



Skoria ile çakıl agregalı betonun strüktüel verimlilik açısından karşılaştırılması

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: 13.10.2017

Öz

Strüktürel verimlilik, literatürde, betonun 'basınç dayanımı / yoğunluk oranı' olarak tanımlanmıştır. Betonun hacimsel olarak %60-80'ini oluşturan agreganın, betonun strüktürel verimliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu çalışmada, hafif skoria agregalı beton ile normal çakıl agregalı beton, hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde, strüktürel verimlilik açısından karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma için, bileşenlerinin hacimsel orantıları aynı olan skoria ve çakıl agregalı beton karışımları hazırlanmış, bu beton karışımları ile de test numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerleri ise ilgili Türk standartlarındaki prosedürler izlenerek belirlenmiştir.

Bu çalışmada üretilen skoria agregalı betonun, çakıl agregalı betona göre, basınç dayanımının ortalama %27.61 daha yüksek, etüv kurusu yoğunluğunun ortalama %10.97 daha düşük, bunlara bağlı olarak da strüktürel verimliliğinin ortalama %35.45 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada sınıanan hafif skoria agregası, normal çakıl agregası ile üretilene göre, basınç dayanımı çok daha yüksek olan beton üretilebilmesine imkân vermiştir. Hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde böyle bir sonucun alınması çok önemlidir. Zira fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı hafif agregalar, hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde normal agregalara göre oldukça dezavantajlıdır. Skoria agregasının tane yoğunluğu, normal agregadan daha düşük olduğu için skoria agregası ile yoğunluğu da çakıl agregası ile üretilenden daha düşük olan beton üretilebilmiştir. Bu çalışmada elde edilen değerler, beton üretiminde, çakıl agregası yerine skoria agregası kullanılması durumunda, betonun strüktürel verimliliğinin önemli oranda yükseleceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: skoria; hafif agrega; hafif agregalı beton; basınç dayanımı; yoğunluk; strüktürel verimlilik;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Strüktürel verimlilik, betonun hem basınç dayanımı hem de yoğunluğu ile ilişkili bir kavramdır ve ACI 213R-03 (2003)'de betonun 'basınç dayanımı / yoğunluk oranı' olarak tanımlanmıştır.

Betonun strüktürel verimliliği yükseldikçe, taşıyıcı eleman kesitleri incelmekte, ağırlık azalacağı için de yapının deprem sırasında hasar görme ihtimali azalmaktadır. Bu nedenle, betonun strüktürel verimliliğini yükseltecek çözümler, her dönem için önemli olmuştur.

Betonun hacimsel olarak %60-80'ini oluşturan agreganın, betonun strüktürel verimliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Beton üretiminde yaygın olarak normal agrega kullanılmaktadır. Normal agrega ile hem basınç dayanımı hem de yoğunluğu yüksek olan beton üretilebilmektedir. Hafif agreganın tane yoğunluğu, normal agregadan daha düşüktür. Bu nedenle, hafif agrega ile yoğunluğu normal agrega ile üretilenden daha düşük olan beton üretilebilmektedir. Ancak, çoğu hafif agrega ile de basınç dayanımı normal agrega ile üretilenden çok daha düşük olan beton üretmek mümkün olmaktadır. Bu nedenle, ancak basınç dayanımı da normal agrega ile üretilene yakın veya daha yüksek olan beton üretimine imkân veren hafif bir agrega ile strüktürel verimliliği daha yüksek olan beton üretilebilecektir.

Özellikleri birbirinden farklı birçok hafif agrega çeşidi vardır. Yapay hafif agregalar, taşıyıcı beton üretiminde çok başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak, bu agregaların üretimi; enerji tüketimini gerektirir, yenilenemez kaynak tüketimine neden olur ve yapının maliyetini yükseltir. Bu nedenle, yapay hafif agregalar, doğal hafif agregalar ile karşılaştırıldıklarında ekolojik ve ekonomik malzemeler değildirler (Mehta ve Monteiro, 2006; Monteiro, 2003). Betonun strüktürel verimliliğini yükseltecek doğal hafif agregalı üretim seçeneklerinin geliştirilmesinin hem çevresel hem ekonomik açıdan daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Doğal hafif agregalardan biri de pomzadır. Dünyanın birçok ülkesinde farklı karakteristik yapı sergileyen pomza oluşumları bulunmaktadır. Türkiye de pomza rezervleri açısından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Pomza, asidik ve bazik karakterli olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. 'Asidik karakterdeki pomza', literatürde sadece "pomza" olarak anılmaktadır. Bazik karakterdeki pomza için ise farklı isimler kullanılmaktadır. Skoria, bazik karakterdeki pomza için kullanılan isimlerden biridir. Skoria; yoğunluğu (daha yoğun), boşluk yapısı (daha küresel ve bağlantısız boşluklar) ve dayanımı (daha yüksek dayanım) ile pomzadan farklı bir agregadır (BE96-3942/R2, 1998).

