



Skoria agregası ile yüksek dayanımlı yarı hafif beton üretim olanakları

Hatice ÇİÇEK

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır

İsmail Ağa GÖNÜL*

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır

ismail@dicle.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9833-7140, Tel: (412) 241 10 00 (3720)

Geliş:08.09.2017, Kabul Tarihi:04.10.2017

Öz

Bu çalışmada, skoria agregası ile hem katkısız hem de hiper akışkanlaştırıcı katkılı 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretim olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, bileşenlerinin oranları farklı olan altı katkısız ve dokuz hiper akışkanlaştırıcı katkılı 'skoria agregalı beton karışımı' hazırlanmış, bu beton karışımları ile de test numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan test numunelerinin basınç dayanımı ve etiv kurusu yoğunluğu değerleri ise ilgili Türk standartlarındaki prosedürler izlenerek belirlenmiştir.

Yapılan testlerin sonucunda; skoria agregası ile

- katkısız basınç dayanımı değerleri (44.09-50.99) MPa, etiv kurusu yoğunluğu değerleri (1.93-2.03) Mg/m³ aralığında olan,*
- hiper akışkanlaştırıcı katkılı ise basınç dayanımı değerleri (56.21-66.26) MPa, etiv kurusu yoğunluğu değerleri (2.03-2.11) Mg/m³ aralığında olan*

'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Hiper akışkanlaştırıcı katkı, sabit tutulan çimento dozajı için yüksek oranda su indirgemeye olanak vererek basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %22.18, etiv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %4.81 daha fazla olan 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretilebilmesini sağlamıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan skoria agregası, girintili çıkıntılı biçimi, pürüzlü yüzeyi, puzolanik etki yaratan kimyasal yapısı ve hafif bir agregaya göre yüksek yoğunluğu ve dayanımı ile yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilebilmesine, normal agregadan daha düşük olan yoğunluğu ile de yarı hafif beton üretilebilmesine imkân vermiştir. Bu bağlamda, çalışma için seçilen skoria agregasının, 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretimi için çok uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri olduğu düşünülmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler, bu yargıyı desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: skoria; hafif agrega; yüksek dayanımlı beton; yarı hafif beton; yüksek dayanımlı yarı hafif beton; hiper akışkanlaştırıcı katkı

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Yüksek dayanımlı beton, son zamanlarda yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu betonun reolojik, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin konvansiyonel betondan daha iyi olması, kullanım alanını arttırmıştır (Shannag, M.J., 2000).

ACI 213R-03 (2003)'de, 28 günlük basınç dayanımı minimum 40 MPa ve yoğunluğu (1.07-1.87) Mg/m³ aralığında olan beton 'yüksek dayanımlı hafif beton' olarak tanımlanmıştır. Yoğunluğu (2.19-2.43) Mg/m³ aralığında olan beton ise 'normal beton' olarak sınıflandırılmıştır. Bu iki grup arasında kalan ve yoğunluğu (1.87-2.19) Mg/m³ aralığında olan beton ise 'spesifik yoğunluklu beton' olarak adlandırılmıştır (verilen yoğunluk değerleri, ACI raporundaki sınıflandırmada kullanılan 'denge (equilibrium)' yoğunluk değerleri değil, aynı raporda verilen hesaplama yöntemi kullanılarak bulunan eş değer 'etüv kurusu (oven-dry)' yoğunluk değerleridir). CSA (Canadian Standards Association)'nın A23.3-14 (2014) nolu standardında ise, 'hafif beton' ile 'normal beton' arasındaki benzer yoğunluk değerlerine sahip beton 'yarı hafif beton' olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da bu adlandırma tercih edilmiştir.

Yüksek dayanımlı beton üretebilmek için çimento hamuru ve ara yüzey bölgesindeki boşluk ve mikro çatlakların azaltılması gerekmektedir. Bu boşluk ve mikro çatlaklar azaltıldığında betonun yoğunluğu yükselmektedir. Bu durumda, hem yüksek dayanımlı hem de normal betona göre daha hafif olan beton üretimi için normal agregaya yerine hafif agregaya tercih edilmektedir.

Hafif agregaya ile yüksek dayanımlı beton üretim çabalarında, 'hafif' beton yerine 'yarı hafif' beton üretimine yönelmenin en temel amacı daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edebilmektir. Zira betonun basınç dayanımını arttırabilmek için yapılması gereken bazı düzenlemeler betonun yoğunluğunun da arttırılmasını gerektirmektedir. Beton yoğunluğundaki düşük oranlı artışlar ise basınç

dayanımında yüksek oranlı artışlar sağlayabilmektedir. Bu durumda strüktürel verimliliği (dayanım/yoğunluk oranı) daha yüksek olan beton üretilebilmektedir.

'Yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretimi için kullanılacak hafif agregaya çeşidinin yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilebilmesine imkân verecek özelliklerinin olması gerekmektedir. Çoğu hafif agregaya ile yüksek dayanımlı beton üretmek mümkün değildir. Yüksek dayanımlı beton üretmeyi mümkün kılan hafif agregaların her biri de özelliklerine bağlı olarak, farklı basınç dayanımı ve yoğunluk değerleri elde edilebilmesine imkân vermektedir. Bu bağlamda, 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretimi için kullanılacak hafif agregaya çeşidi elde edilecek performansı önemli ölçüde etkilemektedir.

