

KARIŞIM PARAMETRELERİNİN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN TAZE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Levent EROĞLU

İnŐ. Yök. Müh.

Mustafa ŞAHMARAN

ArŐ. Gör. Dr.

İ. Özgür YAMAN

Doç. Dr.

Mustafa TOKYAY

Prof. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnŐaat Mühendisliği Bölümü

Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, karışım parametrelerinin KYB' nin taze özelliklerine üzerine etkileri, bir istatıksel deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak oluşturulan deney programı çerçevesinde araŐtırılmıŐtır. Bu amaçla, karışımlarda uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı (SA) ve viskozite düzenleyici katkı (VDK) miktarları deneysel programın deĐiŐkenleri olarak belirlenmiŐ ve yayılma apı, V-hunisi, L-kutusu ve ayrışma deneyleri “merkezi kompozit tasarım” yöntemi yardımıyla oluşturulan 21 farklı beton karıŐımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu karıŐımlardan elde edilen deney sonuçları kullanılarak bahsi geçen deneylerde ölçülen taze beton özelliklerini matematiksel olarak ifade eden anlamlı istatıksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller uçucu kül yüzdesi, su-bağlayıcı oranı, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite düzenleyici katkı oranlarının KYB'nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Elde edilen modeller incelendiğinde, beton karıŐımının su-bağlayıcı oranı, bu çalışmada kullanılan parametreler ile oluşturulan modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme özeliği üzerinde en etkili parametre olduğu görölmüŐtür. Buna ilave olarak, polikarboksilik eter bazlı süper

akışkanlaştırıcı katkının, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme yeteneklerini artırırken, özellikle düşük oranlarda uçucu kül kullanılması durumunda ayrışma direncini düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

GİRİŞ

KYB'nin üretiminin ilk olarak 1980'lerin ikinci yarısında Japonya'da geliştirilmesi, sismik bölgelerde yoğun donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek duyulmadan yerleştirilebilen bir betona olan gereksinimden kaynaklanmıştır [1]. Kendi ağırlığı altında akabilmesi ve kalıba kolayca yerleşebilme özeliği nedeniyle yüksek performanslı beton olarak da tanımlanabilmektedir. KYB'nin kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin yanında; imalat süresini kısaltma, işçilik maliyetini düşürme, özellikle yoğun donatılı betonarme elemanlarda betonun kalıba boşluksuz bir şekilde yerleşmesini sağlama ve vibrasyon kaynaklı ses kirliliğini azaltma gibi konvansiyonel betona göre bir çok üstünlüğü vardır.

Uygun bir şekilde tasarlanmış KYB, yeterli akıcılığı sağlamak için düşük akma gerilmesine ve ayrıca ayrışma olmadan homojen bir deformasyon sağlamak için de yeterli bir viskositeye sahip olmalıdır [2]. KYB'de yüksek akıcılık için, yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Fakat bu katkıların kullanımı KYB'nin ayrışma direncinde bir miktar düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle genellikle karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımıyla meydana gelebilecek ayrışmayı azaltmak için ince agrega ve/veya bağlayıcı miktarını artırma yoluna gidilmektedir veya başka bir çözüm yolu olarak süper akışkanlaştırıcı katkıları birlikte, viskosite düzenleyici katkıların kullanımı tercih edilmektedir.

KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkı ve bağlayıcı miktarı konvansiyonel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu yüksek maliyeti azaltma ve kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini elde etmenin olası bir yolu ise beton karışımlarında ilave mineral katkı kullanımıdır. Bu konu ile ilgili birçok araştırma mevcuttur ve geçmişte yüksek oranda (% 70'e varan) uçucu kül kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton üretimi gerçekleştirilebilmiştir [3, 4].

