

## En az Miktarda Süper Akışkanlaştırıcı ve Kireçtaşı Tozu Kullanarak Düşük Maliyetli KYB Üretimi

\*Kazım TÜRK<sup>1</sup>, Paki TURĞUT<sup>2</sup>, Bilal ÇELİK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, MALATYA  
<sup>2</sup>Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

\*kazim.turk@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 07.03.2014; Kabul/Accepted: 09.08.2014)

### Özet

Bu çalışmada, Şanlıurfa'daki 3 hazır beton firmasının ürettikleri farklı dayanımdaki geleneksel sıkıştırılan beton (GSB) karışımları dikkate alındı. Daha sonra, bu karışımlarda kullanılan benzer agregalar ile düşük miktarda polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı ve Şanlıurfa'da oldukça yüksek rezerve sahip kireçtaşı tozu (KTT) kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımları üretildi. 500 kg/m<sup>3</sup> toz malzeme içeren karışımlar için EFNARC'ın belirlediği çökme-yayılma ve T<sub>50</sub> deneyleri yapıldı. Numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra 28 gün 20±3 °C suda kür edildi ve basınç testine tabi tutuldu. Sonuç olarak, hazır beton firmalarının ürettikleri GSB ile benzer dayanımdaki (C25 ve C30) KYB karışımlarının fayda/maliyet analizleri yapıldığında GSB'den daha düşük maliyette KYB elde edildiği görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Kendiliğinden Yerleşen Beton, Kireçtaşı Tozu, Süper Akışkanlaştırıcı, Maliyet.

## The Production of SCC with Low-Cost Using Minimum Amount Superplasticizer and Limestone Powder

### Abstract

In this study, it was considered 3 different ready mix concrete companies producing conventional concrete (CC) in Sanliurfa, Turkey. Later, self-consolidating concrete (SCC) including same aggregates as those of conventional concrete was produced using minimum amount superplasticizer based on polycarboxylic acid and limestone powder (LSP) that exists in large quantities in Sanliurfa, Turkey. Slump-flow and T<sub>50</sub> tests were performed for SCC mixtures containing 500 kg/m<sup>3</sup> powder. After the specimens produced was demoulded, these was stored under water at 20±3 °C for 28 days and then tested for compressive strength. Finally, it was seen that it can be produced SCC at lower cost than CC when it was done cost-benefit analysis of CC produced by ready mix concrete companies and SCC having same strength (C25 ve C30) as those of CC.

**Keywords:** Self-Consolidating Concrete, Limestone Powder, Superplasticizer, Low-Cost.

### 1. Giriş

Deprem bölgelerindeki çok sık donatılı yapılar için kullanmak amacıyla 1980'li yılların sonunda Japonya'da [1] geliştirilen kendiliğinden yerleşen beton (KYB), mükemmel şekil değiştirebilme yeteneğine ve segregasyona karşı yüksek dirence sahip olan bir beton olarak tanımlanır. KYB herhangi bir sıkıştırma işlemi olmaksızın sık donatılı alanlara da kolaylıkla yerleşebilir [2,3]. Kendiliğinden yerleşen taze beton yeterli homojenliğini korurken, kendi ağırlığı vasıtasıyla kalıbı tamamen doldurmak ve donatı çubuklarını sarmak kabiliyetine sahip bir

beton olarak da tanımlanır [4]. Bu kabiliyet taze betona uygun reolojik özelliklerin (yeterli plastik viskoziteyle birlikte düşük akma gerilmesi değeri) sağlanmasıyla başarılır. Süper akışkanlaştırıcı kullanımı ve ince tane dolgu malzemesi ve böylece akma davranışının optimize edilmesi KYB'nin karışım oranının ayarlanmasında esas teşkil etmektedir [5]. Çünkü, KYB'nin akıcılığı yüksek oranda su azaltıcı katkıların karışıma katılması ile mümkün iken, segregasyona karşı direnci viskozite ayarlayan katkı veya karışımdaki ince malzeme miktarının arttırmakla sağlanmaktadır. Ayrıca, EFNARC işlenebilirlik deney metodlarını

