

PAPER DETAILS

TITLE: GERİ DÖNÜSTÜRÜLMÜS ATIK BETONLARDA SILIS DUMANININ ETKİLERİ

AUTHORS: İsmail KILIÇ, Abdullah KADAYIFÇI

PAGES: 115-121

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/213789>

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ATIK BETONLARDA SİLİS DUMANININ ETKİLERİ

İsmail KILIÇ¹, Abdullah KADAYIFÇI²

¹Trakya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Kırklareli, e-posta: ismailkilog@trakya.edu.tr

Tel: 0288 246 16 66 Faks: 0288 246 16 50

²Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Isparta

Alınış: 28 Mart 2007

Kabul Ediliş: 17 Ekim 2007

Özet: Çalışmada, silis dumanının atık beton agregasından elde edilen betonların özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Atık beton agregası gerekli granülometrik değerlere sahip olmadığından dolayı, normal Isparta-Atabey agregasıyla uygun granülometriyi sağlayacak şekilde karıştırılmıştır. Karışım agregasından elde edilen betonun dayanımını arttırmak amacıyla silis dumanı ağırlıkça % 6, 8, 10, 12 ve 14 oranlarında çimento yerine kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, elek analizi, tane yoğunluğu ve su emme, taze beton birim hacim ağırlığı, taze beton kıvamı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Silis dumanının karışımdaki su gereksinimini artırması nedeniyle, su-çimento oranının yükseltilmesi basınç dayanımının azalmasına neden olmuştur. Karışımdaki su miktarını azaltmak amacıyla yüksek oranda su azaltıcı özelliği olan süper akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkısı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık beton, Geri dönüşüm, Silis dumanı, Süper akışkanlaştırıcı

Effects of Silica Fume on Recycled Waste Concretes

Abstract: In this study, it has been investigated experimentally that effects of silica fume on properties of concretes to get from waste concrete aggregate. It is because that the waste concrete aggregate hasn't got proper grading curve, it was mixed with Isparta-Atabey aggregate to supply suitable grading. The silica fume were added to concrete with the ratios 6, 8, 10, 12 and 14 % by weight of cement weight. In the experimental study, experiments of sieve analysis, grain density and water absorption, unit weight of fresh concrete, fresh concrete consistence, ultrasonic pulse velocity and compressive strenght were done. The silica fume was decreased the values of compressive strenght. A super plasticizer and high-range water reducing chemical admixture was used in the mixture.

Keywords: Waste concrete, Recycle, Silica fume, Super plasticizer

Giriş

Betonun birçok önemli özelliği, betonun üretiminde kullanılan agreganın karakteristiklerine geniş ölçüde bağlı bulunmaktadır. Diğer bir deyişle beton özelliklerinin istenilen değerleri alabilmesi, bu malzemenin üretiminde kullanılan agrega karakteristiklerinin bazı şartları yerine getirmesi ile mümkün olmaktadır (Özsöylev, 1993). Beton içerisindeki agreganın dane çapının artırılmasıyla betonun basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı artırılabilir (Shacklock, 1974).

Hansen ve Narud (1983), yaptıkları deneysel çalışmalarda eski beton kırığı agregaların, doğal agregalara benzer test sonuçları verdiklerini belirlemişlerdir. Xiao ve Ark. (2005) yaptıkları çalışma sonucunda, geri dönüştürülmüş agrega kullanılan betonların elastisite modülünün normal betona göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Beton üretiminde % 100 geri dönüştürülmüş iri agrega kullanımının elastisite modülünü % 45'e kadar düşürdüğünü tespit edilmişlerdir. Topçu ve Şengel (2004) yaptıkları çalışma sonucunda, beton üretiminde atık beton agregası kullanımının işlenebilirlik sorununu arttırdığını, özellikle % 50'den daha fazla oranda atık beton agregası kullanılması durumunda işlenebilirlik sorununun daha da arttığını belirlemişlerdir.

