu davranış üçlü sistemler de görülmüştür. Ancak, üçlü sistemlerde metakaolin, uçucu kül ile yer değiştirilerek kullanıldığı için bu karışımlar UK miktarındaki azalmaya bağlı olarak yalnız UK içeren ikili sistemdeki harçlara oranla daha kısa priz alma sürelerine sahip olmuşlardır. Örneğin, %40 UK içeren ikili sistemdeki KYH'ın priz başlama ve bitiş süreleri sırası ile 705 ve 870 dk iken %30 UK ve %10 MK içeren üçlü sistemdeki KYH'da ise bu değerler sırası ile 633 ve 787 dk olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. KYH'larda priz başlama ve bitiş süreleri

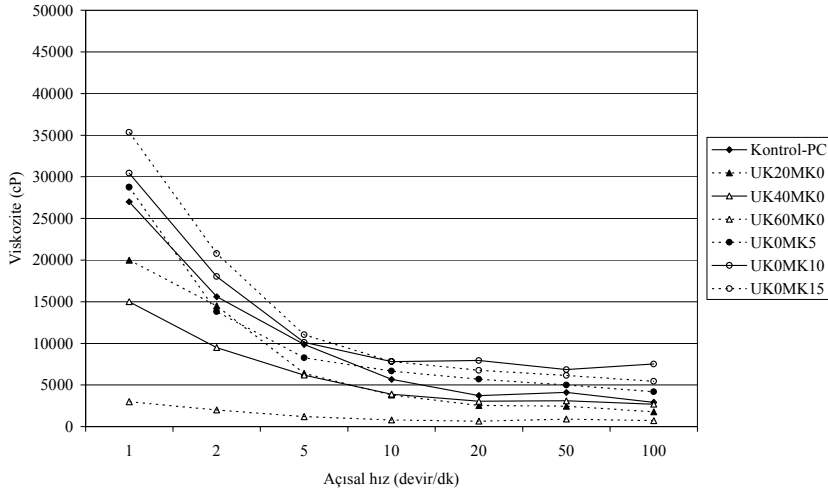
Viskozite

KYH'ların viskozite-açısal hız eğrileri ikili ve üçlü sistemler için sırası ile Şekil 6 ve 7'de görülmektedir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi, MK içeren KYH'ların viskoziteleri kontrol karışıma göre daha yüksektir. Özellikle MK'nin %15 oranında kullanılması viskoziteyi önemli ölçüde arttırmıştır. Buna karşın, UK içeren KYH'larda ise viskozite değerleri kontrol harca göre bir azalma eğilimi göstermektedir. %60 UK içeren KYH karışımında viskozite çok düşük mertebelerde kalmıştır. Bu karışımın V-hunisi akma zamanını (5.2 sn) incelendiğinde EFNARC sınırlarını (7-11 sn) sağlamadığı görülmektedir. Söz konusu karışımın viskozitesi ve akma zamanı birlikte değerlendirildiğinde, KYH'lar için önemli bir özellik olan yeterli kohezyona sahip olmadığı söylenebilir. Üçlü sistemlerde de benzer bir davranış görülmüştür (Şekil 7). Ancak, MK ve UK'ün birlikte kullanımı ile MK'nin viskozite üzerindeki olumsuz etkisi azaltılmıştır. Benzer şekilde, yüksek oranda UK içeren karışımlardaki kohezyon eksikliği de MK'nin eklenmesiyle giderilmiştir.

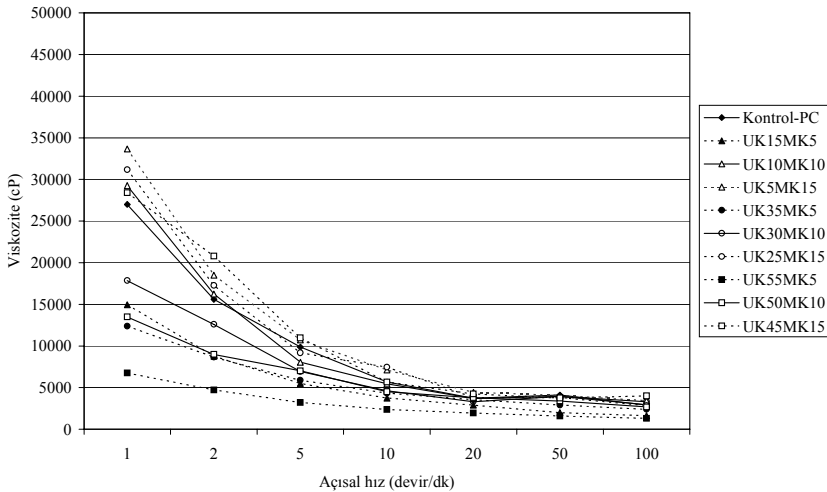
Basınç Dayanımı

Tablo 4'de tüm karışımların 28 günlük basınç dayanımları görülmektedir. Kontrol harcın basınç dayanımı 73 MPa iken ikili ve üçlü sistemli KYH'ların basınç dayanımları mineral katkı tipi ve kullanım oranına bağlı olarak sırası ile 28 ila 90 MPa ve 38 ila 79 MPa arasında değişmektedir. İkili sistemler incelendiğinde, UK içeren KYH'ların genel olarak kontrol harca göre daha