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 tespit edilmiştir. Skoria agregasının, fiziksel özelliklerinin yanı sıra incelenen kimyasal özellikleri de betonun basınç dayanımını, dolayısıyla da strüktürel verimliliğini yükseltebilecek niteliktedir. Ancak, skoria agregasının, hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir beton üretimindeki performansı ile ilgili henüz yeterli düzeyde çalışma yapılmadığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, hafif skoria agregalı beton ile normal çakıl agregalı betonu, hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde, strüktürel verimlilik açısından karşılaştırmaktır. Bu çalışma ile ulaşılabilecek sonuçların, betonun strüktürel verimliliğinin yükseltilmesi çabalarına katkı sağlaması umulmaktadır.

Yöntem

Beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışmada belirtilen amaç doğrultusunda, bileşenlerinin hacimsel oranları aynı olan üç farklı A_{iri}/A (*iri agrega/tüm agrega*) oranlı SAB (skoria agregalı beton) ve ÇAB (çakıl agregalı beton) karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve oranları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan beton karışımları ve bileşenlerinin oranları ve orantıları

Hazırlanan Beton Karışımları	Bileşenlerin Oranları ve Orantıları										
	Bileşenlerin Oranları			Bileşenlerin Orantıları (1 m ³ beton karışımında)							
	İri Agregat / Tüm Agregat (Airi/A) Hacimsel Oran (%)	Su / Çimento (S/Ç) Kütleli Oran (%)	Çimento Kütleli (kg)	Çimento Hacmi (dm ³)	İri Agregat (skoria veya çakıl) Kütleli (kg)	İri Agregat (skoria veya çakıl) Hacmi (dm ³)	İnce Agregat (dere kumu) Kütleli (kg)	İnce Agregat (dere kumu) Hacmi (dm ³)	Su Kütleli (kg)	İri Agregat Doyma Suyu Kütleli (kg)	İnce Agregat Doyma Suyu Kütleli (kg)
SAB (Skoria Agregalı Beton) Karışımları											
SAB 1	40	37.5	500	160.256	474.834	260.898	994.019	391.346	187.5	35.280	14.910
SAB 2	50	37.5	500	160.256	593.542	326.122	828.350	326.122	187.5	44.100	12.425
SAB 3	60	37.5	500	160.256	712.250	391.346	662.681	260.898	187.5	52.920	9.940
ÇAB (Çakıl Agregalı Beton) Karışımları											
ÇAB 1	40	37.5	500	160.256	673.117	260.898	994.019	391.346	187.5	9.424	14.910
ÇAB 2	50	37.5	500	160.256	841.395	326.122	828.350	326.122	187.5	11.780	12.425
ÇAB 3	60	37.5	500	160.256	1009.67	391.346	662.681	260.898	187.5	14.135	9.940

Beton karışımlarının basınç dayanımlarının yüksek olması hedeflenmiştir. Beton karışımları bileşenlerini orantılamada ise “mutlak hacim yöntemi” kullanılmıştır.

Beton karışımlarında kullanılmadan önce dere kumu ve çakıl agregaları etüvde tamamen kurutulmuşlardır. 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 skoria agregasının etüvde tamamen kurutulup otuz

dakika su emdirildikten sonra kullanılması tercih edilmiştir. Agregaların doyma suyu miktarları sonradan beton karışımlarına eklenmiştir.

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, ilgili kaynaklarda (TS EN 206-1, 2002; TS 706 EN 12620, 2003; TS 1114 EN 13055-1, 2004; TS EN 932-1, 1997; TS EN 932-2, 1999; ASTM C 330-00, 2000; TS 3530 EN 933-1, 1999; TS EN 933-2, 1996; TS EN 1097-3,

1999; TS EN 1097-5, 2001; TS EN 1097-6, 2002; TS 3814 EN 933-4, 2001) verilen deneysel yöntemler kullanılarak belirlenen fiziksel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir. 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
Çakıl (iri agrega)	16	1.659	1.54	2.583	1.389	11
Dere kumu (ince agrega)	4	1.707	1.96	2.538	2.538	-