(genelde çökme-yayılma,  $T_{50}$ , L-kutusu) esas olarak uygun bir KYB karışımı elde etmenin birçok etkene bağlı olduğundan bahsederken, bunlardan en önemlisinin karışımdaki toz madde miktarı olduğunu belirtmektedir. KYB'lerde toz maddeler, 0.125 mm' den daha küçük ve karışımda 380 ila 600 kg/m<sup>3</sup> arasında olması gereken her türlü inorganik madde olarak tanımlanır [6]. Çünkü tane boyutunun küçülmesi parçacıklar arası etkileşimin artmasına sebep olur ve bu etkileşim viskoziteyi artırır. Toz madde kullanımı, karışımın katı iskeletini zenginleştirir ve malzemeyi daha kompakt hale getirir. Harcın agregaları daha iyi sarmasını sağlar [7]. Diğer taraftan karışım için gerekli toz madde miktarını tamamen çimento ile karşılamanın, hem ekonomik açıdan hem de beton özelliklerini olumsuz etkileyecek hidrasyona bağlı reaksiyonların gelişmesi bakımından iyi olmayacağı açıktır. Bu sebeple KYB karışım tasarımında, toz madde miktarını arttırmak amacıyla çimento yerine belli bir oranda mineral katkı (Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, kireçtaşı tozu v.b.) kullanılması kaçınılmazdır.

Kendiliğinden yerleşen beton hem işlenebilirlik hem de sertleşmiş özellikleri bakımından sahip olduğu önemli avantajlara rağmen, kullanımının benimsenmesi beklenildiği kadar hızlı olmamaktadır. Bunun en önemli sebeplerinden birinin maliyet olduğu, bu çalışmanın esasını teşkil eden Şanlıurfa'daki faaliyet gösteren hazır beton santrallerinin işletmecileri ile yapılan görüşmelerde açıkça görülmüştür. KYB bileşenleri geleneksel sıkıştırılmış betonlara kıyasla bazı farklılıklar göstermektedir. Bunlar içerisinde maliyeti etkileyen en önemli iki bileşen yeni nesil süperakışkanlaştırıcı ile KYB'de istenen toz miktarını sağlamak amacıyla kullanılan mineral katkıdır. Çünkü süperakışkanlaştırıcıların fiyatının GSB'de kullanılan melamin veya sülfonat esaslı akışkanlaştırıcılara göre yaklaşık iki kat olması ve ince taneli mineral katkı temininin birkaç yöre dışında üretim maliyetini arttırması, KYB'nin kullanımının yaygınlaşmasında öne çıkan önemli engellerden olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, KYB maliyetinin artmasında etkili olan iki bileşeni esas olarak, düşük maliyetli KYB üretmektir. Bu amaçla

yüksek oranda su azaltıcı karboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'nin önerdiği minimum miktar olan bağlayıcı malzeme ağırlığının %0.8 oranında kullanılmış ve ince taneli toz malzeme olarak da Şanlıurfa'da kolaylıkla temin edilebilecek ve seksen üç milyon ton gibi yüksek bir rezervi bulunan kireçtaşından [8] elde edilebilen kireçtaşı tozu kullanılmıştır. Böylece, aynı dayanıma sahip ve GSB'ye göre daha düşük maliyette KYB üretileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışmada, Limak Şanlıurfa Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42.5N kullanılmıştır. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen betondaki ince toz malzeme (<0.125 mm) miktarına da katkı sağlamak amacıyla Şanlıurfa Baysallar Kırmataş Agregası Ocağından kireçtaşı tozu (KTT), temin edilmiştir. Agregalar ise A, B ve C hazır beton firmaları için geleneksel beton üretiminde kullandıkları doğal nehir kumu, kırma bazalt kumu, çakıl olarak kırma bazalt ve kireçtaşı ile doğal nehir çakılı bu firmalardan temin edilmiştir. Agregaların su emmeleri doğal nehir kumu için %1.5, kırma bazalt kumu için %1.5, doğal nehir ve kırma bazalt çakıl için sırasıyla %0.9 ve %1 ve kırma kireçtaşı için ise % 1.58 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 1.** PÇ ve KTT kimyasal ve fiziksel özellikleri

Malzemeler	PÇ (%)	KTT (%)
SiO <sub>2</sub>	20,22	0.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,82	0.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,32	0.20
CaO	63,83	54.69
MgO	1,90	0.44
SO <sub>3</sub>	2,38	-
Klorür (Cl <sup>-</sup> )	0,10	-
Kızdırma kaybı	2,1	-
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,11	2.61
Özgül yüzey alanı (cm <sup>2</sup> /g)	3115	4304

Ayrıca, karışımlarda kimyasal katkı olarak 1.05 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı bir hiperakışkanlaştırıcı (HA) %0.8 oranında kullanılmıştır. Kullanılan Portland

çimentosu ve kireçtaşı tozuna ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler ise Tablo 1.' de verilmiştir.