Özellikleri birbirinden farklı birçok hafif agregaya çeşidi vardır. Doğal hafif agregalardan biri de skoria agregasıdır. Skoria agregası ile ilgili sınırlı sayıda çalışma (SamsonDuna, 2017; Gomes, 2015; Lau vd., 2014; Kılıç vd., 2009; Gönül, 2008; Hossain, 2006; Kılıç vd., 2003; Yaşar vd., 2003; Moufti vd., 2000; BE96-3942/R17, 2000) yapılmış olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmalar da genellikle skoria agregası ile hafif beton üretimine yönelik olmuştur. Skoria agregası; kimyasal içeriği, ideal şekil indisi, yüksek yoğunluk ve dayanımı, pürüzlü yüzey yapısı ve reaktivitesi ile yüksek dayanımlı yarı hafif beton üretimi için çok uygun bir agregaya olarak görülmektedir. Bu nedenle, skoria agregası ile 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretim olanaklarının araştırılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmanın ilk kısmında skoria agregası ile katkısız 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretim olanakları araştırılmıştır. Günümüzde, betonun basınç dayanımını arttırabilmek için çeşitli katkılardan yararlanılmaktadır. Bu katkılardan biri de akışkanlaştırıcı katkılardır. Bunlar içerisinde, en son geliştirilmiş olanlar ise "hiper" akışkanlaştırıcı katkılardır. Çalışmanın ikinci kısmında da skoria agregası ile hiper akışkanlaştırıcı katkılı 'yüksek dayanımlı yarı

hafif beton' üretim olanakları araştırılmıştır. Bu kimyasalların skorja agregası ile beton üretiminde kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile elde edilecek olanakların, 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretim seçeneklerine ekolojik ve ekonomik açıdan değerlendirilebilecek yeni alternatifler eklemesi umulmaktadır.

Yöntem

Beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışma kapsamında belirtilen amaç doğrultusunda ve çimento miktarı tüm karışımlarda aynı olacak şekilde;

- iki farklı S/Ç (*su/çimento*) ve üç farklı A_{iri}/A (*iri agrega/tüm agrega*) oranlı altı KSAB (*katkısız skorja agregalı beton*) karışımı ve
- tek S/Ç, üç farklı A_{iri}/A ve üç farklı HAK/Ç (*hiper akışkanlaştırıcı katkı/çimento*) oranlı dokuz HAKSAB (*hiper akışkanlaştırıcı katkı skorja agregalı beton*) karışımı hazırlanmıştır.

Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve orantıları Tablo 1'de verilmiştir. Beton karışımları bileşenlerini orantılamada "mutlak hacim yöntemi" kullanılmıştır. Her bir beton karışımının yüksek dayanımlı, yarı hafif ve minimum 2.5 cm çökme değeri olması hedeflenmiştir. Beton karışımları bileşenlerinin nihai oranları, bu hedefler doğrultusunda hazırlanan deneme beton karışımları sılandıktan sonra belirlenmiştir. Beton karışımlarında kullanılmadan önce dere kumu agregası etüvde tamamen kurutulmuştur. Hafif agregaların ise beton karışımlarında kullanılmadan önce on dakika su emdirilmeleri önerilmektedir. Ancak, beton karışımlarında yüksek dozajda çimento kullanıldığı ve 30-35 °C'lik ortam sıcaklığında üretim gerçekleştirildiği için bu sürenin yeterli olmayacağı düşünülmüştür. Bu nedenle skorja agregasının etüvde tamamen kurutulup otuz dakika su emdirildikten sonra kullanılması tercih edilmiştir. Agregaların doyma suyu miktarları sonradan beton karışımlarına eklenmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve orantıları

Hazırlanan Beton Karışımları	Bileşenlerin Oranları ve Orantıları											
	Bileşenlerin Oranları			Bileşenlerin Orantıları (1000 dm ³ beton karışımında)								
	Su / Çimento (S/Ç) Kütlesel Oran (%)	İri Agrega / Tüm Agrega (Airi/A) Hacimsel Oran (%)	Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı / Çimento (HAK/Ç) Kütlesel Oran (%)	Çimento Kütlesi (kg)	Çimento Hacmi (dm ³)	İri Agrega (skoria) Kütlesi (kg)	İri Agrega (skoria) Hacmi (dm ³)	İnce Agrega (dere kumu) Kütlesi (kg)	İnce Agrega (dere kumu) Hacmi (dm ³)	Su + Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı Kütlesi (kg)	İri Agrega Doyma Suyu Kütlesi (kg)	İnce Agrega Doyma Suyu Kütlesi (kg)
KSAB (Katkısız Skorja Agregalı Beton) Karışımları												
KSAB 1	37.5	40	0.00	500	160.256	474.834	260.898	994.019	391.346	187.5	35.280	14.910
KSAB 2	37.5	50	0.00	500	160.256	593.542	326.122	828.350	326.122	187.5	44.100	12.425
KSAB 3	37.5	60	0.00	500	160.256	712.250	391.346	662.681	260.898	187.5	52.920	9.940
KSAB 4	45	40	0.00	500	160.256	447.534	245.898	936.869	368.846	225	33.256	14.053
KSAB 5	45	50	0.00	500	160.256	559.417	307.372	780.725	307.372	225	41.565	11.711
KSAB 6	45	60	0.00	500	160.256	671.300	368.846	624.580	245.898	225	49.880	9.370
HAKSAB (Hiper Akışkanlaştırıcı Katkılı Skorja Agregalı Beton) Karışımları												
HAKSAB 1	30	40	1.00	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
HAKSAB 2	30	40	1.25	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
HAKSAB 3	30	40	1.50	500	160.256	502.134	275.898	1051.169	413.846	150	37.310	15.768
HAKSAB 4	30	50	1.00	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
HAKSAB 5	30	50	1.25	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
HAKSAB 6	30	50	1.50	500	160.256	627.670	344.872	876	344.872	150	46.640	13.140
HAKSAB 7	30	60	1.00	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510
HAKSAB 8	30	60	1.25	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510
HAKSAB 9	30	60	1.50	500	160.256	753.20	413.846	700.780	275.898	150	55.960	10.510

Çimento bileşeni

Beton karışımlarında, TS EN 197-1 (2002)'e uygun, normal erken dayanımlı katkısız portland çimentosu kullanılmıştır (Tablo 2). Kullanılan çimento bileşeninin kalitesinde

değişiklik olmaması için, gerekli çimento miktarı iş programına uygun olacak şekilde, harmanlanmış, nem içeriği ve dayanımının değişmemesi sağlanarak depolanmıştır.