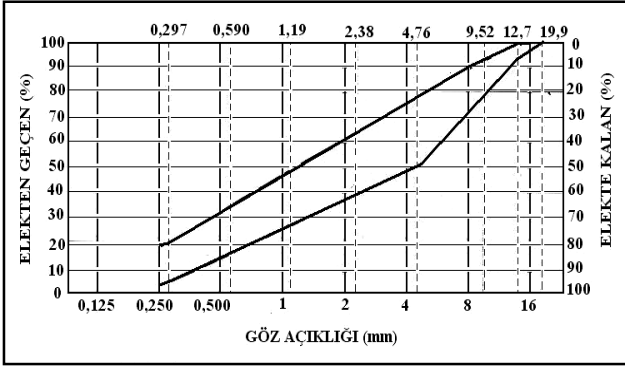
Tablo 4. Skoria agregasının kimyasal içeriği ve oranları

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

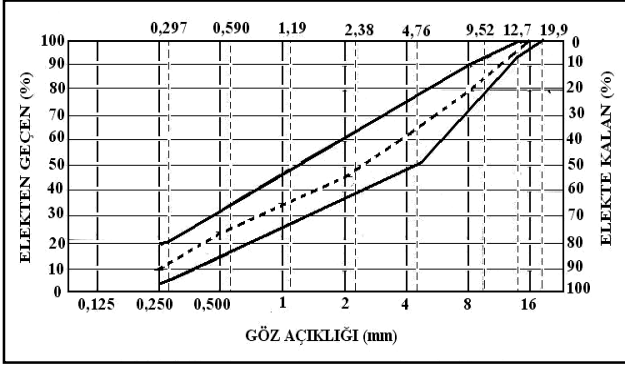
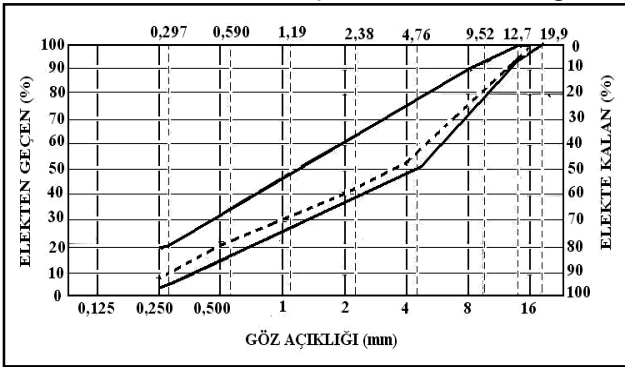
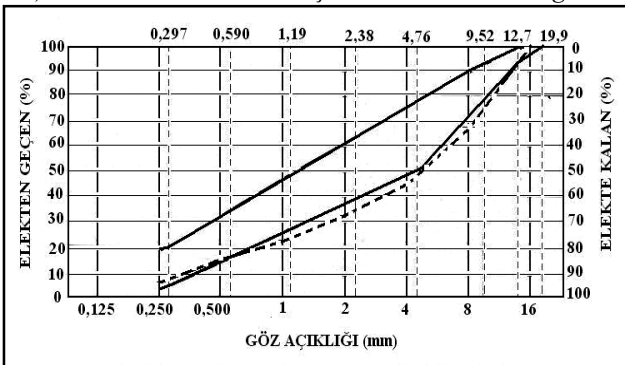
Bu çalışmada kullanılan skoria agregasının su emme değerinin 0.5 saat daldırmanın sonunda %7.4; 24 saat daldırmanın sonunda ise %10.9 olduğu tespit edilmiştir. Birbirine yakın bu değerler, kullanılan skoria agregasının önemli oranda kapalı gözeneğe sahip olduğunu göstermektedir. Şekil indisi (SI) değeri beton özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametredir. Bu çalışmada kullanılan skoria agregasının şekil indisi değeri 10, çakıl agregasının şekil indisi değeri ise 11’dir. TS 706 EN 12620 (2003)’e göre, her iki agreganın da şekil indisi kategorisi aynı ve bu sınamada olabilecek en ideal (SI₁₅) kategoridir. Şekil 1’de ise ASTM C 330 (2000)’de önerilen ve bu çalışmada kullanılan ATBD (agrega tane boyutu dağılımı) eğrileri verilmiştir.

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.



a) ASTM C 330'da önerilen ATBD eğrileri

b) %40 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisic) %50 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisid) %60 A_{iri}/A oranlı beton için kullanılan ATBD eğrisi

Şekil 1. ASTM C 330'da önerilen ve bu çalışmada kullanılan ATBD (agrega tane boyutu dağılımı) eğrileri

Test numunelerinin hazırlanması

Hazırlanan beton karışımlarının sertleşmiş haldeki ilgili değerlerinin (basınç dayanımı ve etüv kuru 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 altı beton karışımının her birinden üçer adet olmak üzere; basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere 18 adet 150x300 mm boyutlarında, silindir formulu; etüv kuru yoğunluğu değerlerinin belirlenmesinde kullanılmak üzere de 18 adet 100x100x100 mm boyutlarında, küp formulu 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.