## 2.2. Karışımların Hazırlanması ve İşlenebilirlik Testleri

Bu çalışmada, tüm karışımlarda toplam toz miktarı (çimento dahil) 500 kg/m<sup>3</sup> olan ve Portland çimentosu yerine toz malzeme olarak % 40, 45 ve 50 oranlarında kireçtaşı tozu kullanılarak yayılması 745±15 mm olan 6 tip kendiliğinden yerleşen beton üretilmiştir. Betonların üretiminde maksimum tane çapı 20 mm olan doğal nehir çakılı, kırma bazalt ve kireçtaşı ile nehir ve kırma bazalt kumu (<5 mm) kullanılmıştır.

KYB karışımları EFNARC'ta [6] tanımlanan çökme-yayılma ve T<sub>50</sub> (Şekil 1.)

**Tablo 2.** C25 Dayanımlı GSB ve KYB karışım oranları (kg/m<sup>3</sup>)

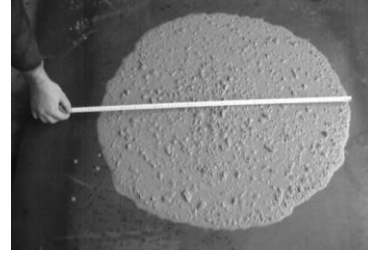
Karışım	GSB			KYB		
	A Firması	B Firması	C Firması	A Firması	B Firması	C Firması
Su/Toz Malzeme	0.54	0.51	0.59	0.34	0.39	0.40
Çimento (PÇ42.5)	340	370*	350	250	275	250
Kireçtaşı Tozu	-	-	-	250	225	250
Kimyasal Katkı	2.07	4.44	1.40	4	4	4
Agrega Tane Büyüklüğü						
İnce	1080	950	940	915	910	958
Orta	375	500	575	499	497	523
İri	455	360	255	249	248	261
Çökme-yayılma (mm)	-	-	-	753	743	730
T <sub>50</sub> (sn)	-	-	-	1.12	1.63	2.46

**Tablo 3.** C30 Dayanımlı GSB ve KYB karışım oranları (kg/m<sup>3</sup>)

Karışım	GSB			KYB		
	A Firması	B Firması	C Firması	A Firması	B Firması	C Firması
Su/Toz Malzeme	0.52	0.48	0.61	0.38	0.38	0.40
Çimento (PÇ42.5)	345	350	350	275	300	275
Kireçtaşı Tozu	-	-	-	225	200	225
Kimyasal Katkı	3.48	5.25	3.50	4	4	4
Agrega Tane Büyüklüğü						
İnce	1080	930	980	888	913	958
Orta	380	500	455	485	498	523
İri	450	460	355	242	249	261
Çökme-yayılma (mm)	-	-	-	740	735	743
T <sub>50</sub> (sn)	-	-	-	2.80	2.51	1.63

## 2.3. Basınç Dayanımı Testleri

işlenebilirlik deneyleri esas alınarak karışım su miktarının değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Elde edilen betonlara ait karışım oranları ve işlenebilirlik testlerine ait bulgular Tablo 2.' de verilmiştir. Karışımların tanımlanmasında kullanılan kısaltmalarda ilk harf firmayı ve sonraki değer karışımdaki çimento miktarını (kg) temsil etmektedir.



**Şekil 1.** Kendiliğinden yerleşen beton için çökme-yayılma ve T<sub>50</sub> testleri

24 saat sonunda kalıptan çıkarılan ve her bir firma için 250, 275 ve 300 kg/m<sup>3</sup> çimento

içeren numuneler toplam 28 gün  $20 \pm 3$  °C’ de kür edildikten sonra, tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanım testinde her bir beton tipi için 3’er adet 15cm’lik küp numuneler kullanılmıştır.

Her bir firma için üretilen KYB numunelerine ait basınç dayanım değerlerinden 28 günlük silindir dayanımı 25 ve 30 MPa olan KYB numuneleri esas alınarak aynı dayanımdaki GSB’ler ile maliyet karşılaştırılmasına gidilmiştir. Elde edilen dayanım değerlerinden geleneksel betona göre KYB karışımlarında, daha düşük dozajlarda daha yüksek dayanımlara ulaşıldığı tespit edilmiştir.

