

Silis Dumanının Karbon Fiber Takviyeli Hafif Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi

BAHAR DEMİREL¹, SALİH YAZICIOĞLU²

^{1,2}Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölüm / ELAZIĞ
Alınış tarihi: 17.01.2007, Kabul: 23.05.2007

Özet: Bu çalışmada, betonda mineral katkı olarak kullanılan silis dumanının karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, silis dumanı, CEM I 42,5 portland çimento, Elazığ yöresi bazik karakterli pomza agregası ve karbon fiber ile hafif beton numuneler üretilmiştir. Çalışma için, silis dumansız hafif beton, silis dumansız karbon fiberli hafif beton, silis dumanlı hafif beton ve silis dumanlı fiberli hafif beton olmak üzere 4 seri numune hazırlanmıştır. Gereken serilere, çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı; yine çimento ağırlığının % 0,5'i kadar da karbon fiber ilave edilmiştir. Karışımlar hazırlanırken, sabit slump değerinde çalışılmış ve çökme sınıfı S3 olarak alınmıştır. Kür süresini tamamlayan küp numunelere, önce tahribatsız deney yöntemi olan ultrases geçiş hızı deneyi, daha sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Prizma numunelere ise eğilmede çekme deneyi yapılmış ve hem karbon fiberin hem de silis dumanının hafif betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Karbon fiber ilavesi, mineral katkısız serilerde eğilmede çekme dayanımını % 21,91 arttırırken; silis dumanı katkılı serilerde ise % 32,07 arttırmıştır. Silis dumanı açısından incelendiğinde ise, silis dumanı ilavesinin fiberli serilerde basınç dayanımını % 31.12 arttırırken eğilmede çekme dayanımını % 23.14 arttırdığı görülmüştür. Sonuçta, fiberli serilerde, silis dumanı ilavesiyle eğilmede çekme dayanımında meydana gelen yüzdece artışın, basınç dayanımında meydana gelen yüzdece artıştan daha az olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif Beton, Karbon Fiber, Silis Dumanı, Pomza.

The effect of silica fume on the mechanical properties of carbon fiber reinforced lightweight concrete

Abstract: In this study, the effect of silica fume, a mineral admixture to concrete, on the mechanical properties of the carbon fiber reinforced lightweight concrete is studied. With this aim, lightweight concrete samples were produced with silica fume, CEM I 42.5 portland cement, pumice aggregate from Elazığ region with basic character and carbon fiber. Four series of samples were prepared for this study: normal lightweight concrete (without silica fume), normal lightweight concrete with fiber (without silica fume), lightweight concrete with silica fume (without fiber), lightweight concrete with silica fume and fiber. Silica fume was added by 10 % of cement in weight. Carbon fiber was added to the mixture 0.5% by weight of the cement. When the mixtures are being prepared, the class of slump was taken S3 and the experiments were made under constant slump value. First, non-destructive testing (NDT) was carried out using ultrasonic pulse velocity (UPV) and then the compression strength test was applied to the cube samples that have completed cure period. Tensile strength test was applied to the prism samples. Thus, the effects of both carbon fiber and silica fume on the mechanical properties of the lightweight concrete were determined. The addition of carbon fiber has increased the tensile strength 21,91%in the series without mineral admixtures, 32,07% in the series with silica fume. When investigated in point of the silica fume, it is seen that the addition of the silica fume at the series with carbon fiber has increased the compressive strength 31,12%, the tensile strength 23,14%. Consequently, with the addition of the silica fume, it has been determined that increase in tensile strength in percent is less than the increase in compressive strength in percent in the series with carbon fiber.