düşük basınç dayanımına sahip oldukları görülürken, MK katkılı harçlar ise daha yüksek basınç dayanımına ulaşmışlardır. Üçlü sistemler incelendiğinde ise, UK oranının düşük olduğu karışımlarda kullanılan MK miktarının artması ile PC-UK-MK'li sistemlerin basınç dayanımının kontrol harcın basınç dayanımına oldukça yakın veya üzerinde olduğu görülürken, yüksek oranda UK kullanılan üçlü sistemlerin basınç dayanımları kontrol harca kıyasla daha düşük mertebede kalmıştır. Örneğin, %10 UK + %10 MK içeren karışımın basınç dayanımı kontrole göre yaklaşık %5 daha büyük iken %50 UK + %10 MK içeren karışımın basınç dayanımı yaklaşık %47 daha düşük olmuştur.



Şekil 6. Kontrol ve ikili sistemli KYH'ların viskozite değişimleri



Şekil 7. Kontrol ve üçlü sistemli KYH'ların viskozite değişimleri

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

1. Mineral katkıların portland çimentosu ile ikili ve üçlü kullanımının KYH'ların taze özelliklerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Üçlü sistemli KYH'larda daha olumlu deney sonuçları elde edilmiştir.
2. KYH karışımlarında serbest yayılma 24-26 cm arasında tutulmuşsa da mineral katkıların yüksek oranda kullanıldığı harçlarda V-hunisi akma süresi EFNARC sınırlarını sağlamamıştır.
3. KYH'larda uçucu kül priz başlama ve bitiş süresini önemli ölçüde uzatmıştır. Benzer davranış genel olarak MK'li harçlarda da görülmüş de MK'nin priz alma süresine etkisi UK'e göre daha düşük mertebelerde kalmıştır.
4. Viskozite deney sonuçlarına göre, ikili sistemlerde MK içeren KYH'ların viskozitesi kontrol karışıma göre daha yüksektir. Buna karşın, UK içeren KYH'larda viskozite değerleri kontrol harca göre bir azalma eğilimi göstermektedir. Üçlü sistemlerde de benzer bir davranış görülmüştür. Ancak, MK ve UK'ün birlikte kullanımı ile MK'nin viskozite üzerindeki olumsuz etkisi azaltılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Bouzoubaa, N. and Lachemi, M., "Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results," Cement Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp. 413-420.
2. Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambros, V., and Bouzoubaa, N., "Development of Cost Effective Self Consolidating Concrete Incorporating Fly Ash, Slag Cement, or Viscosity Modifying Admixtures," ACI Material Journal, Vol. 100, No. 5, 2003, pp. 419-425.
3. Ghazel, A. and Khayat, K.H., "Optimizing Self Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Methods," ACI Material Journal, Vol. 99, No. 3, 2002, pp. 264-272.
4. Nehdi, M., El Chabib, H. and El Naggari, M.H., "Development of Cost Effective Self Consolidating Concrete for Deep Foundation Applications," Concrete International, Vol. 25, No. 3, 2003, pp. 49-57.
5. Park, C.K., Noh, M.H., and Park, T.H., "Rheological Properties of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures," Cement Concrete Research, Vol. 35, 2005, pp. 842-849.

6. Felekoğlu, B., Tosun, K., Baradan, B., Altun, A., and Uyalgan, B., "The Effect of Fly Ash and Limestone Fillers on the Viscosity and Compressive Strength of Self-Compacting Repair Mortars," *Cement Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1719-1726.
7. Sun, Z., Voigt, T., and Shah S.P., "Rheometric and Ultrasonic Investigation of Viscoelastic Properties of Fresh Portland Cement Pastes," *Cement Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 278-287.
8. Schwartzentruher, L.D.A, Roy, R.L., and Cordin, J., "Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC)," *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, 2006, pp. 1203-1213.
9. Şahmaran, M., Christianto, H.A., and Yaman, İ.Ö., "The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on the Properties of Self-Compacting Mortars," *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, 2006, pp. 432-440.
10. Sağlam, A.F. and Özkul, M.H., "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi," *İTÜ Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1b, Şubat 2006, ss. 239-250.
11. EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, February 2002.
12. ASTM C 403/403M-99, Standard Test Methods for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance, Annual Book of ASTM Standards, 1999.