### 3. Fayda/Maliyet Analizi

Tablo 4.’de betonu oluşturan bileşenlerin birim fiyatları verilmiştir. Kum, İnce çakıl, İri çakıl fiyatları aynıdır (agreganın cinsi ve tane büyüklüğüne göre değişmemektedir). Kireçtaşı tozu, kalker agregaların 0.125 mm elekten yıkanmasından elde edildiğinden, sadece su sarfiyatı vardır. Depoya taşınan kireçtaşı tozu doğal haliyle kurumaktadır. Yaz mevsiminde kurutulup, siloya depolanmaktadır.

**Tablo 4.** Bileşenlerin birim fiyatları

Bileşenler	Birim Fiyatı	
Çimento	TL/Kg	0.118
Agrega	TL/Kg	0.015
Mini Süper Katkı	TL/Kg	0.8
Hiper Katkı	TL/Kg	2.5
Kireçtaşı Tozu	TL/Kg	0.017
Su	TL/Ton	0.95

**Tablo 5.** C 25 Betonu Birim Maliyetleri (TL/ m<sup>3</sup>)

	GSB			KYB		
	A	B	C	A	B	C
Çimento	40.12	43.66	41.3	29.5	32.45	29.5
Kireçtaşı Tozu	-	-	-	4.25	4.675	4.25
Kimyasal Katkı	1.656	3.552	1.12	10	10	10
Su	0.1748	0.17955	0.19665	0.1615	0.18525	0.19
Kum	16.2	14.25	14.1	13.725	13.65	14.37
İnce Çakıl	5.625	7.5	8.625	7.485	7.455	7.845
İri Çakıl	6.825	5.4	3.825	3.735	3.72	3.915
<b>Bileşen Maliyeti</b>	<b>70.60</b>	<b>74.54</b>	<b>69.17</b>	<b>68.86</b>	<b>72.14</b>	<b>70.07</b>
İşçilik Maliyeti	4	4	4	4	4	4
İşletme Gideri	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Vibrasyon Gideri	0.125	0.125	0.125	-	-	-
Nakliye Bedeli	15.6	15.6	15.6	14.6	14.6	14.6
<b>Sınai Maliyet</b>	<b>92.08</b>	<b>96.02</b>	<b>90.64</b>	<b>89.21</b>	<b>92.49</b>	<b>90.42</b>

Geleneksel sıkıştırılan beton ile kendiliğinden yerleşen betonların C25 ve C30 sınıfları için birimi maliyet analizleri sırasıyla, Tablo 5 ve 6’da verilmektedir. Nakliye Bedeli, kepçenin bunkerlere malzeme taşınması, mikser taşınması ve pompalama işlemlerinden oluşmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun pompalanması

hızlı olduğundan, Tablo 5 ve 6’de nakliye bedeli normal betona kıyasla 1 TL azaltılmıştır. Ayrıca pompanın bakım onarım maliyetleri de azalmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonda vibrasyon kullanılmadığından, vibrasyon gideri yoktur. Ayrıca, müteahhit açısından KYB’de mastarlama işlemi yapılmadığından kâr vardır.

Müteahhit zaman açısından da kazanç sağlamaktadır.

**Tablo 6.** C 30 Betonu Birim Maliyetleri (TL/ m<sup>3</sup>)

	GSB			KYB		
	A	B	C	A	B	C
Çimento	40.71	41.3	41.3	32.45	35.4	32.45
Kireçtaşı Tozu	-	-	-	3.825	3.4	3.825
Kimyasal Katkı	2.784	4.2	2.8	10	10	10
Su	0.171	0.1596	0.2033	0.1805	0.1805	0.19
Kum	16.2	13.95	14.7	13.32	13.695	14.37
İnce Çakıl	5.7	7.5	6.825	7.275	7.47	7.845
İri Çakıl	6.75	6.9	5.325	3.63	3.735	3.915
<b>Bileşen Maliyeti</b>	<b>72.32</b>	<b>74.01</b>	<b>71.15</b>	<b>70.68</b>	<b>73.88</b>	<b>72.60</b>
İşçilik Maliyeti	4	4	4	4	4	4
İşletme Gideri	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Vibrasyon Gideri	0.125	0.125	0.125	-	-	-
Nakliye Bedeli	15.6	15.6	15.6	14.6	14.6	14.6
<b>Sınai Maliyet</b>	<b>93.79</b>	<b>95.48</b>	<b>92.63</b>	<b>91.03</b>	<b>94.23</b>	<b>92.95</b>