Keywords: Lightweight Concrete, Carbon Fiber, Silica Fume, Pumice

Giriş

Beton; su, çimento, kullanım alanlarına göre çeşitli agregalar ve gerekli hallerde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun matrisini su, çimento ve agrega oluşturmaktadır. Agregası, kullanım amacına ve yerine uygun olacak biçimde normal veya hafif olabilir. Matriste hafif agreganın kullanılması, yapının ölü yükünü azaltmakta ve böylece taşıyıcı elemanların kesitlerinde küçülme sağlamaktadır. Taşıyıcı hafif betonların kullanımını yaygınlaştırmak amacıyla pomza, perlit gibi hafif agregalar

kullanılarak üretilen hafif betonların mekanik özelliklerinin araştırıldığı birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Kullanılan agreganın ya tümü hafif agregadan seçilmiş, yada iri veya ince agreganın bir tanesinin hafif agregadan olduğu değişik karışımlar denenmiş ve mühendislik özellikleri incelenmiştir (Sancak ve Şimşek, 2006; Yaşar vd., 2003; Topçu, 1997).

Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan fiberler; çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esastır.

Fiberin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, duktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir (Şimşek, 2004). Kullanılan fiberin cinsi, miktarı, boyutu gibi özellikler betonun mekanik özelliklerini farklı şekilde etkilemektedir (Topçu ve Canbaz, 2006; Şimşek vd., 2005). Yine katılan fiberin cinsi ne olursa olsun, matris içerisinde çökelerek homojen dağılması, betonun mekanik özellikleri üzerinde yapacağı katkıyı doğrudan etkilemektedir (Yaprak vd., 2004b; Chung, 2005).

Betonda fiber kullanımına ek olarak; silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların da belirli oranlarda çimento ile yer değiştirilerek kullanılması her geçen gün daha çok araştırılan bir konu olmaktadır. Bu mineral katkıların kullanımı; ince taneli olmaları ve puzolanik reaksiyona girmeleri dolayısıyla betonun mekanik özelliklerini geliştirmekle birlikte, daha yeşil ve temiz bir doğa için atılan büyük bir adımdır (Aruntaş, 2006; Yaprak vd., 2004a; Topçu ve Canbaz, 2001).

Yapılan bir çalışmada, betona takviye malzemesi olarak çelik fiber ilave edilmiş ve eğilme dayanımında meydana gelen değişim izlenmiştir. Çelik fiberin betonun eğilme dayanımını arttırdığı; ayrıca silis dumanının ise çelik fiberli betonda aderansı artırıcı etki yaptığı belirlenmiştir (Şimşek vd., 2005).

Bir diğer çalışmada ise, matrisinde hafif agregaya bulunan betonlarda, çelik ve polipropilen fiber kullanılmış, çelik fiberin hafif agregalı betonun duktilitesini artırırken basınç dayanımına çok etki etmediğini vurgulanmıştır (Kayali vd., 2003).

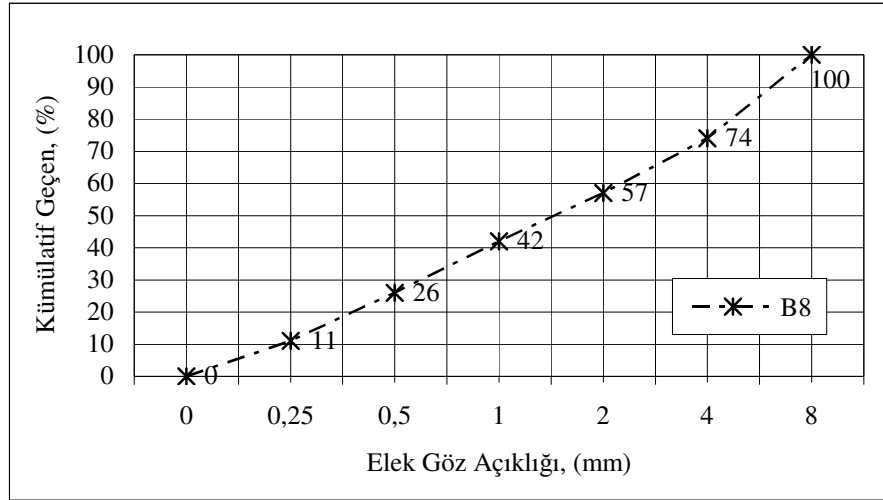
Silis dumanının basınç dayanımı ile birlikte eğilme çekme dayanımını da arttırdığı, fakat özellikle basınç dayanımı artış oranına etkisinin eğilme çekme dayanımı artış oranına etkisinden daha fazla olduğu yapılan bir çalışma ile tespit edilmiştir (Şimşek vd., 2004).