Geri dönüştürülmüş betonun özelliklerinin daha iyi olması için geri dönüştürülmüş agrega içerisindeki 0-2 mm inceliğindeki kısmın doğal kum ile değiştirilmesi gerekmektedir (Ajdukiewicz ve Kliszczewicz, 2002). Araştırmacılar tarafından eski beton kırığı agregalı betonlar üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda karışımdaki eski beton kırığı oranının artmasıyla beton basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir (Günçan, 1995). Atık beton agregası ile üretilen betonların basınç dayanımlarının normal betona kıyasla % 20 veya bazen daha fazla oranda düşme gösterdiği belirlenmiştir (Nixon, 1978). Eğer kullanılan atık agreganın elde edildiği orijinal beton kaliteli ve su-çimento oranı da iyi ayarlanmış ise doğal agregalarla üretilen betonların basınç dayanım değerlerine ulaşmak hatta o değerleri de aşmak mümkün olabilmektedir (Hansen ve Narud, 1983). Topçu ve Sarıdemir (2007) silis dumanı içeren geri dönüştürülmüş agregalı betonlar üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, yapay sinir ağırları ve bulanık mantık sistemlerinin basınç ve çekme dayanım değerlerini tahmin etmede uygulanabilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Topçu (1997)'ye göre yüksek dayanımlı beton üretimi için atık beton agregası kullanılacağı zaman, özellikle atık beton agregasının su emme kapasitesini ve yaklaşık dayanımını bilmek gerekmektedir. Ayrıca, atık beton agregası kullanılmadan önce diğer materyallardan dikkatlice temizlenmesi gerekmektedir.

Betonda çimento ağırlıklarının % 5'i ölçüsünde kullanılan silis dumanı taze beton özellikleri üzerinde pek etkili olamamaktadır. Çimento ağırlıklarının % 15'i ölçüsünde silis dumanı kullanılması durumunda ise bazı taze beton özellikleri ya değişmemekte ya da olumsuz olarak etkilenmektedir. Betonda çimento ağırlıklarının % 10'u ölçüsünde silis dumanı kullanılması ile taze beton özelliklerinde önemli iyileşmeler gözlenmektedir (Topçu ve Uğurlu, 2006).

Materyal ve Metod

Araştırmada kullanılan atık beton agregası, Isparta-Merkez'de imar nedeniyle yıkılan bir binadan alınan atık beton parçalarının konkasörde kırılmasıyla elde edilmiştir. Şahit beton üretiminde kullanılan karışım agregası için gerekli olan normal agregası Isparta'nın Atabey ilçesindeki kum-çakıl ocağından alınmıştır. Karışım doğal kaynak suyu kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme olarak, Isparta-Göltaş Çimento Fabrikası'nda üretilen portland çimentosu (CEM I 42.5) kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı özelliğe sahip yüksek oranda su azaltıcı kimyasal beton katkısı İzmir SİKA AŞ'den temin edilmiştir. Sikament FF isimli bu katkı dozaj olarak, çimento ağırlığının % 0.6-3.0 arasında kullanılmaktadır. Karışım suyu miktarını dozaja bağlı olarak % 25-30 oranında azaltılmaktadır.

Atık beton agregasının elde edilmesi aşamasında, bina yıkıntısının bulunduğu alandan laboratuvara getirilen atık beton parçaları, ahşap, tuğla gibi maddelerden ve demirinden ayıklanarak temizlenmiştir. Temizlendikten sonra, Isparta Belediyesi Asfalt Müdürlüğü'ne ait Isparta-Antalya yolu üzerindeki taş kırma tesisine ait konkasörde 0-4, 4-8 ve 8-16 mm boyutlarında agregası haline getirilmiştir. Araştırmada 0-4 mm aralığındaki atık beton agregası su gereksinimini arttıracak ve dayanımın azalmasına neden olacağı gerekçesiyle kullanılmamıştır. 4-8 mm ve 8-16 mm aralığındaki atık beton agregası laboratuvara getirildikten sonra su ile yıkanarak, içerisindeki ince toz zerrecikleri ve küçük ahşap parçacıkları gibi maddelerden ayrıştırılmıştır.