Test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kuru yoğunluğu değerlerinin belirlenmesi

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

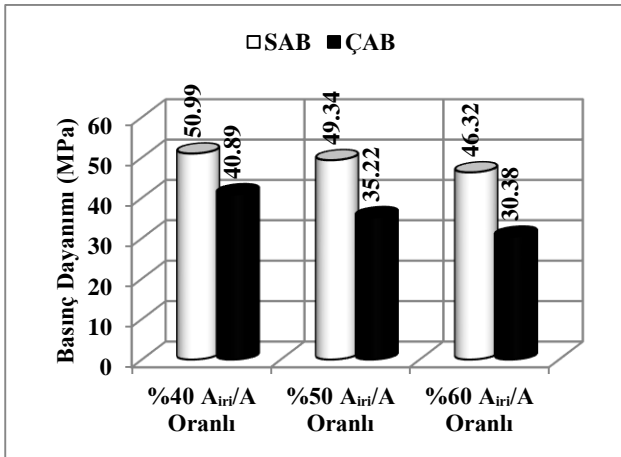
Tablo 5. Test numunelerinin basınç dayanımı ve etüv kurusu yoğunluğu değerlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler

Test Numunelerinin Basınç Dayanımı Ve Etüv Kurusu Yoğunluğu Değerlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Eşitlikler		
$f_c = \frac{F}{A_c}$	$D_{ek} = \frac{m_{ek}}{V_ö}$	$V_ö = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{p_w}$
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	
$V_ö$	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

SAB ve ÇAB'ın basınç dayanımı değerleri

Bileşenlerinin hacimsel oranları aynı olan üç farklı A_{iri}/A oranlı SAB ve ÇAB'ın basınç dayanımı değerleri Şekil 2'de verilmiştir. %40 A_{iri}/A oranlı SAB'ın basınç dayanımı, aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %19.81; %50 A_{iri}/A oranlı SAB'ın basınç dayanımı, aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %28.62; %60 A_{iri}/A oranlı SAB'ın basınç dayanımı ise aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %34.41 daha yüksektir.

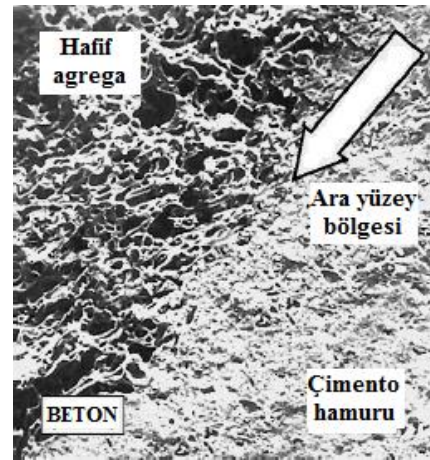


Şekil 2. SAB ve ÇAB'ın basınç dayanımı değerleri

Hafif bir agregaya olan skorianın dayanımı, normal bir agregaya olan çakılın dayanımından daha düşük olduğu için skoria agregası ile

üretilen betonun basınç dayanımının da çakıl agregası ile üretilen betonun basınç dayanımından daha düşük olması beklenebilir. Ancak, bu çalışmada yapılan testlerin sonucu elde edilen değerler, SAB'ın basınç dayanımının, ÇAB'ın basınç dayanımından çok daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Beton, makro düzeyde, çimento hamuru ve agregaya fazlarından oluşan kompozit bir malzemedir. Ancak, çimento hamurunun iri agregalarla temas ettiği bölgesi, geri kalan kısmından daha farklı özellikler sergilediği için bu bölge mikro düzeyde farklı bir faz olarak değerlendirilmektedir. Bu üçüncü faz ara yüzey bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Ara yüzey bölgesi (ACI 213R-03, 2003)

Üretilen betonun basınç dayanımını bu üç fazın en zayıf olanı belirlemektedir.

Çoğu koşulda, normal agreganın dayanımı, çimento hamuru ve ara yüzey bölgesinin dayanımından daha yüksektir. Normal agreganın dayanımı, ancak çok yüksek basınç dayanımları elde edebilmek için çimento hamuru ve ara yüzey bölgesinin dayanımının üst seviyelere çıkarıldığı durumlarda önemli bir faktör haline gelmektedir. Taze betonda iri agregalar çevresinde gerçekleşen kanama olayı nedeniyle ara yüzey bölgesindeki boşluk ve mikro çatlak miktarı çimento hamurundakinden daha fazladır. Bu nedenle, normal agregalı betondaki dayanım sınırlayıcı faz genellikle ara yüzey bölgesidir.