AMAÇ

Betonun taze özelliklerinin, sertleşmiş betonun dayanımı ve durabilitesi üzerinde çok büyük belirleyici etkileri vardır. Bu durum KYB'de ise daha da fazla bir önem arz etmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında KYB'nin

üretiminde kullanılan bazı temel bileşenlerin KYB'nin taze özelliklerine olan etkileri istatistiksel bir deney tasarım tekniği kullanılarak araştırılmış ve matematiksel ifadelerle bu parametrelerin KYB'nin taze özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Ortaya konulan modeller ışığında gelecekte mevcut malzemelerle KYB'nin üretimi için gerekli olan deneme karışım çalışmalarının azaltılması planlanmaktadır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

Tüm deneylerde bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R portland çimentosu (PÇ) ve Çatalağzı termik santralinden elde edilen F sınıfı uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Bu bağlayıcıların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Ayrıca, deneysel çalışmada kimyasal katkı olarak kullanılan polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı katkının (SA) ve sentetik polimer esaslı viskozite düzenleyici katkının (VDK) üreticilerinden elde edilen özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir. KYB üretiminde iri agrega olarak 3 farklı kırma taş, ince agrega olarak ise doğal dere kumu kullanılmıştır. Bu agregalar değişik oranlarda karıştırılarak maksimum agerega çapı 19.1 mm olan bir agrega karışım gradasyonu elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 1. Çimento ve Uçucu Külün Özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	PÇ	UK
CaO (%)	63.27	2.21
SiO ₂ (%)	19.61	54.13
Al ₂ O ₃ (%)	5.86	25.73
Fe ₂ O ₃ (%)	3.40	6.43
MgO (%)	0.95	2.12
SO ₃ (%)	2.45	0.11
K ₂ O (%)	0.54	4.33
Na ₂ O (%)	0.47	0.47
Kızdırma Kaybı (%)	3.02	1.34
Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık	3.18	2.08
Özgül Yüzey (cm ² /kg)	3629	2890

Çizelge 2. Kimyasal Katkılarının Özellikleri

Özellik	SA	VDK
Görünüm	Sıvı	Sıvı
Renk	Kahverengi	Saydam
Ana Kimyasal Yapı	Polikarboksilik eter	Sentetik polimer
Yoğunluk (20 °C), (g/cm³)	1.04 – 1.05	1.01 - 1.02
pH	6.0 – 8.0	6.0 – 9.0
Önerilen Dozaj (%)	1.0 – 2.0	0.3 -1.5

Çizelge 3. Agregaların Karışım Granülometrisi

Elek Boyutu (mm)	19.1	12.70	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15
% Geçen	100.0	81.8	65.7	50.4	34.4	22.3	15.3	10.8	8.1

Beton Karışımları, Üretimi ve DeneYleri

Bu çalışmada kullanılan karışım oranları, daha önce de bahsedildiği üzere “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu tasarım, parametrelerin faktoriyel bir düzende değiştirildiği “iki düzeyli kısmi bir faktoriyel kısım”, aynı karışım oranının tekrarlandığı ve deneylerin tekrarlanabilirliği hakkında bilgi veren bir “merkezi kısım”, ve parametrelerin limit sınırlarının sırayla değiştirilmesiyle oluşturulmuş ikinci dereceden modellerin kurulabilmesine olanak sağlayan bir “uç kısım” olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Bu istatistiksel karışım tasarımının detayları 5 nolu kaynakta görülebilir. Merkezi kompozit tasarım (MKT) yöntemi gereği, modellerde bulunacak olan parametreler karışım tasarımı oluşturulmadan önce kodlanarak çalışmada kullanılan bütün parametreler normalize edilmiştir. Bu kodlama işlemi ile ilgili detaylar Çizelge 4’de sunulmuştur. Böylece kurulacak olan modellerdeki parametrelerin girdi aralıkları -1.68 ile 1.68 olacak şekilde aynı tutulmuştur. Çizelge 5’de ise bütün bu istatistiksel deney tasarım yöntemleri ışığında hazırlanmış olan beton karışım oranları sunulmuştur.