Tablo 2. Beton karışımlarında kullanılan çimentonun özellikleri

Beton Karışımlarında Kullanılan Çimentonun Özellikleri (TS EN 197-1'e Uygun, Normal Erken Dayanımlı Katkısız Portland Çimentosu)					
Dayanım Özellikleri		Fiziksel Özellikler		Kimyasal Özellikler	
2 günlük basınç dayanımı	31.0 Mpa	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.12	Erimez kalıntı (%)	0.55
7 günlük basınç dayanımı	39.5 Mpa	Priz başlangıcı (saat)	2.15	SO ₃ (%)	2.38
28 günlük basınç dayanımı	46.5 Mpa	Priz bitişi (saat)	3.35	Cl (%)	0.0085
		Hacim sabitliği (mm)	1.2	Kızdırma kaybı (%)	2.65
		Özgül yüzey (cm ² /g)	3395		

İri ve ince agrega bileşenleri

Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri, Tablo 3'de verilmiştir. Beton

karışımlarında kullanılan skoria agregasının kimyasal içeriği ve oranları ise Tablo 4'de sunulduğu gibidir.

Tablo 3. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Beton Karışımlarında Kullanılan Agregalar	Fiziksel Özellikler					
	En Büyük Tane Boyutu (mm)	Gevşek Yığın Yoğunluğu (Mg/m ³)	Su Muhtevası (%)	Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	24 Saat Sonunda Su Emme Değerleri (%)	Şekil İndisi
Skoria (iri agrega)	16	0.864	0.89	1.819	10.884	10
Dere kumu (ince agrega)	4	1.707	1.96	2.538	2.538	-

Tablo 4. Beton karışımlarında kullanılan skoria agregasının kimyasal içeriği ve oranları

Beton Karışımlarında Kullanılan Skoria Agregasının Kimyasal İçeriği	Oranlar (%)
SiO ₂ (toplam)	45.06
Erimez kalıntı	59.53
Al ₂ O ₃	13.34
Fe ₂ O ₃	12.80
CaO	12.05
MgO	7.41
SO ₃	0.36
Kızdırma kaybı	1.01
Na ₂ O	2.88
K ₂ O	1.32

Bu çalışmada kullanılan skoria agregasının su emme değerinin 0.5 saat daldırmanın sonunda %7.4; 24 saat daldırmanın sonunda ise %10.9 olduğu tespit edilmiştir. Skoria agregasının şekil indisi değeri ise 10'dur ve TS 706 EN 12620 (2003)'e göre, bu sınamada olabilecek en ideal (SI₁₅) kategoridir. Bu çalışmadaki beton karışımlarında ASTM C 330 (2000)'da önerilen agrega tane boyutu dağılımı eğrileri kullanılmıştır.

Su bileşeni

Beton karışımlarında içme suyu kullanılmıştır. TS EN 206-1 (2002)'e göre, beton karışımlarında kullanılacak en iyi su, içilebilir nitelikteki sudur ve beton karışımlarında bu tür su kullanılması durumunda karışım suyu testlerinin yapılmasına gerek yoktur.

Hiper akışkanlaştırıcı katkı bileşeni

HAKSAB karışımlarında, hiper akışkanlaştırıcı katkı olarak YKS firmasının prefabrik elemanlarda kullanılmak üzere ürettiği, polikarboksilat kökenli, TS EN 934-2 (2002)'e uygun, Glenium ACE 32 adlı ürünü kullanılmıştır.

Test numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan beton karışımlarının sertleşmiş haldeki ilgili değerlerinin (basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu) belirlenebilmesi için test numuneleri hazırlanmıştır. Bu bağlamda, test numuneleri için kalıplar hazırlanmış, hazırlanan beton karışımları bu kalıplara doldurulmuş ve sıkıştırılmış (titreşim masası ile), yüzeyleri tesviye edilmiş ve küre tabi tutulmuşlardır. Bu işlemler, TS EN 12390-1 (2002) ve TS EN 12390-2 (2002)'de belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan onbeş beton karışımının her birinden üçer adet olmak üzere; basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere 45 adet 150x300 mm boyutlarında, silindir formu (Şekil 1); etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere de 45 adet 100x100x100 mm boyutlarında, küp formu test numuneleri hazırlanmıştır.

Literatürde, hafif agregalı beton test numunelerinin kür süreleri ve ilgili

özelliklerinin belirleneceği yaşları ile ilgili bir konsensüs sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, test numuneleri 56 gün kirece doygun suda küre tabi tutulmuş, 90. güne kadar da doğal ortamda bekletildikten sonra ilgili özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Hazırlanan silindir formu test numuneleri

Test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin belirlenmesi

Test numunelerinin basınç dayanımı değerleri, TS EN 12390-3 (2003) ve TS EN 12390-4 (2002)'e, etüv kurusu yoğunluğu değerleri ise TS EN 12390-7 (2002)'e uygun olarak belirlenmiştir. Test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler

Test Numunelerinin Basınç Dayanımı Ve Etüv Kurusu Yoğunluğu Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Eşitlikler

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad D_{ek} = \frac{m_{ek}}{V_{\ddot{o}}} \quad V_{\ddot{o}} = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{p_w}$$