Ülkemizde doğal hafif agregaya kaynakları çok ve yaygın olmasına karşın kullanımı oldukça düşüktür. Hafif agregalı taşıyıcı hafif betonlarla üretilen yapının ölü yükünün azalması; böylece kesitlerde küçülme nedeniyle hacim genişlemesi ve donatı ekonomisi sağlanması, ayrıca depremlerde can ve mal kaybının az olması gibi belli başlı nedenlerden dolayı bu çalışmada kompozitin matrisinde hafif agregaya kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak karbon fiber, mineral katkı olarak da silis dumanı ilave edilmiş ve tüm beton serilerinin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler izlenmiştir.

Malzeme ve Yöntem

Malzemeler

Çalışmada taşıyıcı hafif beton üretimi amaçlandığı için, agregaya hafif agregaya kullanılmıştır. Elazığ Meryem Dağı civarından temin edilen bazik karakterli pomza agregasının granülometrisi, $d_{max} = 8$ mm olacak şekilde düzenlenmiştir. B8 granülometrik sınıfına uygun hale getirilen agreganın granülometri eğrisi ve bazı fiziksel özellikleri sırasıyla Şekil-1 ve Tablo-1'de verilmektedir.



Şekil 1. Kullanılan Agreganın Granülometrisi

Tablo 1. Pomza Agregasının Özellikleri

Agrega Özellikleri (gr/cm ³)	PA*		(TS1114)		(TS EN 206-1)	
	İnce	İri	İnce	İri	İnce	İri
Gevşek Birim Ağırlık	1,028	0,912	1,2	1,0	-	-
Etüv Kuru Tane Yoğ.	1,69	1,88	-	-	2,0	2,0

*PA= Pomza Agregası

Numunelerin ana matrisi; su, çimento ve hafif agregadan oluşmaktadır. Karışım suyu olarak Elazığ şehir şebeke suyu ve ana bağlayıcı olarak da Elazığ Altınova Çimento San. Ve Tic. A.Ş.'den temin edilen ve TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 N Portland çimento kullanılmıştır. Mineral katkı olarak, silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi sırasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulması yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve % 85- % 98 kadar silis içeren bir malzeme olan silis dumanı kullanılmıştır. Antalya'da bulunan Eti Elektro Metalürji A.Ş.'den temin edilen silis dumanı, portland çimentosu ile %10 oranında yer değiştirerek kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve silis dumanına ait bilgiler Tablo-2'de verilmektedir.

Tablo 2. Çimento ile Silis Dumanının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	CEM I 42,5 N	Silis Dumanı
S(SiO ₂)	21.12	91
A(Al ₂ O ₃)	5.62	0,58
F(Fe ₂ O ₃)	3.24	0,24
CaO	62.94	0,71
MgO	2.73	0,33
SO ₃	2.30	1,06
Na ₂ O	-	0,38
K ₂ O	-	4,34
C	-	0.8-1.0
S+A+F	29,98	91,82
Fiziksel Özellikler		
Kızdırma Kaybı	1.78	1,84
Yoğunluk, (g/cm ³)	3.10	2.20
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3370	144000

Takviye malzemesi olarak, teknik özellikleri Tablo-3'te verilen, 5 mm boyunda ve çimento ağırlığının % 0,5'i oranında karbon fiber kullanılmıştır. Kompozit içerisindeki fiberin çökmesi ne kadar iyi olursa, ana matrisin homojenliği de o nispette iyi olmaktadır (Chung, 2005). Bundan dolayı, maliyet açısından uygunluğu göz önünde bulundurularak (Yang ve Chung, 1992), fiberin harç içerisinde homojen dağılmasını ve çökmesini temin etmek için Culminal 9115 modifiye metilselüloz (Hercules, Inc, USA), metilselüloz kullanıldığında meydana gelecek köpüklenmeyi önlemek için ise Rhoximat DF 770 DD (Rhodia, Inc, USA) köpük önleyici kullanılmıştır.