Hafif agregalı beton için durum farklı olabilmektedir. TS 1114 EN 13055-1 (2004)'de, tane yoğunluğu 2 Mg/m^3 'ü aşmayan agregalar, hafif agrega olarak nitelendirilmiştir. Hafif agreganın tane yoğunluğu, dolayısıyla da dayanımı, normal agregadan düşüktür. Tane yoğunluğu çok düşük olan hafif agrega çeşitleri, betondaki dayanım sınırlayıcı faz olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan skoria agregasının tane yoğunluğu (1.819 Mg/m^3), hafif agregalar için belirlenen en üst tane yoğunluğu sınırına yakındır. Bu bağlamda, bu çalışmada üretilen hem SAB hem de ÇAB için dayanım sınırlayıcı fazın ara yüzey bölgesi olduğu düşünülmektedir.

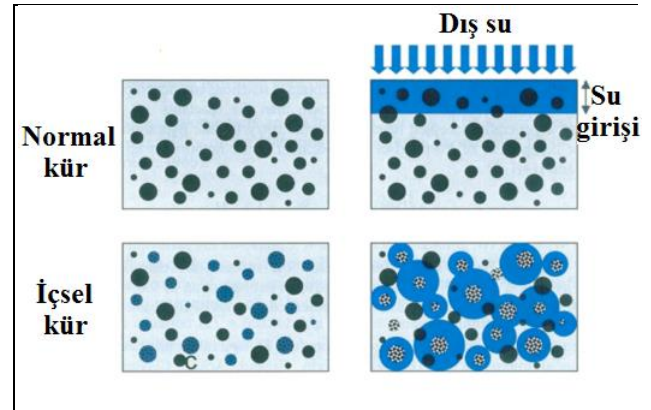
Ara yüzey bölgesi, betonun, diğer iki fazının dayanabileceği gerilim seviyesinin altındaki seviyelerde göçmesine yol açmaktadır.

SAB'ın ara yüzey bölgesi dayanımının, ÇAB'ın ara yüzey bölgesi dayanımından çok daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu düşüncenin birkaç dayanağı bulunmaktadır.

Taze normal agregalı betonda, normal agregaların etrafında biriken su, kuruma sürecinde buharlaşmakta, arkasında boşluklu bir ara yüzey bölgesi bırakmaktadır. Hafif agregalar ise boşluklu olan yapıları nedeniyle ara yüzey bölgesindeki fazla miktardaki suyu absorbe

ederek ara yüzey bölgesinin normalden daha sıkı yapılaşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, hafif agregalı betonun ara yüzey bölgesi dayanımı daha yüksek olmaktadır.

Betonun dayanım kazanma sürecinde ise hafif agregaların absorbe ettiği su, ara yüzey bölgesi ve çimento hamuruna doğru hareket ederek çimentonun hidrasyon düzeyini arttırmaktadır. Literatürde 'içsel kür' olarak tanımlanan bu süreç, normal küre göre çimentonun hidrasyon gelişimine daha fazla katkı sağlamaktadır. İçsel kür, özellikle bu çalışmadaki gibi çimento miktarı yüksek, su/çimento oranı düşük olan beton için çok yararlıdır çünkü bu durumda çimento hamuru daha yoğun olduğu için, normal kür işleminde dışarıdan verilen suyun, betonun yüzeyinden iç bölgelerine ulaşması çok daha zor olmaktadır (Şekil 4). Hidrasyon düzeyinin artması sonucu, hafif agregalı betonun ara yüzey bölgesi dayanımı daha da yükselmektedir.



Şekil 4. Normal ve içsel kür (Varga vd., 2012)

Skoria agregasının her hafif agregada olmayan önemli bir diğer özelliği ise puzolanik etkisidir. Skoria agregasının silika ve alümina açısından zengin olan yüzeyi, çimentonun hidrasyonu ile ara yüzey bölgesinde oluşan boşluklu 'kalsiyum hidroksit' kristalleri ile reaksiyona girerek ikincil hidrasyon ürünleri oluşmasına ve kristaller arasında kalan boşlukların dolmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, SAB'ın ara yüzey bölgesi dayanımının çok daha yüksek olduğu düşünülmektedir.