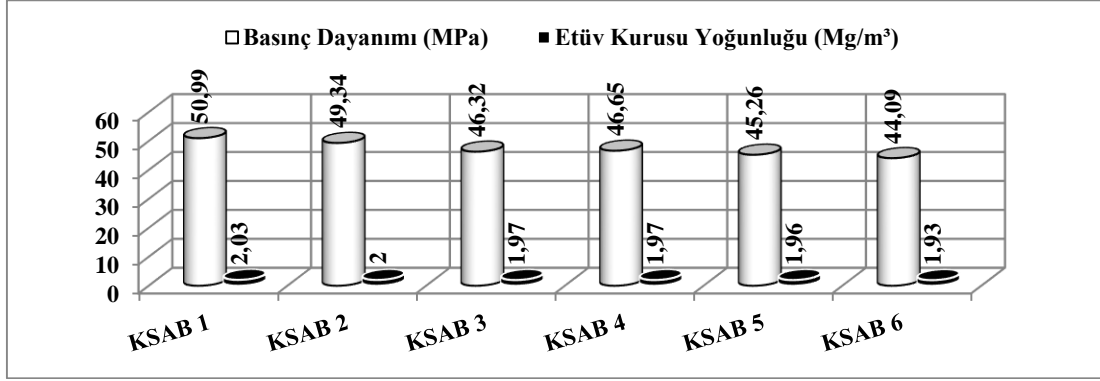
f_c	Test numunesinin basınç dayanımı, MPa (N/mm ²)
F	Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N
A_c	Test numunesinin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm ²
D_{ek}	Test numunesinin etüv kurusu yoğunluğu, Mg/m ³
m_{ek}	Test numunesinin etüv kurusu kütlesi, Mg
$V_{\ddot{o}}$	Test numunesinin özel metotla tayin edilen hacmi, m ³
m_a	Test numunesinin havadaki kütlesi, Mg
m_{st}	Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi, Mg
m_w	Test numunesinin su içerisindeki görünür kütlesi, Mg
p_w	Suyun 0.998 Mg/m ³ olarak kabul edilen, 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğu

Bulgular ve tartışma

KSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri

Sabit çimento dozajlı (500 kg), iki farklı S/Ç

(%37.5 ve %45) ve üç farklı A_{iri}/A (%40, %50 ve %60) oranlı altı KSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri Şekil 2'de verilmiştir.

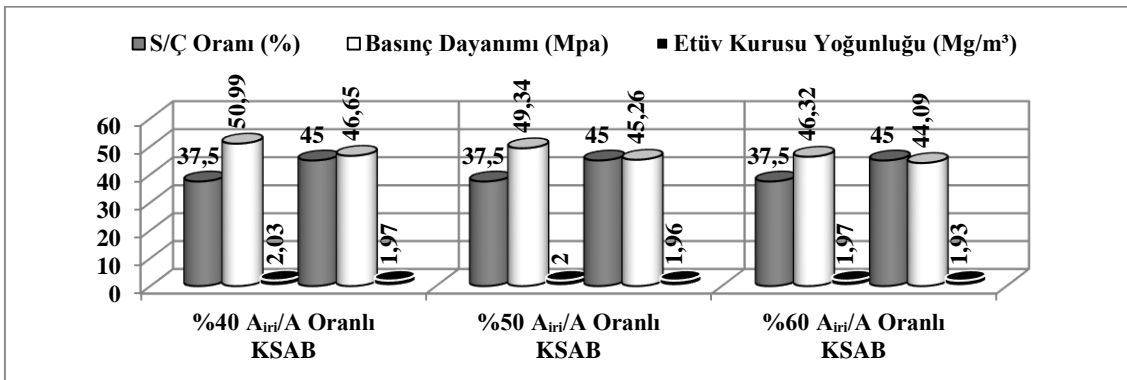


Şekil 2. KSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri

KSAB'ın basınç dayanımı değerleri (44.09-50.99) MPa, etüv kurusu yoğunluğu değerleri ise (1.93-2.03) Mg/m³ aralığındadır. Her bir KSAB'ın 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' olarak nitelendirilebilecek basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri olduğu tespit edilmiştir. KSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 47.11 MPa, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise 1.98 Mg/m³'tür.

Beton bileşenlerinin, çimento hamuru ve ara yüzey bölgesindeki boşlukları ve mikro çatlakları azaltacak oranlarda kullanılması KSAB'ın hem basınç dayanımını hem de etüv

kurusu yoğunluğunu arttırmıştır. Örneğin, daha düşük S/Ç oranı ile hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu yoğunluğu değeri daha yüksek olan KSAB üretilmiştir (Şekil 3). %37.5 S/Ç oranı ile üretilen KSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 48.88 MPa, %45 S/Ç oranı ile üretilen KSAB'ınki ise 45.33 MPa'dır. Etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalamaları ise sırasıyla; 2.00 Mg/m³ ve 1.95 Mg/m³'dür. %37.5 S/Ç oranı ile üretilen KSAB'ın, %45 S/Ç oranı ile üretilen KSAB'a göre, basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %7.26, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %2.5 daha yüksektir.



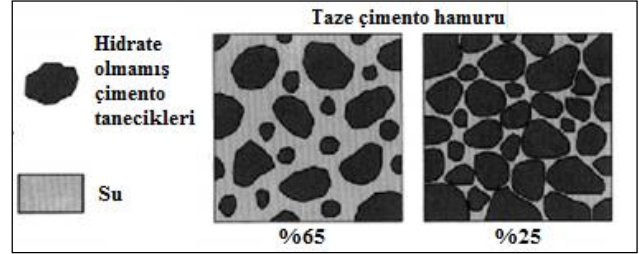
Şekil 3. S/Ç oranının KSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğuna etkisi

Sertleşme sırasında çimento tanecikleri hamurunun kapiler porozitesini belirleyen arasındaki uzaklık, sertleşmiş çimento önemli bir faktördür. Şekil 4'de görüldüğü gibi,