Çizelge 4. İncelenen Parametrelerin Limitleri ve MKT'ye göre kodlanması

Gösterimi	Parametre	Limitleri	MKT'ye göre Kodlanmaları				
			-1.68	-1	0	1	1.68
X ₁	% UK	0.00-70.00 %	0.00	14.16	35.00	55.84	70.00
X ₂	% SA	0.50-2.00 %	0.50	0.80	1.25	1.70	2.00
X ₃	% VDK	0.00-1.50 %	0.00	0.30	0.75	1.20	1.50
X ₄	su/bağlayıcı	0.30-0.60	0.30	0.36	0.45	0.54	0.60

Çizelge 5'de gösterilen karışımların hazırlanmasının ardından, KYB'nin akıcılık ve işlenebilirlik özelliklerini belirlemek üzere yayılma çapı deneyi, viskozitesi hakkında bilgi sahibi olmak için V-hunisi deneyi, dar kesitlerden geçebilme yeteneğini belirlemek için L-kutusu deneyi ve ayrışma oranının tayini için de GTM elek stabilitesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Sözü geçen bütün bu deneyler, Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Çalışma Gurubu tarafından hazırlanan "European Guideliness for Self-Compacting Concrete" KYB ile ilgili standartta anlatılan yöntemlere uygun olarak yapılmıştır [6].

Çizelge 5. Beton Karışım Oranları

Karışım No	UK		SA		VDK		su/bağ.		Beton Bileşenlerinin Miktarları (kg/m ³)					İri İri Açıklama	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₃	X ₄	X ₃	X ₄	Çimento	UK	Su	SA	VDK		İnce Agrega*
	(%)	(%)	(%)		(%)										
1	14.16	0.80	0.30	-	0.30	0.36	429	71	180	4.00	1.50	846	844		
2	55.84	0.80	0.30	0.54	0.30	0.54	221	279	270	4.00	1.50	680	678		
3	14.16	1.70	0.30	0.54	0.30	0.54	429	71	270	4.00	1.50	721	719		
4	55.84	1.70	0.30	0.36	0.30	0.36	221	279	180	8.50	1.50	795	792		
5	14.16	0.80	1.20	0.54	1.20	0.54	429	71	270	8.50	1.50	721	718		
6	55.84	0.80	1.20	0.36	1.20	0.36	221	279	180	4.00	6.00	794	792		
7	14.16	1.70	1.20	0.36	1.20	0.36	429	71	180	4.00	6.00	835	832		
8	55.84	1.70	1.20	0.54	1.20	0.54	221	279	270	8.50	6.00	669	667		
9	35.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	8.50	6.00	756	755		
10	35.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	6.25	3.75	758	755		
11	35.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	6.25	3.75	758	755		
12	35.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	6.25	3.75	758	755		
13	35.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	6.25	3.75	758	755		
14	0.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	500	0	225	6.25	3.75	796	794		
15	70.00	1.25	0.75	0.45	0.75	0.45	150	350	225	6.25	3.75	719	717		
16	35.00	0.50	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	6.25	3.75	762	760		
17	35.00	2.00	0.75	0.45	0.75	0.45	325	175	225	2.50	3.75	753	751		
18	35.00	1.25	0.00	0.45	0.00	0.45	325	175	225	10.00	3.75	762	760		
19	35.00	1.25	1.50	0.45	1.50	0.45	325	175	225	6.25	0.00	753	750		
20	35.00	1.25	0.75	0.30	0.75	0.30	325	175	150	6.25	7.50	857	855		
21	35.00	1.25	0.75	0.60	0.75	0.60	325	175	300	6.25	3.75	658	656		

Merkezel Kısım

Uç Kısım

Kısmi Faktöryel Kısım

Deney Sonuçları

Merkezi Kompozit Tasarım kullanılarak belirlenen karışım oranlarına göre hazırlanan taze haldeki betonların üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Çizelge 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 6. Deney Sonuçları