Tablo 3. Karbon Fiberin Özellikleri

Filament Çapı	15±3µm
Çekme Dayanımı	3,43 GPa
Elastisite Modülü	230GPa
Kopmada Uzama	%1,5
Elektrik Direnci	1,6x10 ⁻⁵ Ωm
Yoğunluk	1,82 gr/cm ³
Seebeck Katsayısı	+7,256 µV/°C

Karbon fiber ilave edilen numunelerde daha fazla su ihtiyacı ortaya çıkmakta, başka bir deyişle, çökme (slump) değeri düşmektedir (Chen ve Chung, 1993a). Karışıma su ilave etmeden işlenebilmeyi kolaylaştırmak için tüm fiberli serilere ve silis dumanı ilavesiyle meydana gelen işlenebilme kaybını önlemek için de silis dumanı katkılı fibersiz seriye YKS MR 25 (Lingün Sülfonat esaslı) akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir.

Yöntem

Karışım hesapları yapılırken, TS 2511 standardı dikkate alınmış ve 4 seri numune hazırlanmıştır. Seriler içeriğine uygun olarak kodlanmıştır. Şöyle ki; su, çimento ve hafif agregadan ibaret olan seri (N), buna ilaveten silis dumanı da içeren seri (SD), su, çimento, hafif agrega ve karbon fiber içeren seri (N-CF) ve son olarak su, çimento, hafif agrega, karbon fiber ve silis dumanından meydana gelen seri (SD-CF) şeklinde kodlanmıştır. 1 m³ beton için yaklaşık karışım miktarları Tablo-4'de verilmektedir.

Tablo 4. 1m³ Beton İçin Yaklaşık Karışım Miktarları, (kg)

Seriler	Su	Çimento	Silis Dumanı	İnce Agrega (0-4mm)	İri Agrega (4-8mm)
N	310	450	-	710	225
SD*	315	405	45	701	220
N-CF*	310	450	-	710	225
SD-CF*	315	405	45	701	220

* Akışkanlaştırıcı kullanılan seriler

Fiberli serilerde kullanılan kimyasal maddelerin ve kullanılan akışkanlaştırıcının miktarları, Tablo-5'te verilmektedir.

Tablo 5. Kullanılan Kimyasal Katkıların Miktarları

Kullanılan Kimyasallar	Miktar
Çökeltici –Metilselüloz (Çim.ağ.%)	0,4
Köpük Önleyici (Hacimce%) (1m ³ beton için)	0,13
Akışkanlaştırıcı(Çim.ağ.%)	0,8

Hafif agregalı betonların karışım hesapları normal ağırlıklı betonunkinden biraz farklılık gösterir. Bunda hafif agregaların çok gözenekli oluşları ve yüksek su emme özellikleri rol oynar. Ayrıca çok pürüzlü ve gözenekli olan yüzeyleri dolayısıyla agregaların “doğru kuru yüzey” durumlarını hassas olarak belirlemek zordur. Bu nedenle, normal ağırlıklı agregalarla yapılan betonlarda kullanılan “net karışım suyu” veya “net karışım suyu/çimento” kavramları hafif agregalı betonlarda ancak yaklaşık olarak kullanılabilir. Dolayısıyla su/çimento-dayanım ilişkisi yerine, yapılan deneme karışımları sonucunda işlenebilirliğe göre bulunan çimento dozajı-dayanım ilişkisinin dikkate alınması daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (Yeğinobalı, 1997). Bundan dolayı, yapılan deneme karışımları sonucunda, çalışmada numune serilerinin çimento dozajı 450 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Karışımlar hazırlanırken,

sabit slump değerinde çalışılmış ve TS EN 206-1'e göre çökme sınıfı S3 olarak belirlenmiştir.