Ara yüzey bölgesi dayanımının yanı sıra bu bölgenin agregalarla olan aderansı da betonun basınç dayanımını etkilemektedir. Ara yüzey bölgesi ile agregaların aderansı arttıkça betonun basınç dayanımı artmakta, gerilmelere karşı bir bütün olarak karşı koyabilmektedir. Ara yüzey bölgesinin boşluk oranı arttığında, agregalarla temas azalacağı için aderans azalmaktadır. ÇAB'ın ara yüzey bölgesi daha boşluklu olduğu için ara yüzey bölgesi - agrega aderansı daha zayıftır. Ayrıca, Neville, Gündüz, Uğur, Çelik ve Gürdal'a göre, agrega yüzeyinde girinti ve çıkıntılar arttıkça, ara yüzey bölgesi ve agrega arasında temas yüzeyi ve kohesif kuvvet artmakta, fiziksel olarak mekanik kilitlenme gerçekleşmektedir (Gündüz ve Uğur, 2005). Bu nedenle, girintili çıkıntılı biçimi ve pürüzlü yüzeyi olan skoria agregasının (Şekil 5), yuvarlak biçimi ve düzgün yüzey dokusu olan çakıl agregasına göre, ara yüzey bölgesi ile çok daha iyi bir aderans sağlamış olduğu düşünülmektedir.

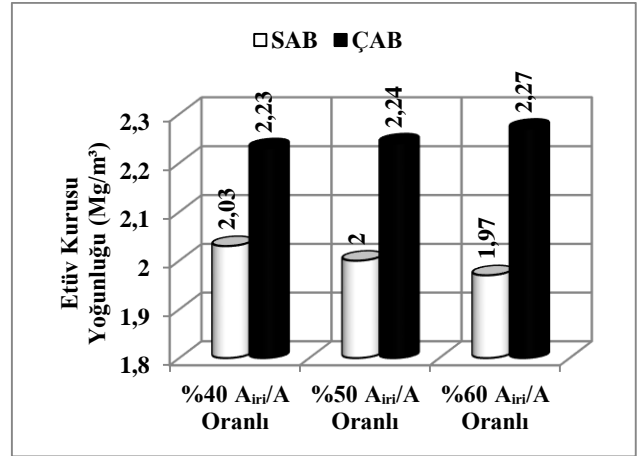


Şekil 5. Çalışmada kullanılan skoria agregası

SAB ve ÇAB, üç farklı A_{iri}/A oranı ile üretilmiştir. İri agreganın tüm agrega içindeki oranının artırılması, daha zayıf olan ara yüzey bölgesini de arttırmıştır. Bu nedenle, daha yüksek A_{iri}/A oranı ile basınç dayanımı değeri daha düşük olan SAB ve ÇAB üretilmiştir. Ancak, skoria agregasının, ara yüzey bölgesi dayanımına yaptığı olumlu katkı ve bu bölge ile olan yüksek aderansı nedeniyle SAB'ın basınç dayanımındaki düşüş sınırlı düzeyde kalmıştır. Böylece, A_{iri}/A oranı arttıkça SAB ile ÇAB'ın basınç dayanımları arasındaki fark daha da artmıştır.

SAB ve ÇAB'ın etüv kuru yoğunluğu değerleri

Bileşenlerinin hacimsel oranları aynı olan üç farklı A_{iri}/A oranlı SAB ve ÇAB'ın etüv kuru yoğunluğu değerleri Şekil 6'da verilmiştir. %40 A_{iri}/A oranlı SAB'ın etüv kuru yoğunluğu, aynı oranlı ÇAB'inkine göre %8.97; %50 A_{iri}/A oranlı SAB'ın etüv kuru yoğunluğu, aynı oranlı ÇAB'inkine göre %10.71; %60 A_{iri}/A oranlı SAB'ın etüv kuru yoğunluğu ise aynı oranlı ÇAB'inkine göre %13.22 daha düşüktür.



Şekil 6. SAB ve ÇAB'ın etüv kuru yoğunluğu değerleri

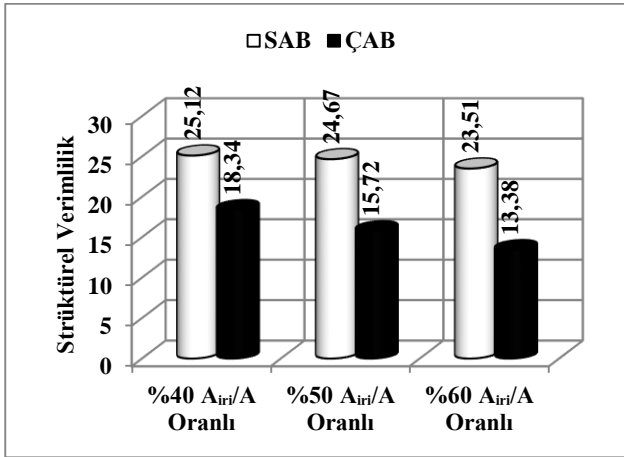
Betonun dayanımını arttırmak için yüksek dozajda çimento kullanılması ve çimento hamuru ile ara yüzey bölgesinin daha sıkı yapılaşmasını sağlayacak adımlar atılması gereği, doğal olarak betonun yoğunluğunun artmasına yol açmaktadır. Beton hacminde en fazla yeri kaplayan agregaların da birim hacim kütlesi yüksek olursa betonun yoğunluğu daha da yükselmektedir. Normal agregaların tane yoğunluğu yüksektir. Bu bağlamda, hafif agregaların betonun yoğunluğunun düşürülebilmesinde önemli bir katkısı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan skoria agregasının tane yoğunluğu 1.819 Mg/m^3 , çakıl agregasının tane yoğunluğu ise 2.583 Mg/m^3 'tür. Bu nedenle, SAB'ın etüv kuru yoğunluğu, ÇAB'ın etüv kuru yoğunluğundan daha düşük olmuştur.

