



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 1
Article Number: A0047

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING

Received: September 2007
Accepted: December 2007
© 2008 www.newwsa.com

Mehmet Karataş
Kazım Türk
Zülfü Çınar Ulucan
University of Firat
mkaratas@firat.edu.tr
Elazığ-Türkiye

MİNERAL KATKILI KENDİLİĞİNDEN SIKIŞAN BETONLARDA MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, çimento yerine farklı tip ve dozajda mineral katkı (uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD)) içeren kendiliğinden sıkışan betonların (KSB) ve kontrol betonunun maliyet analizi incelenmiştir. KSB karışımları için çökme-yayılma, T_{500} , L-kutusu, V-hunisi ve elek segregasyon işlenebilirlik deneyleri, kontrol betonu için çökme deneyi gerçekleştirilmiştir. Yarmada çekme dayanımı deneyleri için $\phi 150 \times 300$ mm silindir numuneler kullanılırken, basınç dayanımı deneyleri için 150 mm küp numuneler kullanılmıştır. Kür periyodu sonunda, her bir beton özelliğinin tayini için 3'er adet numune test edilmiştir. Her bir beton türü için 2007 yılı inşaat birim fiyatlarından (Bayındırlık Bakanlığı) yararlanarak yapılan maliyet analizinden, 1 MPa basınç ve yarmada çekme dayanımı bedelleri işçilik hariç hesaplanmıştır. Sonuçta hem malzeme, hem de işçilik bedelleri göz önünde bulundurulduğunda, mineral katkılı kendiliğinden sıkışan betonlarda 1 MPa basınç ve yarmada çekme dayanımı bedellerinin geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betondakinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kendiliğinden Sıkışan Beton, Yarmada Çekme Dayanımı, Basınç Dayanımı, Maliyet Analizi, Mineral Katkı, Uçucu Kül, Silis Dumanı

COST ANALYSIS IN SELF-COMPACTING CONCRETE CONTAINING MINERAL ADMIXTURE

ABSTRACT

In this study, cost analysis of self compacting concrete containing different types and dosages of mineral admixtures (fly ash (FA) and silica fume (SF)) and control concrete was examined. Slump-flow, T_{500} , L-box, V-funnel and sieve segregation tests were achieved for SCC mixes and slump test was achieved for control concrete. The compressive strength tests were carried out on the 150 mm cube specimens, whilst the splitting tensile strength tests were carried out on the $\phi 150 \times 300$ mm cylindrical specimens. At the end of curing period, a total of 3 specimens were tested for each concrete property. 1 MPa compressive and splitting tensile strength costs except workmanship were calculated from cost analysis examined by using 2007 construction unit price. Consequently, in view of the fact that both material and workmanship costs, it was determined that 1 MPa compressive and splitting tensile strength costs in SCC containing mineral admixture were lower than in traditional vibrated concrete.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Splitting Tensile Strength, Compressive Strength, Cost Analysis, Mineral Admixture, Fly Ash, Silica Fume

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Herhangi bir vibrasyon işlemine gerek kalmadan kendi ağırlığı ile yerleşen ve sıkışabilen bir beton olarak tanımlanan kendiliğinden sıkışan beton (KSB), 1980'li yılların sonunda Japonya'da [1] deprem bölgelerindeki çok sık donatılı yapılarda kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. KSB'da segregasyon direncini sağlamak için 500-600 kg/m³ 125 mm göz açıklıklı eleğin altında kalan ince toz malzeme kullanılması gerektiği EFNARC [2] tarafından önerilmektedir. Toz miktarını artırmak ya çimento miktarını artırmakla veya karışıma mineral katkı ilave etmekle sağlanır. Karışımdaki çimento miktarını artırmak hem beton maliyetini artırdığından hem de betona artan termal gerilmeler ve rötre gibi olumsuz etkiler kattığından, KSB'daki ince toz malzeme oranını artırmanın tek yolu karışıma puzzolanik ya da daha az reaktif mineral katkıları ilave etmektir. Mineral katkı olarak genellikle uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu, serbest fırın cürufu gibi malzemeler kullanılmaktadır. Betonda mineral katkıların kullanımı, maliyeti arttırmadan beton akıcılığını arttırmak için faydalı olmaktadır. Ayrıca, hem KSB hem de normal betondan üretilen numunelerin basınç ve çekme dayanımlarının 20°C su içindeki kür şartları altında, kapalı naylon içinde ve havada kür edilen numunelere göre daha yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir [3]. Uçucu külün maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları da dikkate alındığında, kendiliğinden sıkışan beton karışımlarında çimento yerine %30 ve/veya %40 oranlarında uçucu kül kullanılması, dayanım özellikleri bakımından daha iyi olacağı görülmüştür [4].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bu çalışmada uçucu kül ve silis dumanı içeren KSB'lar üzerinde basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmış ve bulunan değerlerden faydalanarak 1 MPa basınç ve yarmada çekme dayanımının maliyeti hesaplanarak geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betonla karşılaştırılmıştır.