Fibersiz seriler hazırlanırken iri ve ince agrega, çimento ve seriye göre silis dumanı kuru halde karıştırıldıktan sonra su ve akışkanlaştırıcı (eğer seride varsa) ilave edilmiş, yaklaşık 5 dk. daha karıştırılarak kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmiştir.

Fiberli serilere işlenebilmeyi kolaylaştırmak için akışkanlaştırıcı ilave edilmiş ve tüm serilerin beton karışımları hazırlanarak, basınç dayanımının tespiti için 100×100×100 mm boyutunda küp, eğilmede çekme dayanımının tespiti için ise 75×75×300 mm boyutunda prizma kalıplara hazırlanan bu karışımlar yerleştirilmiştir.

Mekanik Özelliklerin Belirlenmesinde Uygulanan Deney Teknikleri

İlk olarak, 28 günlük kürünü tamamlayan küp numunelerin ultrases geçiş (USG) hızları, (1) nolu bağıntı ile belirlenmiştir (Erdoğan, 2003). Hesaplanan ultrases geçiş hızı ile betonun basınç ve çekme dayanımları arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmiştir.

$$V = (h / t) * 10^6 \quad (1)$$

Formülde, V, ultrases geçiş hızı, (m/sn); h, numunenin dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi

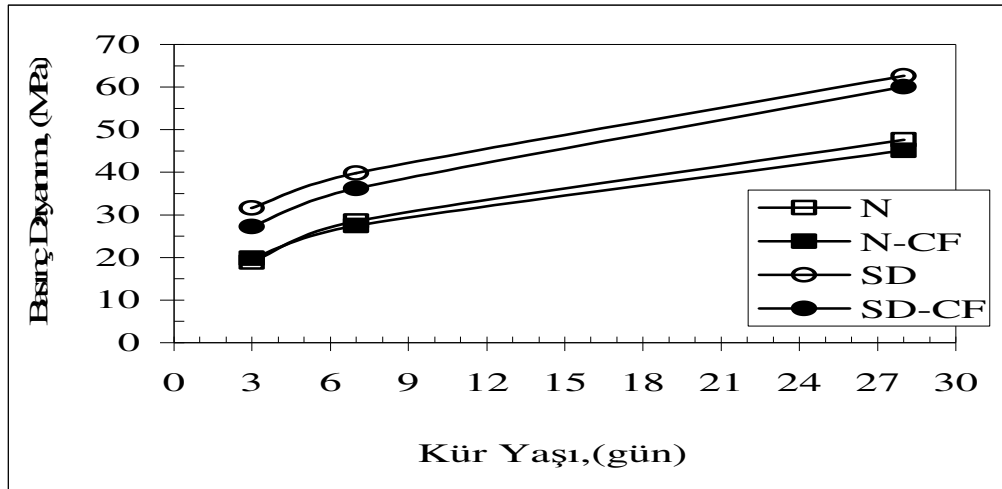
arasındaki mesafe, (m); t ise dalganın gönderildiği yüzeyden alındığı yüzeye kadar geçen zaman, (µsn) dır.

USG hızlarının belirlenmesinde kullanılan küp numuneler, Autotest 3000 hidrolik yük kontrollü Beton Basınç Dayanım Presinde, TS EN 12390-3'e göre, 3 kN/sn yükleme hızı uygulanarak kırılmış ve basınç dayanımları kaydedilmiştir.

Son olarak, 28 günlük kürünü tamamlayan prizma numuneler, TS EN 12390-5 standardına göre orta noktasından yüklenerek, eğilmede çekme dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuş ve tüm serilerin eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. Yükleme yine Autotest 3000 hidrolik yük kontrollü pres ile, yükleme hızı 0,2 kN/sn alınarak fakat bu kez cihazın eğilme aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Hazırlanan 4 serinin kür yaşına bağlı olarak değişen basınç dayanımı değerleri Şekil-2'de verilmektedir. Şekil-2 incelendiğinde, karbon fiberin her kür yaşında da basınç dayanımını azaltıcı etki yaptığı görülmektedir. Bu sonuç, literatürde karbon fiberin hem harç hem de normal agregalı beton numunelerin basınç dayanımına etkisi ile ilgili elde edilmiş sonuçlarla uyumludur ve basınç dayanımında gözlenen bu düşme, fiberlerin harç ve beton içerisinde hava boşluğu miktarını arttırmasından kaynaklanmaktadır (Chen ve Chung, 1993b).