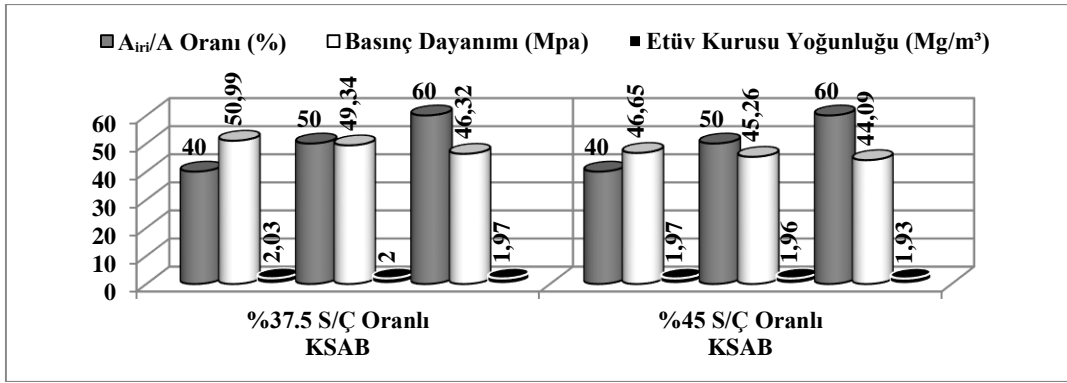
S/Ç oranı azaldıkça, çimento tanecikleri arasındaki uzaklık azalmaktadır (Caldarone, 2009). Çimento taneciklerinin hidrasyonu için gerekli olan su miktarından fazlası buharlaşarak çimento hamurunda boşlukların kalmasına yol açmaktadır. Daha düşük S/Ç oranı, boşluk miktarı daha az olan beton üretimine olanak verdiği için daha düşük S/Ç oranı ile hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu yoğunluğu değeri daha yüksek olan KSAB üretilebilmiştir.

Daha düşük A_{iri}/A oranı ile de hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu yoğunluğu değeri daha yüksek olan KSAB üretilebilmiştir (Şekil 5). %40 A_{iri}/A oranı ile üretilen KSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 48.82 MPa, %50 A_{iri}/A oranı ile üretilen KSAB'ınki 47.30 MPa, %60 A_{iri}/A oranı ile üretilen KSAB'ınki ise 45.21 MPa'dır. Etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalamaları ise sırasıyla; 2.00

Mg/m^3 , 1.98 Mg/m^3 ve 1.95 Mg/m^3 'dür. %40 A_{iri}/A oranı ile üretilen KSAB'ın, %60 A_{iri}/A oranı ile üretilen KSAB'a göre, basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %7.39, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %2.5 daha yüksektir.



Şekil 4. Farklı S/Ç Oranı olan iki taze çimento hamurunun şematik gösterimi (Caldarone, 2009)



Şekil 5. A_{iri}/A oranının KSAB'in basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğuna etkisi

Taze betonda, su filmleri, iri agrega tanelerinin çevresinde oluşurlar. Bu nedenle, iri agrega tanelerinin çevresindeki ara yüzey bölgesinin S/Ç oranı, çimento hamurununkinden fazla olur ve normalde sertleştikten sonra daha fazla boşluk ve mikro çatlak içerirler.

Genellikle zincirin en zayıf halkası olarak değerlendirilen ara yüzey bölgesi, betondaki dayanım sınırlayıcı faz olarak görülmektedir. Kompozit malzemede harç matrisi (ince agrega + çimento hamuru) ve iri agrega taneleri arasında köprü görevi gören ara yüzey bölgesi, bu iki bileşenden de daha zayıf olursa kompozitin gerilim transferini

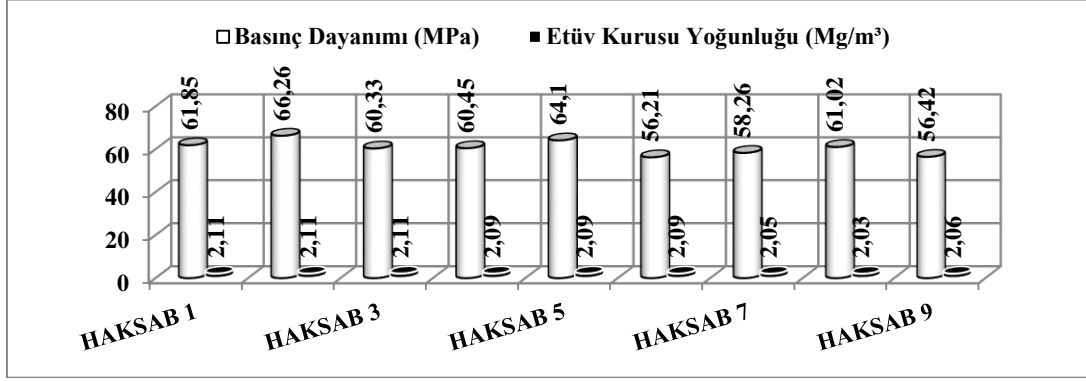
gerçekleştirmesine engel olurlar. Bu nedenle, ara yüzey bölgesi, betonun, diğer iki bileşenin dayanabileceği gerilim seviyesinden daha düşük seviyelerde göçmesine neden olabilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006).

KSAB üç farklı A_{iri}/A oranı ile üretilmiştir. İri agreganın tüm agrega içindeki oranının artırılması, daha zayıf olan ara yüzey bölgesini de arttırmıştır. İri agrega olarak kullanılan skorianın yoğunluğu ise ince agrega olarak kullanılan dere kumundan daha düşüktür. Bu iki neden birlikte, daha düşük A_{iri}/A oranı ile hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu yoğunluğu değeri daha yüksek olan KSAB üretilebilmesine

yol açmıştır. Skorianın, ara yüzey bölgesinin sıklığına yaptığı olumlu katkı ve dere kumuna göre çok da düşük olmayan yoğunluğu nedeniyle KSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğundaki değişimin sınırlı düzeyde kaldığı düşünülmektedir.

HAKSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri

Sabit çimento dozajlı (500 kg), tek S/Ç (%30), üç farklı A_{iri}/A (%40, %50 ve %60) ve üç farklı HAK/Ç (%1, %1.25 ve %1.5) oranlı dokuz HAKSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



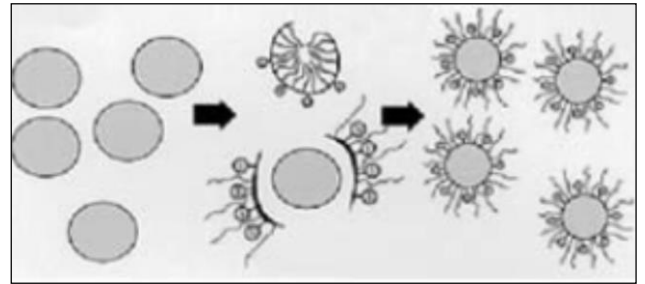
Şekil 6. HAKSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri

HAKSAB'ın basınç dayanımı değerleri (56.21-66.26) MPa, etüv kurusu yoğunluğu değerleri ise (2.03-2.11) Mg/m^3 aralığındadır. Her bir HAKSAB'ın da 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' olarak nitelendirilebilecek basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri olduğu tespit edilmiştir. HAKSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 60.54 MPa, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise 2.08 Mg/m^3 'tür.