İri agrega olarak kullanılan skoria agregasının tane yoğunluğu, ince agrega olarak kullanılan

dere kumunun tane yoğunluğundan (2.538 Mg/m^3) da daha düşük olduğu için, daha yüksek A_{iri}/A oranı ile etüv kuru yoğunluğu değeri daha düşük olan SAB üretilebilmiştir. Çakıl agregasının tane yoğunluğu ise dere kumunun tane yoğunluğundan daha yüksek olduğu için, daha yüksek A_{iri}/A oranı ile etüv kuru yoğunluğu değeri daha yüksek olan ÇAB üretilebilmiştir. Böylece, A_{iri}/A oranı arttıkça SAB ile ÇAB'ın etüv kuru yoğunlukları arasındaki fark daha da artmıştır.

SAB ve ÇAB'ın strüktürel verimlilikleri

Bileşenlerinin hacimsel oranları aynı olan üç farklı A_{iri}/A oranlı SAB ve ÇAB'ın strüktürel verimlilikleri Şekil 7'de verilmiştir. %40 A_{iri}/A oranlı SAB'ın strüktürel verimliliği, aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %26.99; %50 A_{iri}/A oranlı SAB'ın strüktürel verimliliği, aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %36.28; %60 A_{iri}/A oranlı SAB'ın strüktürel verimliliği ise aynı oranlı ÇAB'ınkine göre %43.09 daha yüksektir.



Şekil 7. SAB ve ÇAB'ın strüktürel verimlilikleri

SAB'ın, ÇAB'a göre, hem basınç dayanımı daha yüksek hem de etüv kuru yoğunluğu daha düşüktür. Bu nedenle, SAB'ın strüktürel verimliliği, ÇAB'ın strüktürel verimliliğinden çok daha yüksek olmuştur.

SAB ve ÇAB'ın A_{iri}/A oranı arttıkça basınç dayanımı değerleri düşmüştür. Ancak, SAB'ın basınç dayanımındaki düşüş sınırlı düzeyde kalmıştır. A_{iri}/A oranı arttıkça, SAB'ın etüv kuru yoğunluğu değeri de düşmüştür.

ÇAB'ınki ise artmıştır. Böylece, A_{iri}/A oranı arttıkça SAB ile ÇAB'ın strüktürel verimlilikleri arasındaki fark daha da artmıştır.

Sonuç

Bu çalışmada üretilen skoria agregalı betonun, bileşenlerinin hacimsel oranları aynı olan çakıl agregalı betona göre, basınç dayanımının ortalama %27.61 daha yüksek, etüv kuru yoğunluğunun ortalama %10.97 daha düşük, bunlara bağlı olarak da strüktürel verimliliğinin ortalama %35.45 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada sınıanan hafif skoria agregası, normal çakıl agregası ile üretilene göre, basınç dayanımı çok daha yüksek olan beton üretilebilmesine imkân vermiştir. Hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde böyle bir sonucun alınması çok önemlidir. Zira fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı hafif agregalar, hedef basınç dayanımının yüksek olduğu bir üretimde normal agregalara göre oldukça dezavantajlıdır. Skoria agregasının tane yoğunluğu, normal agregadan daha düşük olduğu için skoria agregası ile yoğunluğu da çakıl agregası ile üretilenden daha düşük olan beton üretilebilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen değerler, beton üretiminde, çakıl agregası yerine skoria agregası kullanılması durumunda, betonun strüktürel verimliliğinin önemli oranda yükseleceğini göstermektedir.

Bu çalışma; yüksek tane yoğunluğu, girintili çıkıntılı biçimi, pürüzlü yüzeyi ve puzolanik etki yaratacak kimyasal yapısı olan hafif bir agreganın, strüktürel verimliliğin yükseltilmesi açısından yararlı olacağını da göstermiştir. Hafif agregaya seçiminde bu özelliklerin dikkate alınmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen değerler, sınama için seçilen koşullara bağlıdır. Bu çalışmada sınıanan skoria ile çakıl agregalı betonda hiçbir katkı kullanılmamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, betonun ara yüzey

bölgesindeki olumlu etkileri ile dayanım sınırlayıcı fazın değişmesine yol açabilecek beton katkılarının (mineral katkı, akışkanlaştırıcı katkı gibi) kullanıldığı bir üretimde yapılacak performans karşılaştırmasının 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

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.