Kendiliğinden sıkışan betonun geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betona göre birçok önemli avantajı vardır. Bunlardan biri de KSB kullanımının işçilik maliyetlerini düşürmesidir [5]. Öte yandan işçilik açısından yapılan değerlendirmelerde %32'lik bir maliyet azalması elde edildiği rapor edilmiştir. KSB dökümü için tek bir işçi yeterli olmaktadır [6].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

3.1. Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada, Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen N tipi Portland Çimentosu (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Ayrıca, kendiliğinden sıkışan betondaki ince toz malzeme (<0.125 mm) miktarına da katkı sağlamak amacıyla Tunçbilek Termik Santraline ait F sınıfı uçucu külü ve Eti Elektro Metalürji A.Ş.'den temin edilen silis dumanı karışıma mineral katkı olarak katılmıştır. Agregalar ise Elazığ Murat nehrinden temin edilmiştir. Beton karışımındaki mümkün olabilecek en yüksek homojenlik ve doluluğu sağlamak amacıyla, agregalar 0-7, 7-15 ve 15-20 mm tane sınıflarına ayrılmış olup, karışım hesaplarında agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları sırasıyla 2.63, 2.64 ve 2.66 gr/cm³ olarak alınmıştır. Agregaların toz miktarları 0-7, 7-15 ve 15-20 sınıfları için sırasıyla %2.48, %0.21 ve %0.13 olarak, su emmeleri ise sırasıyla %1.57, %1.0 ve %0.7 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan uçucu kül, silis dumanı ve Portland çimentosuna ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri
(Table 1. Composition and physical properties of Portland cement, fly ash and silica fume)

Muhteva	PC (%)	UK (%)	SD (%)
SiO ₂	20.2	58.82	91
Al ₂ O ₃	5.8	19.65	0.58
Fe ₂ O ₃	3.23	10.67	0.24
CaO	64.1	2.18	0.71
MgO	-	3.92	0.33
SO ₃	2.66	0.48	-
Klorür (Cl ⁻)	0.006	-	-
Kızdırma kaybı	2.58	0.91	1.84
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.1	2.08	2.2
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3484	3812	96.5%<45 µm

Portland çimentosu yerine mineral katkı olarak %25, 30, 35 ve 40 oranlarında uçucu kül ve %5, 10, 15 ve 20 oranlarında silis dumanı kullanılarak 8 tip kendiliğinden sıkışan beton ve karşılaştırma amacıyla da sadece portland çimentosu içeren kontrol betonu karışımı olmak üzere 9 tip beton kullanılmıştır. Beton karışımlarının benzerliğinde su/çimento oranının 0.38-0.40 civarında olması hedeflenmiştir. Kullanılan betonlara ait karışım oranları ve bu betonların işlenebilirliğiyle ilgili esas özellikler sırasıyla Tablo 2 ve 3'de verilmiştir.