HAKSAB'ın, KSAB'a göre, basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %22.18, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %4.81 daha yüksektir.

Yapılan araştırmalara göre; hiper akışkanlaştırıcı katkıları, diğer akışkanlaştırıcı katkıların betonda oluşturduğu elektriksel etkinin yanı sıra uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde, tanecikler çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki (sterik etki) ile ince tanecikli malzemeyi dağıtıp betonu daha kararlı hale getirmektedirler (Şekil 7). Bu malzeme, bileşenler tarafından emildiğinde yüzey gerilimi azalmaktadır. Bu da betona yüksek oranda su indirgeme, daha fazla akışkanlık, yüksek ayrışma direnci, oldukça homojen bir yapı,

vibrasyon gerektirmeden uygulama gibi özellikler kazandırmaktadır (Erdoğan ve Kurbetçi, 2003; Doğan, 2000; Yılmaz, 2003). Bu çalışmada da, hiper akışkanlaştırıcı katkı düşük (%30) S/Ç oranlı beton üretimine olanak vermiş, HAKSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalamasının KSAB'ınkine göre çok daha yüksek olmasına yol açmıştır. Etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalamaları arasındaki fark ise, basınç dayanımı değerlerinin ortalamaları arasındaki farka göre daha düşük kalmıştır.

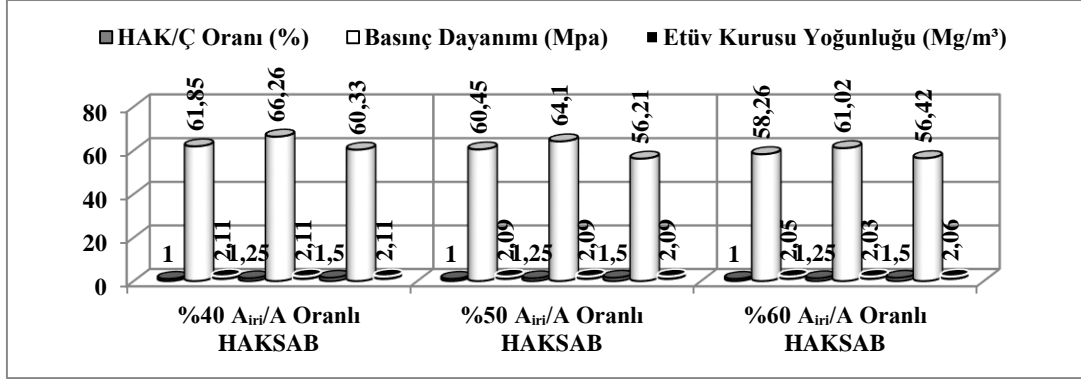


Şekil 7. Hiper akışkanlaştırıcı katkının ince tanecikli malzemeye etkisi (Yılmaz, 2003)

HAKSAB, üç farklı (%1, %1.25 ve %1.5) HAK/Ç oranı ile üretilmiştir. Basınç dayanımı değeri en yüksek olan HAKSAB, %1.25

HAK/Ç oranı ile üretilebilmiştir. %1.5 HAK/Ç oranı ise basınç dayanımı değeri en düşük olan HAKSAB'ın üretilmesine yol açmıştır. HAK/Ç oranının HAKSAB'ın etüv kurusu yoğunluğu değerine ise bir etkisi olmamıştır denebilir çünkü sadece %60 A_{iri}/A oranlı HAKSAB'ın etüv kurusu yoğunluğu değerine çok düşük düzeyde bir etkisi olmuştur (Şekil 8). %1 HAK/Ç oranı ile üretilen HAKSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 60.19 MPa,

%1.25 HAK/Ç oranı ile üretilen HAKSAB'ınki 63.79 MPa, %1.5 HAK/Ç oranı ile üretilen HAKSAB'ınki ise 57.65 MPa'dır. Etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalamaları ise aynı ve 2.08 Mg/m^3 'dür. %1.25 HAK/Ç oranı ile üretilen HAKSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması, %1.5 HAK/Ç oranı ile üretilen HAKSAB'ınki göre %9.63 daha yüksektir.

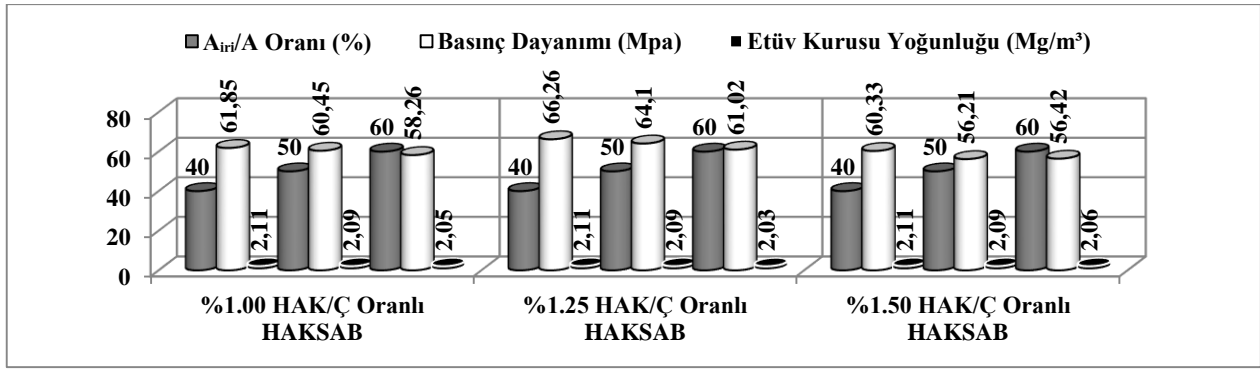


Şekil 8. HAK/Ç oranının HAKSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğuna etkisi