Atabey ve atık beton agregalarının tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini TS EN 1097-6 (2002)'ye göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, atık beton agregasının (4-16 mm), aynı aralıktaki Atabey agregasına (4-16 mm) oranla tane yoğunluğunun % 11.7 daha az ve su emme oranının ise % 370 daha fazla olduğu belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Agregalara ait birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme değerleri

Agrega	Birim ağırlık gr/cm ³		Özgül ağırlık	Su emme, %
	Gevşek	Sıkışık		
Atabey (0-4 mm)	1.68	1.83	2.58	1.54
Atabey (4-16 mm)	1.51	1.66	2.64	1.33
Atabey (16-32 mm)	1.43	1.58	2.72	0.70
Atık (4-16 mm)	1.13	1.27	2.33	6.26

Atık beton agregası, kırma taş tesisinde belirli elek aralıklarında kırılmıştır ve beton üretiminde tek başına kullanılabilmesi için gerekli granülometrik bileşim özelliğine sahip değildir. Bundan dolayı Atabey agregası ile karıştırılarak uygun bir granülometri elde edilmiştir ve bu şekilde kullanılmıştır. Karışım 0-4, 4-16 ve 16-32 mm olmak üzere üç gruba ayrılan Atabey agregasında, 4-16 mm Atabey agregası yerine aynı aralıktaki atık beton agregasının kullanılmasıyla sağlanmıştır. Söz konusu malzemeler ile seriler halinde 15 cm küp beton numuneleri üretilmiştir ve aşağıdaki gibi etiketlenmiştir.

- Atabey ve atık beton agregasının karışımı kullanılan beton örnekleri NR
- Atabey ve atık beton agregasının karışımı kullanılan ayrıca karışıma farklı oranlarda (% 6, 8, 10, 12 ve 14) silis dumanı katılan beton örnekleri SD
- Atabey ve atık beton agregasının karışımı kullanılan, karışımda % 12 silis dumanı ve % 1.2 süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılan beton örnekleri SS

Beton karışım hesabı normal Atabey agregasına göre, TS 802 (1985)'ye uygun şekilde yapılmış ve su/çimento oranı 0.58 olarak belirlenmiştir. Atık beton ve Atabey agregasının karışımdan elde edilen beton örneklerine ait karışım hesabı yapılırken atık beton agregasının su emme oranı dikkate alınarak su-çimento oranı 0.62'ye yükseltilmiştir. Silis dumanı kullanılan beton örneklerinde, silis dumanının inceliğinden dolayı su gereksinimini artırması göz önünde bulundurularak su-çimento oranında yine artırma yapılarak 0.70'e yükseltilmiştir. Farklı oranlarda silis dumanı kullanılan karışımlarda su-çimento oranı sabit tutulmuştur. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılan beton karışımlarında ise süper akışkanlaştırıcı katkının yüksek oranda su azaltıcı özelliği ve su azaltma oranı dikkate alınarak karışımdaki su-çimento oranı azaltılarak 0.58 olarak

belirlenmiştir. Her tür beton karışımlarında agrega miktarları hesaplanırken, 0-4, 4-16 ve 16-32 mm aralıklarında ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Kullanılan beton karışımlarının bileşimleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan beton karışımlarının bileşimleri (1m³)

Karışım Kodu	Katkı		S-Ç oranı	Çimento (kg)	Su (kg)	Atabey (0-4) (kg)	Atık (4-16) (kg)	Atabey (16-32) (kg)
	(%)	(kg)						
NR	-	-	0.62	300	185	639.25	578.54	577.66
SD1	6	18	0.70	282	210	616.67	558.11	557.26
SD2	8	24		276	210	616.67	558.11	557.26
SD3	10	30		270	210	616.67	558.11	557.26
SD4	12	36		264	210	616.67	558.11	557.26
SD5	14	42		258	210	616.67	558.11	557.26
SS	12 1.5	36 4.5	0.58	264	145	650.08	597.35	587.45

Silis dumanı, silisyum madeni yada ferrosilikon gibi silisyum alaşımının üretilmesi sonucunda elde edilmiş aşırı derecede ince toz halinde bir üründür. Bu maddenin içindeki silisyum içeriği % 85’ten % 98’e varan oranlarda değişmektedir. Silis dumanının rengi genellikle açık gri ile koyu gri arasında değişmekte ve içindeki karbon içeriğinin artmasıyla koyuluk artmaktadır. Su ile karıştırıldığında, siyah renkli bir bulamaç vermektedir. Silis dumanı çok ince partiküllerden meydana gelmektedir. Partiküllerin çoğu 0.1-0.2 mikrometre arasındadır. Çimento partiküllerinin ortalama büyüklük çapının yaklaşık 1/100’ü kadardır. Beton içerisinde kullanılan silis dumanının belirli özgül yüzey alanı genellikle 130000 cm²/g ile 280000 cm²/g arasında değişmektedir. Yaklaşık olarak 200000 cm²/g’dır (Erdoğan, 1997).