Karışım No	Yayılnma	V-hunisi	L-kutusu	Ayrışma	Açıklamalar
	Çapı (mm)	Akma Süresi (sec)	H ₀ /H ₁ (%)	Oranı (%)	
1	200	NA	0.00	0.00	Kısmi Faktoriyel Kısım
2	775	1.52	0.73	20.20	
3	720	1.79	1.00	23.64	
4	422.5	NA	0.00	1.80	
5	452.5	2.00	0.04	4.35	
6	200	NA	0.00	0.00	
7	200	NA	0.00	0.00	
8	737.5	1.6	0.77	19.80	
9	525	10.02	0.23	8.64	Merkezi Kısım
10	355	11.34	0.04	3.81	
11	420	13.96	0.37	1.14	
12	430	6.66	0.00	5.26	
13	432.5	7.85	0.08	1.57	
14	240	NA	0.00	1.30	Uç Kısım
15	685	3.10	0.75	13.27	
16	270	NA	0.00	0.76	
17	555	6.81	0.35	7.87	
18	610	3.57	0.60	6.31	
19	255	NA	0.00	1.57	
20	200	NA	0.00	0.00	
21	810	1.25	0.87	27.88	

İSTATİSTİKSEL ANALİZ VE MODELLER

Merkezi Kompozit Tasarım kullanılarak hazırlanan beton karışımlarında yapılan deneysel çalışmalar sonrasında elde edilen sonuçların istatikselsel analizleri en küçük kareler yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiş, ve elde edilen modellerin bir özeti Çizelge 7'de sunulmuştur. Oluşturulan modellerin doğruluğunu kontrol için ANOVA analiz tabloları oluşturulmuştur. Ayrıca model parametrelerinin katsayılarının üzerlerinde birbirlerinden bağımsız olarak "t istatistik" analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin detayları 5 nolu kaynakta görülebilir. Çizelge 7'den görüldüğü üzere korelasyon

katsayıları (R^2) tüm önerilen modeller için yaklaşık % 75'in üzerindedir. Bu yüksek R^2 değerleri önerilen modellerin, deneysel verileri açıklamada yeterli güvenilirlikte olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7. Elde Edilen İstatistiksel Modeller

İlgili KYB Özelliği	Önerilen İstatistiksel Model	R^2 (%)
Yayılma Çapı (cm)	S.F.D. = $45.21 + 9.60X_1 + 6.82X_2 - 8.23X_3 + 19.68X_4$	93.9
V-hunisi Akma Süresi (s)	$1/(V\text{-hunisi akma s.}) = 0.083 + 0.076X_1 + 0.029X_2 - 0.066X_3 + 0.243X_4 + 0.031X_1^2 + 0.119X_4^2 - 0.075X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.068X_1X_4$	99.2
Ayrışma Oranı (%)	A .O. = $4.88 + 2.49X_1 + 2.39X_2 - 2.16X_3 + 8.28X_4 + 3.42X_4^2 - 2.24X_1X_2 + 2.14X_1X_3$	94.2
L-kutusu Yükseklik Oranı (%)	L-kutusu Y.O. = $0.28 + 0.13X_1 + 0.12X_2 - 0.14X_3 + 0.29X_4$	73.7

Yayılma Çapı

Yayılma deneyi ile tespit edilen yayılma çapı verileri kullanılarak yapılan analizler sonrasında elde edilen yayılma çapı modeli Denklem 1'de gösterildiği üzere birinci dereceden lineer bir denklemdir.

$$\text{Yayılma Çapı (cm)} = 45.21 + 9.60X_1 + 6.82X_2 - 8.23X_3 + 19.68X_4 \quad (1)$$

Denklem 1'den görüldüğü üzere, uçucu kül yüzdesi (X_1), süper akışkanlaştırıcı yüzdesi (X_2) ve su-bağlayıcı oranı (X_4) arttıkça yayılma çapı artmaktadır. Diğer taraftan viskozite düzenleyici katkı oranının (X_3) artması durumunda ise yayılma çapında bir azalma gözlenmektedir. Elde edilen denklemde su-bağlayıcı oranının katsayısının (19.68) diğer katsayılardan daha yüksek olmasından dolayı, su-bağlayıcı oranının, yayılma çapı üzerinde bu çalışmada incelenen parametreler arasında en etkilisi olduğu söylenebilir.