Beton üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkı, tanecikleri sararak istenilen performansa ulaşmasını sağlamaktadır. Betonda, tüm taneciklerin sarılması için gerekli olan katkı miktarının kullanılması ile "kritik doyum noktası" olarak tanımlanan katkı seviyesine ulaşılmaktadır. Bu katkı seviyesinin aşıldığı durumlarda betonun basınç dayanımı düşmektedir. Çünkü bu seviyenin üstündeki katkı, ortamda serbest kalmakta ve betonun viskozitesini (malzemenin şekil değişikliğine karşı gösterdiği direnç) bozmaktadır (Türkel ve Felekoğlu, 2004). Basınç dayanımı değeri en yüksek olan HAKSAB'ın, %1 veya %1.5 HAK/Ç oranı ile değil de %1.25 HAK/Ç oranı ile üretilebilmesinin belirtilen nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir.

KSAB'da olduğu gibi, daha düşük A_{iri}/A oranı ile hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu

yoğunluğu değeri daha yüksek olan HAKSAB üretilebilmiştir (Şekil 9). %40 A_{iri}/A oranı ile üretilen HAKSAB'ın basınç dayanımı değerlerinin ortalaması 62.81 MPa, %50 A_{iri}/A oranı ile üretilen HAKSAB'ınki 60.25 MPa, %60 A_{iri}/A oranı ile üretilen HAKSAB'ınki ise 58.57 MPa'dır. Etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalamaları ise sırasıyla; 2.11 Mg/m^3 , 2.09 Mg/m^3 ve 2.05 Mg/m^3 'dür. %40 A_{iri}/A oranı ile üretilen HAKSAB'ın, %60 A_{iri}/A oranı ile üretilen HAKSAB'a göre, basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %6.75, etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %2.84 daha yüksektir. Daha düşük A_{iri}/A oranı ile hem basınç dayanımı hem de etüv kurusu yoğunluğu değeri daha yüksek olan HAKSAB üretilebilmesinin, KSAB için de geçerli olan ve daha önce bahsedilen nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9. A_{iri}/A oranının HAKSAB'ın basınç dayanımı ve etüv kuru yoğunluğuna etkisi

Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında; skoria agregası ile

- *katkısız* basınç dayanımı değerleri (44.09-50.99) MPa, etüv kuru yoğunluğu değerleri (1.93-2.03) Mg/m³ aralığında olan,
- *hiper akışkanlaştırıcı katkı* ise basınç dayanımı değerleri (56.21-66.26) MPa, etüv kuru yoğunluğu değerleri (2.03-2.11) Mg/m³ aralığında olan

'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Hiper akışkanlaştırıcı katkı, sabit tutulan çimento dozajı (500 kg) için yüksek oranda su indirgemeye olanak vererek basınç dayanımı değerlerinin ortalaması %22.18, etüv kuru yoğunluğu değerlerinin ortalaması ise %4.81 daha fazla olan 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretilebilmesini sağlamıştır. Kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı miktarı, betonun etüv kuru yoğunluğunu etkilememiş, basınç dayanımının ise belirli bir miktara kadar kullanılması ile yükselmesine, sonrasında da düşmesine neden olmuştur. Bu bağlamda, uygun bir HAK/Ç oranı ile strüktürel verimliliği (dayanım/yoğunluk oranı) daha yüksek olan 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretilebileceği tespit edilmiştir.

Hem katkısız hem de hiper akışkanlaştırıcı katkıli üretimde, beton bileşenlerinin, betondaki boşlukları ve mikro çatlakları azaltacak oranlarda kullanılması, betonun basınç dayanımını etüv kuru yoğunluğuna göre daha yüksek oranda arttırmıştır. Bu bağlamda,