Silis dumanının kimyasal bileşimi metal yada alaşım üretiminin türüne göre değişmektedir. Bir ferrosilikon fırınından elde edilen silis dumanı, bir silikon metal üreten fırından elde edilen silis dumanına göre daha çok demir ve magnezyum içermektedir. Çizelge 3’te çeşitli ülkelerden bazı tipik silis dumanlarının kimyasal bileşimleri verilmiştir (Erdoğan, 1997).

Çizelge 3. Silis dumanının kimyasal bileşimleri (%) (Erdoğan, 1997)

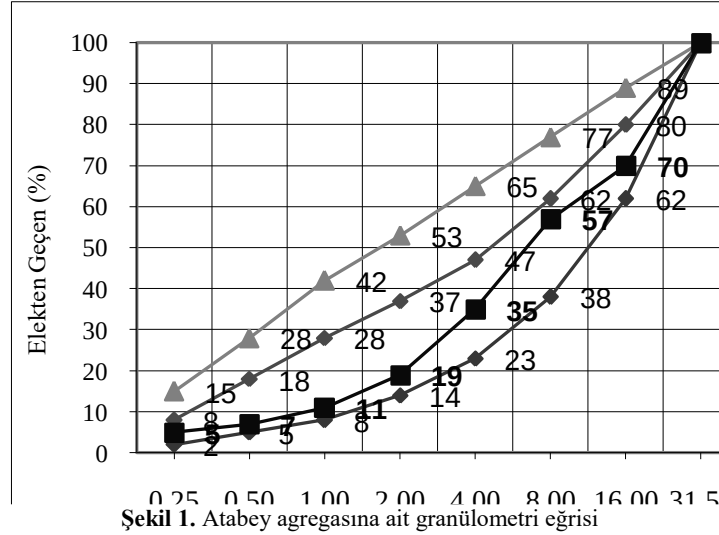
BİLEŞEN	ABD	NORVEÇ	TÜRKİYE*
SiO ₂	90.0-93.0	90.0-96.0	93.0-95.0
C	1.3-2.6	0.5-1.4	0.8-1.0
Fe ₂ O ₃	0.4-0.7	0.2-0.8	0.4-1.0
Al ₂ O ₃	0.5-1.6	0.5-3.0	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	1.0-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.6-1.0
Na ₂ O	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.4
K ₂ O	1.0-1.2	0.4-1.0	0.5-1.0
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.3
LOI	1.4-2.8	0.7-2.5	0.5-1.0

*Antalya’da ferrosilikon fırınında üretilen silis dumanından elde edilen sonuçlardır.

Çalışmada, elek analizi TS 3530 EN 933-1 (1999), taze beton birim hacim ağırlıkları TS 2941 (1978), taze beton kıvam deneyi TS EN 12350-2 (2002), tek eksenli basınç dayanımı belirlenmesi TS EN 12390-3 (2003), ultrases geçiş hızı ölçümleri ASTM C 597’ye göre yapılmıştır.

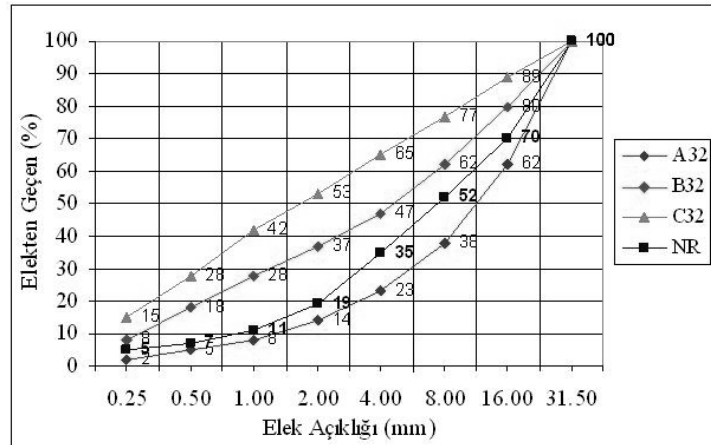
Sonuçlar

Atabey agregası, 0-4 (N1), 4-16 (N2) ve 16-32 mm (N3) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. A32-B32 sınırları arasında bir granülometri sağlamak için % 30 N1, % 35 N2, % 35 N3 oranlarında karışımlarda kullanılmıştır. Elde edilen karışımın granülometri eğrisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Atabey agregasına ait granülometri eğrisi