V-hunisi Akma Süresi

EFNARC'ın KYB'ler için hazırladığı standartta göre yapılan V-hunisi deneylerinden elde edilen datalar incelendiğinde bazı karışımlar için V-hunisi akma zamanı elde edilememiştir. Dolayısı ile istatistiksel analiz için yeteri kadar data elde amacıyla V-hunisi akma sürelerinin tersi alınarak, V-hunisinden akmayan karışımların $1/(V\text{-hunisi akma süresi})$ değerleri sıfır olarak alınmış ve analizler böylelikle gerçekleştirilmiştir. V-hunisi ile ilgili model Denklem 2'de sunulmuştur.

$$1/(V\text{-hunisi akma süresi}) = 0.083 + 0.076X_1 + 0.029X_2 - 0.066X_3 + 0.244X_4 + 0.031X_1^2 + 0.119X_4^2 - 0.075X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.068X_1X_4 \quad (2)$$

Daha önce bahsi geçen ve modellerin doğruluğunun kontrolünde kullanılan ANOVA analizi bu model için de gerçekleştirilmiş ve modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ispat edilmiştir. Ancak, elde edilen model ikinci dereceden terimler içerdiği ve V-hunisi akma süresinin tersinin alınması gibi bir yaklaşım uygulandığından bu modeldeki parametrelerin V-hunisi akma süresi üzerindeki etkileri diğer modellere göre zordur. Denkleme verilen sadece birinci derecedeki katsayılar dikkate alındığında, uçucu kül yüzdesi, süper akışkanlaştırıcı yüzdesi ve su-bağlayıcı oranı arttıkça V-hunisi akma süreleri azalmakta viskozite düzenleyici katkı oranının artması durumunda ise akma süresi artmaktadır. Elde edilen denklemden görüldüğü üzere, yayılma çapı sonuçlarında olduğu gibi, su-bağlayıcı oranının, V-hunisi akma süresi sonuçlarını belirleyen en etkili parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrışma Oranı

Ayrışma deneyi sonucunda elde edilen datalar yine istatistiksel analizler kullanılarak Denklem 3 elde edilmiştir. Daha önce bahsi geçen kontrol yöntemleri bu model için de kullanılarak doğruluğu test edilmiştir.

$$Ayrışma Oranı (\%) = 4.88 + 2.49X_1 + 2.39X_2 - 2.16X_3 + 8.28X_4 + 3.42X_4^2 - 2.24X_1X_2 + 2.14X_1X_3 \quad (3)$$

Yukarıdaki denklem incelendiğinde parametrelerin ikili ilişkilerinin ve kareli terimlerin de denkleme mevcut olduğu görülmektedir. Böyle ikinci dereceden bir modeli açıklamak için ya üç boyutlu yüzey grafikleri çizilmeli ya da denklemden bazı parametreler sabit tutularak diğerlerinin etkileri araştırılmalıdır. Bu nedenle denklem parametrelerinden 2 tanesi sabit tutulup kontur diyagramları elde edilmiştir. Bu diyagramlar hakkında ayrıntılı bilgiye 5 nolu kaynaktan ulaşılabilmektedir. Elde edilen model kullanılarak çizilen kontur diyagramları ışığında, % 50 oranından uçucu kül kullanılması durumunda süper akışkanlaştırıcı oranındaki artış, ayrışma oranında bir artışa yol açmaktadır. Fakat % 50 oranından fazla uçucu kül kullanılması durumunda süper akışkanlaştırıcının ayrışma üzerindeki bu negatif etkisi ortadan kalkmaktadır. Ayrıca viskozite düzenleyici katkı kullanımı da ayrışmayı önemli ölçüde azaltmaktadır. Diğer taraftan su-bağlayıcı oranındaki artış ise ayrışma oranını artırmaktadır.