Betonların üretiminde maksimum tane çapı 20 mm olan doğal çakıl ve nehir kumu (<4 mm) kullanılmıştır. Ayrıca, 660-750 mm çökme-yayılma değerini elde etmek amacıyla 1.06 gr/cm³ yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı bir süper akışkanlaştırıcı (SA) olan Viscocrete 3075 karışımına (çimento+uçucu kül) ve (çimento+silis dumanı) miktarının sırasıyla %1.35 ve %1.78'i oranlarında katılmıştır.

Tablo 2. Kullanılan betonlara ait karışım oranları (kg/m³)
(Table 2. Mix proportions of concretes used during the experiments)

Karışım	Kontrol Beton	Uçucu Küllü (KSB)				Silis Dumanlı (KSB)			
		UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20
Su/bm ^a	0.39 ^b	0.39	0.38	0.38	0.38	0.36	0.38	0.40	0.40
Bağlayıcı	-	500	500	500	500	450	450	450	450
Çimento	350	375	350	325	300	427.5	405	382.5	360
Uçucu kül	-	125	150	175	200	-	-	-	-
Silis dumanı	-	-	-	-	-	22.5	45	67.5	90
Agrega Büyüklüğü									
0-7	800	910	910	910	910	990	990	990	990
7-15	500	450	450	450	450	450	450	450	450
15-20	650	285	285	285	285	285	285	285	285
Kullanılan su	160.00	214.79	212.27	211.44	208.90	185.22	191.11	201.21	202.90
Viscocrete	-	6.75	6.75	6.75	6.75	8.00	8.00	8.00	8.00
Sikament-FFN	5.50	-	-	-	-	-	-	-	-
^a su/bm =su/bağlayıcı malzeme (PÇ+UK or SD) oranı									
^b su/çimento oranı									

KSB karışım oranları deneme testleri ile birlikte EFNARC [2] esas alınarak tayin edilmiştir. KSB karışımı için çökme-yayılma, T_{500} , L-kutusu ve elek segregasyon (Şekil 1) işlenebilirlik deneylerine ait değerleri karışımlardaki su miktarları ayarlanarak elde edilmiştir. İşlenebilirlik testlerinden elde edilen değerler göstermiştir ki, KSB karışımları iyi bir doldurma ve geçme kabiliyetinin yanında, yeterli segregasyon direncine sahiptir (Tablo 3).

Tablo 3. KSB'ların taze beton özellikleri
(Table 3. Properties of fresh concretes)

KSB deneyleri	Kontrol Betonu	Uçucu küllü KSB				Silis dumanlı KSB			
		UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20
Çökme (mm)	68	709 ^b	702 ^b	705 ^b	701 ^b	707 ^b	701 ^b	708 ^b	707 ^b
T_{500} (s)	-	2.44	2.56	3.00	2.89	2.30	1.80	1.20	1.00
V-hunisi (Akma Zamanı) (s)	-	4.50	5.00	5.39	5.52	3.81	3.19	2.44	2.26
L-kutusu: H_2/H_1	-	0.910	0.943	0.953	0.959	0.865	0.876	0.888	0.890
Segregasyon (%)	-	18.4	15.8	15.2	14.4	15.3	17.9	19.8	22.0

^b. çökme-yayılma değerleri



(a)



(c)



(b)



(d)

Şekil 1. Kendiliğinden sıkışan beton için a) çökme-yayılma ve T_{500}
b) V-hunisi c) L-kutusu d) elek segregasyon deneyleri

Figure 1. For self-compacting concrete (a) Slump-flow and T_{500}
b) V-funnel test c) L-box test and d) sieve segregation test for self-compacting concrete)

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Metot (Prepare of Experiment Samples and Method)

KSB karışımlarının karıştırma işlemi, karışımda homojenliği sağlamak amacıyla öncelikle etüv kurusu durumda olan çakıl ve kum karışım suyunun %60' ı ile birlikte 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, bu işlem çimento, mineral katkı, geriye kalan su ve süper akışkanlaştırıcının birlikte karışıma katılarak 45 L hacimli mikser yardımıyla toplam 3 dakikada tamamlanmıştır. Özellikle UK içeren karışımlarda karıştırma süresinin gerekenden fazla olması durumunda taze betonda ayrışmaların gözlemlendiği ve çökme-yayılma değerinin çok fazla arttığı tespit edilmiştir [7].

Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ve çakıl oranları ile özel süper akışkanlaştırıcı (Viscocrete 3075) miktarı sabit, çimento yerine kullanılan uçucu kül ve silis dumanı oranları değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum işlenebilirlik, su/(çimento+uçucu kül (veya silis dumanı)) oranı değiştirilerek sağlanmıştır. Elde edilen karışımlardan, basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri için sırasıyla 150 mm küp ve $\phi 150 \times 300$ mm silindir numuneler hazırlanmıştır. KSB numuneleri için kalıplara sıkıştırılmaksızın kürek yardımıyla dökülen ve kontrol betonu için vibrasyonla sıkıştırma işlemi uygulanan numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp, toplam 28 gün $20 \pm 2^\circ\text{C}$ suda küre maruz bırakılmıştır. Kür periyodu sonunda, her bir beton tipi için 3'er adet numune kullanılarak basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler kaydedilmiştir.

Her bir beton tipi için maliyet analizi yapılmıştır. Kullanılan tüm malzemeler için 2007 Bayındırlık birim fiyatları kullanılmıştır. Silis dumanı ve uçucu külün piyasa fiyatı sırasıyla Eti Elektro Metalürji A. Ş.'den ve Tunçbilek Termik Santrali'nden alınmıştır (Tablo 4). Her bir beton türünün işçilik hariç birim fiyatı hesaplanarak 1 MPa basınç ve yarmada çekme dayanımı bedelleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 4. Kullanılan beton türleri için maliyet analizi
(Table 4. Cost analysis for concrete types used during the experiments)

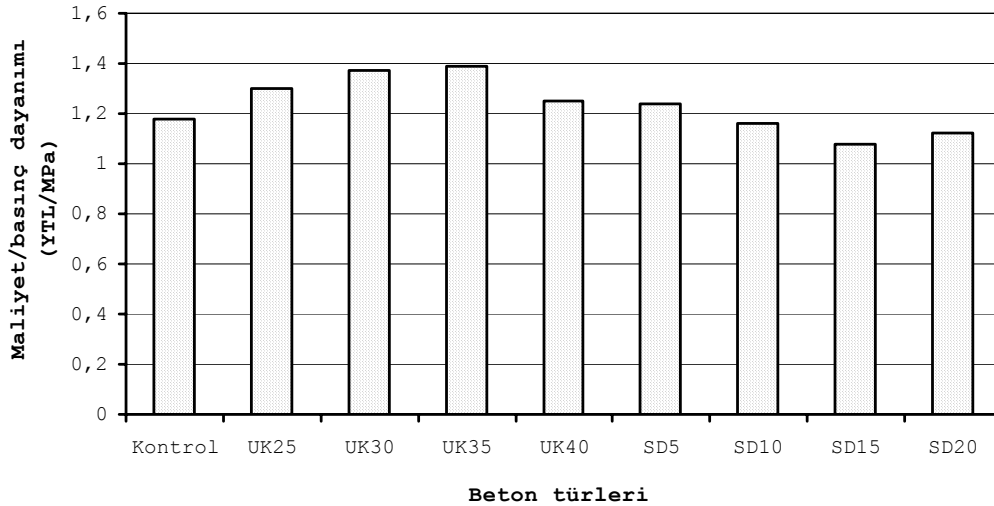
Malzeme	Birim Fiyat	Malzeme Maliyeti (YTL/m ³)								
		Kont.	Uçucu Küllü (KSB)				Silis Dumanlı (KSB)			
			UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20
Çimento	120	42	45	42	39	36	51.3	48.6	45.9	43.2
Uçucu kül	20	-	2.5	3.0	3.5	4.0	-	-	-	-
Silis dumanı	150	-	-	-	-	-	3.38	6.75	10.13	13.5
Kullanılan su	3.5	0.56	0.75	0.74	0.74	0.73	0.65	0.67	0.70	0.71
Viscocrete	6.65	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Sikament-FFN	2.85	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
Kullanılan Agregat (m ³) {Agregalar için gevşek birim hacim ağırlık										
0-7	15.4	7.7	8.76	8.76	8.76	8.76	9.53	9.53	9.53	9.53
7-15	15.4	4.82	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33	4.33
15-20	15.4	6.25	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74	2.74
Toplam (YTL/m ³)		61.35	64.13	61.62	59.12	56.61	71.98	72.67	73.38	74.06