katkısız üretimde daha düşük S/Ç ve A_{iri}/A oranları, hiper akışkanlaştırıcı katkıli üretimde ise daha düşük A_{iri}/A oranı ile strüktürel verimliliği daha yüksek olan 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretilebileceği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan skoria agregası, girintili çıkıntılı biçimi, pürüzlü yüzeyi, puzolanik etki yaratacak kimyasal yapısı ve hafif bir agregaya göre yüksek yoğunluğu ve dayanımı olan bir agregadır. Bu özellikleri ile yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilebilmesine, normal agregadan daha düşük olan yoğunluğu ile de yarı hafif beton üretilebilmesine imkân vermiştir. Bu bağlamda, çalışma için seçilen skoria agregasının, 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretimi için çok uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri olduğu düşünülmektedir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler, bu yargıyı desteklemektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda, skoria agregası ve daha ekolojik ve ekonomik beton üretimine katkı sağlayabilecek bileşenler (mineral katkı gibi) ile farklı çimento dozajlarında 'yüksek dayanımlı yarı hafif beton' üretim olanaklarının araştırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Hiper akışkanlaştırıcı katkı temininde yardımcı olan "YKS Sanayi A.Ş."ye, çimento ve skoria temininde yardımcı olan "Mardin Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş."ye ve değerli görevlilerine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- A23.3-14, (2014). Design of concrete structures, *Canadian Standards*, Ontario.
- ACI 213R-03, (2003). Guide for structural lightweight-aggregate concrete, American Concrete Institute, Michigan.
- ASTM C 330-00, (2000). Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete, *American Standards*, Philadelphia.
- BE96-3942/R17, (2000). Properties of LWAC made with natural lightweight aggregates, Eurolightcon, The European Union.
- Caldarone, M.A., (2009). *High-strength concrete - A Practical Guide*, Taylor & Francis Group, USA.
- Doğan, Ü.A., (2000). Yeni kuşak süper akışkanlaştırıcıların harç ve beton özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdoğan, Ş. ve Kurbetçi, Ş., (2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 423, 115-120.
- Gomes, T.J., (2015). Structural lightweight concrete produced with volcanic scoria from São Miguel Island, Instituto Superior Técnico.
- Gönül, H., (2008). Bazalt skoriasının taşıyıcı yarı hafif beton üretiminde kullanımı, *Doktora tezi*, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hossain, K.M.A., (2006). Blended cement and lightweight concrete using scoria: mix design, strength, durability and heat insulation characteristics, *International Journal of Physical Sciences*, Vol.1, 1, 5-16.
- Kılıç, A., Ati, C.D., Teymen, A., Karahan, O. ve Arı, K., (2009). The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete, *Scientific Research and Essay*, Vol.4, 10, 961-965.
- Kılıç, A., Atiş, C.D., Yaşar, E. ve Özcan, F., (2003). High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures, *Cement and Concrete Research*, 33, 1595-1599.
- Lau, I., Setunge, S. ve Gamage, N., (2014). Properties of concrete using scoria lightweight aggregate concrete, *Proceedings*, 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, 95-100, Lismore.
- Mehta P.K. ve Monteiro, P.J.M., (2006). *Concrete - microstructure, properties, and materials*, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- Moufti, M.R., Sabtan, A.A., El-Mahdy, O.R. ve Shehata, W.M., (2000). Assessment of the industrial utilization of scoria materials in Central Harrat Rahat, Saudi Arabia, *Engineering Geology*, 57, 155-162.
- SamsonDuna, A.A., (2017). Utilization of scoria as aggregate in lightweight concrete, *International Journal of Engineering Research*, Volume No.6, Issue No.1, 34-37.
- Shannag, M.J., (2000). High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume, *Cement & Concrete Composites*, 22, 399-406.
- TS 706 EN 12620, (2003). Beton agregaları, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-1, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-2, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabii tutulması, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2003). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-4, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 4: Basınç dayanımı - Deney makinelerinin özellikleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 197-1, (2002). Genel çimentolar - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 206-1, (2002). Beton - Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 934-2, (2002). Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton katkıları - Tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, *Türk Standartları*, Ankara.
- Türkel, S. ve Felekoğlu, B., (2004). Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri, *DEÜ Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi*, 6, 1, 77-89.
- Yaşar, E., Atiş, C.D., Kılıç, A. ve Gülsen, H., (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, *Materials Letters*, 57, 2267-2270.
- Yılmaz, A.D., (2003). Yeni kuşak hiper akışkanlaştırıcı beton katkıları, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426, 125-129.

Production possibilities of ‘high-strength semi-lightweight concrete’ with scoria aggregate

Extended abstract

High-strength concrete has been widely used in civil engineering in recent years. This is because most of the rheological, mechanical and durability properties of these materials are better than those of conventional concrete [1].

In order to produce high-strength concrete, voids and micro cracks in cement paste and interfacial transition zone must be reduced. When these voids and micro cracks reduce, the density of the concrete rises. In this manner, in order to produce concrete that has high-strength, in the meanwhile density less than normal concrete, lightweight aggregate is preferred instead of normal weight aggregate.

In efforts for producing high-strength concrete with lightweight aggregate, basic purpose of tends towards to produce semi-lightweight concrete instead of lightweight concrete is getting higher compressive strengths.

Lightweight aggregate that will be chosen for producing ‘high-strength semi-lightweight concrete’, will influence the performance that will gotten. In this study, production possibilities of ‘high-strength semi-lightweight concrete’ either none or hyper plasticizer admixture added with natural lightweight scoria aggregate, were examined.

In accordance with the purpose, six ‘none admixture added scoria aggregate concrete’ and nine ‘hyper plasticizer admixture added scoria aggregate concrete’ mixtures were prepared. In order to determine the related values (compressive strength and oven-dry density) of prepared concrete mixtures in the hardened form, test specimens were prepared. In this regard, moulds for test specimens were prepared, moulds were filled with concrete mixtures that were prepared and then compacted (by vibrating table), surfaces of them were leveled and finally prepared test specimens were cured. The compressive strength and oven-dry density values of prepared test specimens were determined according to related Turkish standards.

In accordance with the findings obtained from this research, it was seen that it is possible to produce

- none admixture added ‘high-strength semi-lightweight concrete’ that has a compressive strength value in the range of (44.09-50.99) MPa and an oven-dry density value in the range of (1.93-2.03) Mg/m³,
- hyper plasticizer admixture added ‘high-strength semi-lightweight concrete’ that has a compressive strength value in the range of (56.21-66.26) MPa and an oven-dry density value in the range of (2.03-2.11) Mg/m³

with scoria aggregate.

Hyper plasticizer admixture made it possible to reduce water/cement ratio. Thus, ‘high-strength semi-lightweight concrete’ that has averagely %22.18 higher compressive strength and %4.81 higher oven-dry density, could be produced. Amount of hyper plasticizer admixture didn’t affect the oven-dry density. However, increasing the amount of hyper plasticizer admixture to a certain level arisen the compressive strength. After this level, increasing the amount of hyper plasticizer admixture had an opposite effect on the compressive strength. In this regard, it was determined that ‘high-strength semi-lightweight concrete’ that would have higher structural efficiency (compressive strength / density ratio) could be produced with an appropriate ‘hyper plasticizer admixture / cement’ ratio.

Scoria aggregate that was used in this study has an indented form, grainy surface and a chemical structure that will create pozzolanic effect. In addition, its density and strength is high. Due to its properties, high compressive strength values could be obtained. Its density is lower from normal aggregate. Thus semi-lightweight concrete could be produced. In this regard, it is treated that scoria aggregate selected for this study has very appropriate physical and chemical properties for producing ‘high-strength semi-lightweight concrete’. The obtained values from experimental study support this judgment.

Keywords: scoria, lightweight aggregate, high-strength concrete, semi-lightweight concrete, high-strength semi-lightweight concrete, hyper plasticizer admixture.