L-kutusu Yükseklik Oranı

Yapılan L-kutusu deneylerinde EFNARC KYB standartında belirtildiği üzere ölçülen H_1 ve H_2 yükseklikleri kullanılarak H_2/H_1 oranı hesaplanmış ve bu değerler analiz aşamasında kullanılarak Denklem 4 elde edilmiştir.

$$\text{L-kutusu Yükseklik Oranı (\%)} = 0.278 + 0.126X_1 + 0.116X_2 - 0.141X_3 + 0.293X_4 \quad (4)$$

Denklem 4 incelendiğinde viskosite düzenleyici katkı oranı (X_4) hariç diğer tüm parametrelerin, L-kutusu yükseklik oranı üzerinde pozitif etkisi vardır. Dolayısı ile uçucu kül yüzdesi süper akışkanlaştırıcı oranı ve su-bağlayıcı oranındaki artışlar KYB'nin dar kesitlerden geçebilme yeteneğini artırırken, viskosite düzenleyici katkı oranındaki artış ile azaltılmaktadır. Ayrıca modeldeki parametrelerin katsayıları incelendiğinde en etkili parametrenin yine su-bağlayıcı oranı olduğu sonucuna varılabilmektedir.

SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmalar ve istatistiksel analizler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Bir deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi kullanılarak KYB'nin yayılma çapı, V-hunisi akma süresi, L-kutusu yükseklik oranı ve ayrışma oranı ile ilgili istatistiksel modeller elde edilmiştir ve bu modeller kullanılarak ileride üretilmesi düşünülen KYB'lerin üretiminden önce taze özelliklerinin belirli bir güven aralığında tahmini mümkün olacaktır.
2. Su-bağlayıcı oranı KYB'nin akıcılığı ve dar kesitlerden geçebilme yeteneği üzerinde kurulan modellerdeki parametrelerle karşılaştırıldığında en etkili parametre olduğu görülmüştür.
3. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül KYB'nin akıcılığını, dar kesitlerden geçebilme yeteneğini ve ayrışma direncini artırmıştır. Ayrıca uçucu külün kendiliğinden yerleşebilme özelliklerini elde etmek için gerekli süper akışkanlaştırıcı miktarını azaltmada kullanılabileceği ve böylece KYB'nin kimyasal katkı kullanımını nedeniyle ortaya çıkan yüksek maliyetini azaltmada kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
4. Polikarboksilik eter bazlı süper akışkanlaştırıcı katkı beton karışımlarının akıcılığını ve dar kesitlerden geçebilme yeteneğini

artırmıştır. Öte yandan, özellikle düşük oranlarda uçucu kül kullanımını durumunda ise beton karışımlarının ayrışma direncini azaltmıştır.

5. Sentetik polimer esaslı viskozite düzenleyici katkı ayrışma oranını önemli ölçüde azaltmıştır, ancak akıcılık ve dar kesitlerden geçme yeteneği üzerinde olumsuz etkilere yol açmıştır.

KAYNAKLAR

1. Okamura H., Ouchi M., Self-Compacting Concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, V.1 No.1, 5-15, 2003
2. Khayat, K. H., Workability, Testing and Performance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 96, No.3, 346-353, 1999.
3. Bouzoubaa, N., Laclemi, M., Self-Compacting Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash Preliminary Results, *Cement Concrete Research*, Vol. 31 No. 3, 413-420, 2001.
4. Şahmaran, Yaman İ. Ö., Tokyay M., Development of High Volume Low-Lime and High-Lime Fly Ash Self Consolidating Concrete, *Magazine of Concrete Research*, (Basımda).
5. Eroğlu, L., Modelling the Fresh Properties of Self Compacting Concrete Utilizing Statistical Design of Experiment Techniques, *METU*, MS Thesis, Ankara, Turkey, 2007.
6. European Guidelines for Self Compacting Concrete, *Self-Compacting Concrete European Project Group*, 2005.