Atık beton agregası 4-8 ve 8-16 mm aralıklarında konkasörle kırılarak elde edildiğinden dolayı iki gruba ayrılmıştır. Atık beton agregasında uygun granülometriyi sağlayabilmek amacıyla Atabey agregasıyla karıştırılmıştır. Karışım işlemi Atabey agregasıyla yapılan karışımındaki 4-16 mm Atabey agregası yerine, 4-16 mm atık beton agregası kullanılarak yapılmıştır. 4-16 mm atık beton agregası aralığında ise %50 4-8 mm ve %50 8-16 mm atık beton agregası kullanılmıştır. Atık beton ve Atabey agregasının karıştırılması sonucunda elde edilen karışım agregasına ait granülometri eğrisi Şekil 2’de görülmektedir.



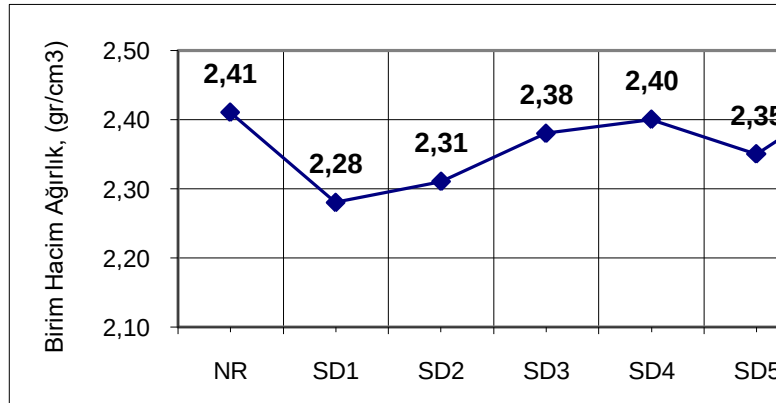
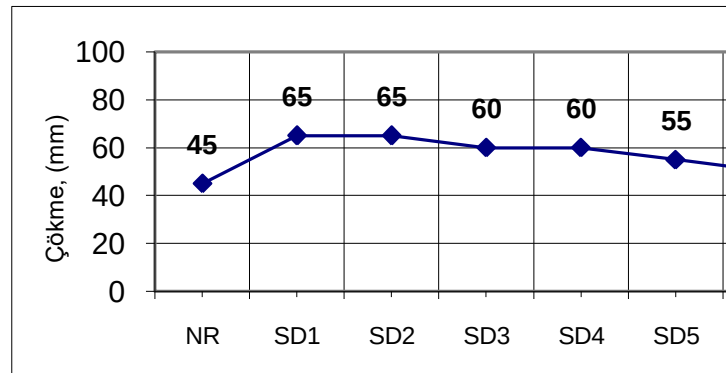
Şekil 2. Atabey ve atık beton agregasının karışımına ait granülometri eğrisi

Taze beton birim hacim ağırlığı, çökme, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deney sonuçları Çizelge 4’de ve Şekil 3, 4, 5, 6’da verilmiştir.

Çizelge 4. Taze beton birim hacim ağırlığı, çökme, basınç dayanımı ve ultrases hızı deney sonuçları