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren 3 hazır beton santrali firmasının ürettikleri C25 ve C30 geleneksel sıkıştırılan beton karışımları esas alındı. Daha sonra, yine bu betonların üretiminde kullanılan agregalar, toz malzeme olarak da Şanlıurfa'da oldukça yüksek rezerve sahip kireçtaşı tozu ve minimum dozajda polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcıdan benzer dayanımda KYB karışımları üretildi. Yapılan deneysel çalışma bulguları ve GSB ile KYB' nin maliyet analizleri esas alındığında, aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Kireçtaşı tozu kullanarak düşük maliyetli kendiliğinden yerleşen beton geliştirme imkânı uygulanabilir. Çünkü çimento yerine yaklaşık %50 oranında kireçtaşı tozu kullanılarak düşük maliyetli KYB üretilebilir.
2. Taze haldeki tüm KYB karışımlarının çökme-yayılma değerleri EFNARC'ın belirlediği sınır değerler içinde kalırken bazı karışımlara ait T<sub>50</sub> değerleri bu değer aralıklarının dışında kaldı. Bu

sebeple, beton kalıba yerleştirilmeden önce taze haldeki beton özellikleri kontrol edilmelidir.

3. Özellikle toz malzeme miktarının KYB' de istenilen işlenebilirliği sağlamak için önemli bir faktör olduğu açıktır. EFNARC'ın belirlediği toz malzeme miktarının çimentoya ilaveten mineral katkılarla (uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi) karşılandığı düşünülürse, bu tür malzemelerin Şanlıurfa'ya uzak yerlerde mevcut olduğu itibarıyla kireçtaşı tozunun çimento yerine kullanılması maliyet açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

4. Kendiliğinden yerleşen betonun pompalanması hızlı olduğundan, nakliye bedeli normal betona kıyasla 1 TL azaltılmıştır. Ayrıca pompanın bakım onarım maliyetleri de azalmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonda vibrasyon kullanılmadığından, vibrasyon gideri yoktur. Ayrıca, müteahhit açısından KYB'de mastarlama işlemi yapılmadığından kâr vardır. Müteahhit zaman açısından da kazanç sağlamaktadır.

5. Sonuçta, çimento yerine %50 civarında kireçtaşı tozu kullanılarak üretilen KYB'lerin maliyet bakımından Şanlıurfa'daki Hazır beton santrallerinde üretilen GSB' ye kıyasla hem bileşen hem de sınaî maliyeti bakımından daha ucuz olacağı görülmüştür.

6. Durabilite durumları dikkate alınmamıştır. İleri çalışma olarak kalacaktır.

## 5. Kaynaklar

1. Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H., (1989). Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures. *Proceedings of the Second East Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Vol. 1, 445-450.
2. Ozawa, K., Maekawa, K., and Okamura, H., (1990) High performance concrete with high filling capacity. *Proceeding of the International Symposium on Admixtures for Concrete, Held by RILEM*, Barcelona, 51-62.
3. Shindoh, T., Yokota, K. and Yokoi, K., (1996). Effect of mix constituents on rheological properties of super workable concrete, *Proceedings of the International RILEM Conference Production Methods and Workability of Concrete*, Paisley, Scotland, London, 263–270.
4. Skarendahl, A., (2000). Definitions. *Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee*, 174-SCC, RILEM Report 23, RILEM, Cachan Cedex, 3-5.
5. Tangtermsirikul, S. And Khayat, K., (2000). Fresh concrete properties. *Self-Compacting Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee*, 174-SCC, RILEM Report 23, RILEM, Cachan Cedex, 17-22.
6. EFNARC, (2005). European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *Specification and Production and Use*, Association House, UK, ([www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)).
7. Sari, M., Prat, E. and Labastire, J.F., (1999). High strength self-compacting concrete—original solutions associating organic and inorganic admixtures. *Cement and Concrete Research*, 29, 813-818.
8. VI. Beş Yıllık Plan (1992). ÖİK Yapı Endüstrisi Hammaddeleri Alt Komisyon Raporu.