BE96-3942/R2, (1998). LWAC material properties, state-of-the-art, Eurolightcon, The European Union.

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.

Gündüz, L. ve Uğur, İ., (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate / cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35, 1859-1864.

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.

Monteiro, P.J.M., (2003). The structure and properties of civil engineering materials, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Berkeley.

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.

TS 1114 EN 13055-1, (2004). Hafif agregalar - Bölüm 1: Beton, harç ve şerbette kullanım için, *Türk Standartları*, Ankara.

TS 3530 EN 933-1, (1999). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - Eleme metodu, *Türk Standartları*, Ankara.

TS 3814 EN 933-4, (2001). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane şeklinin tayini - Şekil indisi, *Türk Standartları*, Ankara.

TS 706 EN 12620, (2003). Beton agregaları, *Türk Standartları*, Ankara.

TS EN 1097-3, (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, *Türk Standartları*, Ankara.

TS EN 1097-5, (2001). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 5: Hava dolaşımı etüvde kurutma ile su muhtevasının tayini, *Türk Standartları*, Ankara.

TS EN 1097-6, (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *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 tabi 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 932-1, (1997). Agregaların genel özellikleri için deneyler - Kısım 1: Numune alma metotları, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 932-2, (1999). Agregaların genel özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu, *Türk Standartları*, Ankara.
- TS EN 933-2, (1996). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Kısım 2: Tane boyutu dağılımı tayini - Deney elekleri, elek göz açıklıklarının anma büyüklükleri, *Türk Standartları*, Ankara.
- Varga, I.D.L., vd., (2012). Application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash, *Cement and Concrete Composites*, 34, 1001-1008.
- 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.

Comparison between scoria and gravel aggregate concrete in the context of structural efficiency

Extended abstract

Structural efficiency is defined as the ratio of compressive strength / density of concrete in literature. The dimensions of structural elements become thinner and due to the decrease in the weight of the building, probability of getting damage during the earthquakes decreases when the structural efficiency of concrete becomes higher.

The aggregate which occupies 60 to 80 percent of the volume in concrete, has a significant effect over the structural efficiency of concrete.

Normal aggregate is used for concrete production in a widespread manner. The concrete that has both high compressive strength and density can be produced with normal aggregate. Lightweight aggregate has lower density according to normal aggregate. For this reason, the concrete that has lower density according to normal aggregate concrete can be produced with lightweight aggregate. However, unfortunately it can be possible to produce concrete that has far less compressive strength with lightweight aggregate according to normal aggregate concrete. For this reason, the concrete that would have higher structural efficiency can be produced with lightweight aggregate only the one that will enable to produce concrete that has close or higher compressive strength according to the one's produced with normal aggregate.

The chemical as well as the physical properties of scoria aggregate are such as to increase the compressive strength and thus the structural efficiency of concrete. However, it was determined that there isn't enough study about the performance of scoria aggregate in a concrete production where the target compressive strength is high.

In this study, lightweight scoria aggregate concrete and normal gravel aggregate concrete were compared in the context of structural efficiency where the target compressive strength was high.

For the comparison, scoria and gravel concrete mixtures that have the same volumetric proportions of ingredients were prepared. Concrete mixtures

were designed so as to have high strengths. 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.

It was determined that scoria aggregate concrete produced in this study has %27.61 higher compressive strength,, %10.97 higher oven-dry density and dependently %35.45 higher structural efficiency in average, in reference to gravel aggregate concrete that has the same volumetric proportions of ingredients.

Lightweight scoria aggregate that was tested in this study was enabled to produce concrete that has by far higher compressive strength in reference to gravel aggregate concrete. It is very important to get such a result in a production where the target compressive strength is high because due to their physical and mechanical properties lightweight aggregates are at a disadvantage according to normal aggregates in a production where the high strength is targeted. Because the particle density of scoria aggregate is lower than the gravel aggregate, also the concrete that has lower density according to gravel aggregate concrete can be produced with scoria aggregate.

The values obtained within the study indicate that the concrete's structural efficiency will rise preciously in case scoria aggregate is used instead of gravel aggregate for concrete production.

This study also indicates that a lightweight aggregate that has high particle density, indented form, grainy surface and a chemical structure that creates pozzolanic effect will be useful for raising the structural efficiency of concrete. It is treated as useful taking into account these properties while choosing a lightweight aggregate.

Keywords: scoria, lightweight aggregate, lightweight aggregate concrete, compressive strength, density, structural efficiency