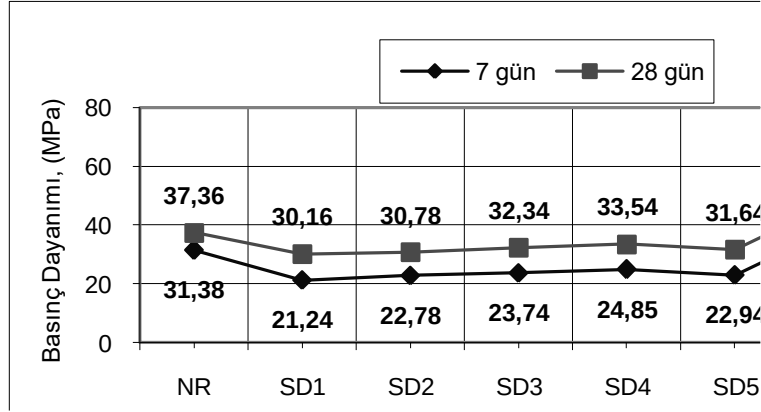
Karışım Kodu	Katkı %	Birim hacim ağırlık gr/cm ³	Çökme değeri, mm	Su-Çimento oranı	Basınç dayanımı, Mpa		Ultrases geçiş hızı, km/s
					7 günlük	28 günlük	
NR	-	2.41	45	0.62	31.38	37.36	4.83
SD1	6	2.28	65	0.70	21.24	30.16	4.49
SD2	8	2.31	65		22.78	30.78	4.68
SD3	10	2.38	60		23.74	32.34	4.70
SD4	12	2.40	60		24.85	33.54	4.73
SD5	14	2.35	55		22.94	31.64	4.71
SS	12, 1.5	2.45	50	0.58	40.43	49.30	5.01

Silis dumanı kullanılan karışım türlerinde (SD1, SD2, SD3, SD4, SD5), atık ve Atabey agregasının kullanıldığı karışım türüne (NR) oranla birim hacim ağırlık değerlerinde % 2.49-5.39 azalma olduğu Şekil 3'te ve çökme değerlerinde ise % 22-44 artış olduğu Şekil 4'de görülmektedir. Çökme değerlerindeki bu artış silis dumanının fazla su gereksiniminden dolayı karışımındaki su miktarının artırılmasından kaynaklanmıştır. Beton karışımındaki silis yüzdesinin artmasıyla çökme değerlerindeki artış azalmıştır. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkının kullanıldığı karışım türünde (SS) ise birim hacim kütle değerinde % 1.63 ve çökme değerinde % 11.11 artış olmuştur.

**Şekil 3.** Birim hacim ağırlık değerleri**Şekil 4.** Çökme deneyi sonuçları

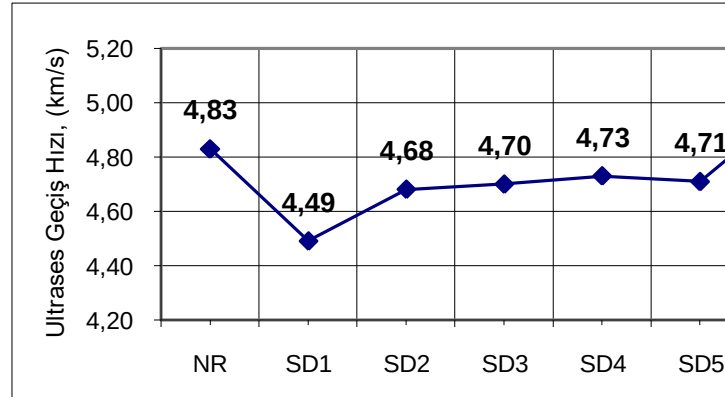
Farklı oranlarda (% 6, 8, 10, 12 ve 14) silis dumanı kullanılarak elde edilen karışım türlerine ilişkin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri NR karışım türüne oranla değerlendirildiğinde, silis dumanının basınç dayanımını

arttırmadığı, aksine 7. gün için % 21-32 ve 28. gün için ise %10-19 azalttığı Şekil 5'te görülmektedir. Bunun nedeni kullanılan silis dumanının karışımın su gereksinimini artırması sonucu, karışımdaki su miktarının artırılmasıdır. Artan su miktarı dayanımı olumsuz yönde etkilemiştir. Silis dumanı ile süper akışkanlaştırıcının birlikte kullanıldığı karışım türünde (SS) ise karışım agregasından elde edilen beton numunesine (NR) oranla basınç dayanım değerlerinde 7. gün için % 28.6 ve 28. gün için % 32 artış olmuştur.



Şekil 5. Basınç dayanımı deney sonuçları

Silis dumanının farklı oranlarda kullanılarak elde edildiği karışım türlerindeki ultrases geçiş hızı değerleri NR karışım türüne oranla % 2-7 azaldığı Şekil 6'da görülmektedir. Bunun nedeni, karışımda kullanılan silis dumanının su gereksinimini karşılamak amacıyla su miktarında artırılmasına gidilmesi sonucunda elde edilen betonun daha boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Silis dumanı ile birlikte süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak elde edilen karışım türünün (SS) ultrases geçiş hızında, karışım agregasından elde edilen karışım türüne (NR) oranla ultrases geçiş hızı değerinde % 3.4 artış olmuştur.