Tablo 5. Kullanılan beton türlerinin işçilik hariç birim fiyatı
(Table 5. Unit price except workmanship of concrete types used during
the experiments)

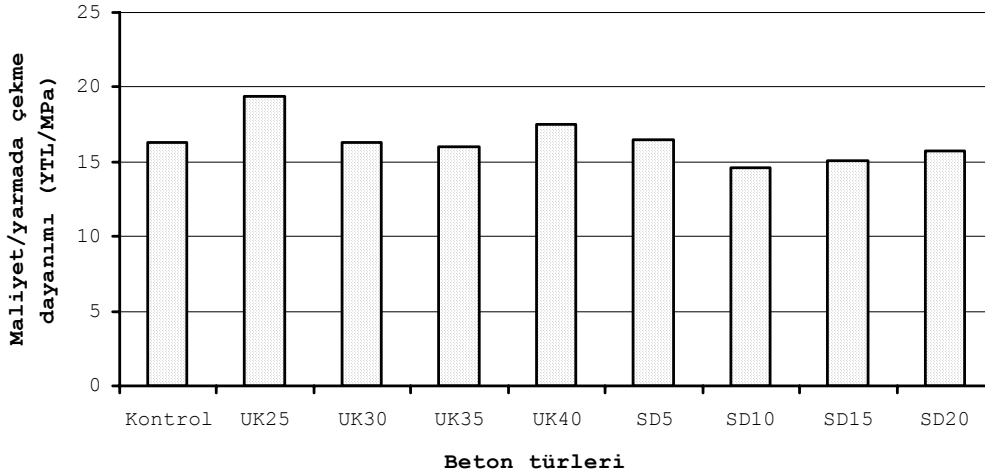
Beton Türleri	Maliyet (YTL)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	Maliyet/Basınç dayanımı (YTL/MPa)	Maliyet/Yarmada çekme dayanımı (YTL/MPa)
Kontrol	61.35	51.93	3.766	1.18	16.29
UK25	64.13	49.39	3.309	1.30	19.38
UK30	61.62	45.11	3.774	1.37	16.33
UK35	59.12	42.56	3.702	1.39	15.97
UK40	56.61	45.26	3.241	1.25	17.47
SD5	71.98	58.04	4.358	1.24	16.52
SD10	72.67	62.81	4.991	1.16	14.56
SD15	73.38	67.95	4.867	1.08	15.08
SD20	74.06	66.35	4.698	1.12	15.76

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Kullanılan beton türleri için Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla maliyet/basınç dayanımı ve maliyet/yarmada çekme dayanımı grafikleri verilmiştir. Bütün SD içeren KSB'lar (SD5 de çok yakın) için işçilik hariç 1 MPa basınç dayanımı elde etmenin maliyeti, geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan kontrol betonuna göre daha düşüktür. Bütün UK içeren KSB'lar içinse işçilik hariç 1 MPa basınç dayanımı elde etmenin maliyeti kontrol betonununkine çok yakındır. Kullanılan bütün KSB'lar için (%25 ve 40 UK hariç) 1 MPa yarmada çekme dayanımı elde etmenin maliyeti kontrol betonundan daha düşüktür. Üstelik verilen bu değerlerde işçilik maliyeti dikkate alınmamıştır ve KSB'ların işçilik maliyetinin de kontrol betonundan en az %32 daha az [6] olduğu bilinmektedir. Bu durumda kullanılan tüm KSB'ların diğer avantajları yanında geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betonlara göre çok ekonomik olduğu söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 2. Kullanılan beton türleri için a) Maliyet/basınç dayanımı b) Maliyet/yarmada çekme dayanımı değerleri
(Figure 2. For concrete types used during the experiments
(a) cost/compressive strength b) cost/splitting tensile strength values for concrete types used during the experiments)