Şekil 6. Ultrases hızı deney sonuçları

Değerlendirme

Yapılan deney sonuçlarına göre, atık beton ve Atabey agregasının karışımından elde edilen betonlarda mineral beton katkısı olarak silis dumanının kullanılması, birim hacim ağırlık değerlerini % 2.49-5.39 azaltmış, çökme değerlerini % 22-44 artırmıştır. Çökme değerlerindeki artış silis dumanının fazla su gereksiniminden dolayı karışımdaki su miktarının artırılmasından kaynaklanmıştır. Beton karışımındaki silis yüzdesinin artmasına paralel olarak çökme değerlerindeki artış miktarı azalmıştır. Basınç dayanım değerlerini 7. gün için % 21-32 ve 28. gün için ise % 10-19 azaltmıştır. Ultrases geçiş hızı değerlerinde de % 2-7 oranlarında azalmaya neden olmuştur. Atık beton agregasının su emme oranının yüksek olmasıyla birlikte silis dumanının inceliğinden dolayı karışımdaki su gereksinimini artırması göz önünde bulundurularak, su-çimento oranının yükseltilmesi basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca karışımdaki suyun artırılması betonda daha fazla boşluklu bir yapı oluşturmuş ve ultrases geçiş hızı değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

Beton karışımında, % 12 oranında silis duman ile birlikte % 1.5 oranında yüksek oranda su azaltıcı ve süper akışkanlaştırıcı özellik gösteren kimyasal beton katkısının kullanımı, birim hacim ağırlık değerini % 1.63, çökme değerini % 11.11, ultrases geçiş hızı değerini % 3.4, basınç dayanım değerlerini 7. gün için % 28.6 ve 28. gün için % 32 artırmıştır.

Sonuç olarak, atık beton agregaları kullanılarak üretilen geri dönüştürülmüş atık betonlarda silis dumanının dayanım artırıcı katkı olarak kullanılmaması, eğer mutlaka kullanılması gerekiyorsa karışımında % 12 oranında silis dumanının, % 1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı özelliğe sahip yüksek oranda su azaltıcı kimyasal beton katkısıyla birlikte kullanılması uygun görülmektedir.

Kaynaklar

- AJDUKIEWICZ A., KLISZCZEWICZ A., Influence of Recycled Concrete Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC, *Cement and Concrete Composites*, Vol:24, p.269-279, 2002.
- ERDOĞAN TY. Admixtures for Concrete, p.93-126, Middle East Technical University Press, Ankara, 1997.
- GÜNÇAN NF. Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, 44s, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1995.
- HANSEN TC, NARUD H. Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate, *ACI, Concrete International, Design and Construction*, vol.5, no.1, p.79-83, Germany, 1983.
- NIXON PJ. Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete, *First State of Art Report RILEM TC-37-DRC, Materials and Structures*, no.65, p.371-378, 1978.
- ÖZSÖYLEV T. Hazır Beton ve Ekipmanları, s.225, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1993.
- SHACKLOCK BW. Concrete Constituents and Mix Proportions, *Cement and Concrete Association*, p.8, London, 1974.
- TOPÇU İB, SARIDEMİR M. Prediction of Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concretes Containing Silica Fume Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic, *Computational Materials Science*, 2007.
- TOPÇU İB, ŞENGEL S. Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate, *Cement and Concrete Research*, Vol:34, p.1307-1312, 2004.
- TOPÇU İB, UĞURLU A. Silis Dumanı Kullanımının Beton İşlenebilirliği Üzerindeki Etkisi, *Hazır Beton Dergisi*, Sayı:77, s.58-64, 2006.
- TOPÇU İB. Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol:27, p.1817-1823, 1997.
- TS 2941. Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1978.
- TS 3530 EN 933-1. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1999.
- TS 802. Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standardları Enstitüsü, I. Baskı, Ankara, 1985.
- TS EN 1097-6. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- TS EN 12350-2. Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- TS EN 12390-3. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- XIAO J, LI J, ZHANG C. Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Under Uniaxial Loading, *Cement and Concrete Research*, Vol:35, p.1187-1194, 2005