KSB'larda taze betonu sıkıştırma söz konusu olmadığı için, vibratör kullanımından kaynaklanan zaman, enerji ve para kaybı ortadan kalkmaktadır. Vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliği (özellikle prefabrike beton sektörü için) de mevcut değildir. Prefabrike beton sektöründe vibratör kullanımının kalıplara verdiği zarar ortadan kalktığından kalıpların ekonomik ömürleri artmaktadır. KSB kullanımının fabrika içinde de olumlu etkileri mevcuttur. İnsan sağlığı açısından 80 dB üstünde ses; dalgınlık, stres ve yorgunluk gibi rahatsızlıklara sebep olmaktadır. 0.25 m/sn^2 'nin üzerindeki vibrasyon ivmesi kan dolaşımını bozmaktadır. Özellikle, vibrasyon kullanımından kaynaklanan kuvarz tozunun kanserojen etkisi olduğu için 5 mg/m^3 'ün üzerindeki konsantrasyonları insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun gibi sağlık sorunlarının ortadan kaldırılmasının işçilikte %5 tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir [6].

KSB'nun bugün için hazır beton sektöründe üretimi bu özel tip betona talep olmasına bağlıdır. Türkiye'nin oldukça aktif bir deprem bölgesinde olması, beton kalitesine önem verilmesini zorunlu hale getirmektedir. Ucuz ve kalitesiz vibrasyon işçiliğiyle üretilen betonlarda kalitenin tüm yapıda ne kadar homojen olacağı tartışma konusudur.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada çimento yerine karışıma farklı oranlarda UK ve SD katılarak elde edilen KSB'larda 1 MPa basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin maliyeti hesaplanarak geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan kontrol betonuyla karşılaştırılmıştır. Neticede aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Bütün SD içeren KSB'lar (SD5 de çok yakın) için işçilik hariç 1 MPa basınç dayanımı elde etmenin maliyeti, geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan kontrol betonuna göre daha düşüktür.
- Bütün UK içeren KSB'lar için işçilik hariç 1 MPa basınç dayanımı elde etmenin maliyeti kontrol betonununkine çok yakındır.
- Kullanılan bütün KSB'lar için (%25 ve 40 UK hariç) 1 MPa yarmada çekme dayanımı elde etmenin maliyeti kontrol betonundan daha düşüktür.



- KSB'ların işçilik maliyetinin kontrol betonundan en az %32 daha az olduğu dikkate alındığında, kullanılan tüm KSB'ların geleneksel vibrasyonla sıkıştırılan betonlara göre çok ekonomik olduğu söylenebilir.
- Özellikle KSB'larda herhangi bir sıkıştırma işlemine gerek duyulmadığından vibratör kullanımının meydana getirdiği ek bedel ve gürültünün meydana getirdiği sıkıntılar ortadan kalkmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ozawa K., Maekawa, K., Kunishima, M., and Okamura, H., (1989). Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, The second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Proceedings book, Chiang Mai, Thailand, pp:445-450.
2. EFNARC, (2005). European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification and Production and Use, Association House, UK. (www.efnarc.org).
3. M. Kurita & T. Nomura., (1998). Highly-flowable steel fiber-reinforced concrete containing fly ash, in: V.M. Malhotra (Ed.), Am. Concr. Inst. SP 178, pp:159-175.
4. Türk, K., Karataş, M. ve Ulucan, Z.C., (2006). Farklı Oranlarda F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Cilt:18, Sayı:4, ss:513-520.
5. Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö. ve Tokyay, M., (2004). Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul.
6. Felekoğlu, B., Türkel, S. ve Baradan, B., (2004). Kendiliğinden Yerleşen Beton Potansiyel Avantaj ve Dezavantajları TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, Yıl:19, Sayı:120, ss:32-36.
7. Karataş, M. ve Ulucan, Z.Ç., (2007). F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonda Karışım Süresinin İşlenebilirliğe Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları (DAUM) Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, ss:69-72.