Şekil 2. Kür Yaşına Bağlı Basınç Dayanımı Değişimi

28 günlük numunelerin etüv kuru yoğunlukları bulunmuş ve hazırlanan tüm serilerin TS EN 206-1'e göre taşıyıcı hafif beton sınıfına girdiği belirlenmiştir (Tablo 6).

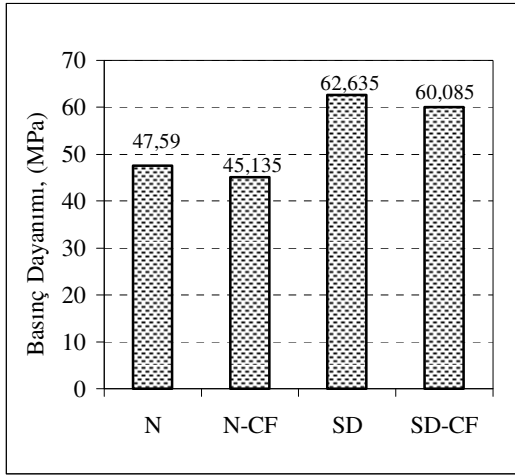
Tablo 6. Numunelerin Yoğunlukları

Beton Serisi	N	SD	N-CF	SD-CF
28 Günlük Etüv Kuru Yoğ. (gr/cm ³)	1,947	1,964	1,933	1,955

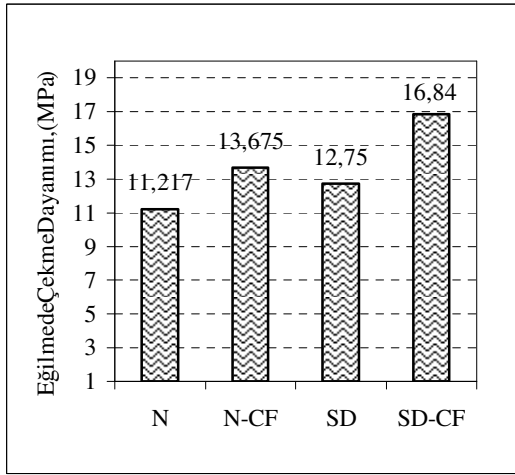
Tablo 6 incelendiğinde, fiberin her seride yoğunluğu düşürdüğü görülmektedir. Literatürde fiberin numunelerde ağırlık kaybı meydana getirdiği belirtilmekle beraber, silis dumanı katkılı serilerde ise ağırlık kaybının en az olduğu özellikle vurgulanmıştır (Chung ve Fu, 1997; Cao ve Chung, 2005). Bu durumda bulunan sonuçlar literatür sonuçları ile uyumludur. Kullanılan silis dumanının, basınç dayanımında meydana gelen bu düşüşü azalttığı grafikten açıkça görülmektedir. Silis dumanının karbon fiber takviyeli

betonda dayanımı arttırıcı etki yapmasının, hem fiberlerin çökmesine yardımcı olmasından hem de çok ince taneli olması sebebiyle fiber kullanımıyla oluşan hava boşluklarını doldurmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Wen ve Chung, 2001; Chen ve Chung, 1993b).

Numunelere ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri, Şekil 3'te ayrı olarak verilerek, dayanımdaki düşüş % olarak belirlenmiştir. Fiber takviyesi, katkısız serinin (N) basınç dayanımını % 5.153, silis dumanı katkılı serininkini (SD) ise % 4.071 oranında azaltmıştır. Buna göre fiber takviyesi, SD kodlu serinin basınç dayanımını N kodlu serininkinden daha az düşürmüştür. Fiberin basınç dayanımına yapacağı olumsuz etki silis dumanı ilavesiyle azaltılmıştır.



Şekil 3. Serilerin Basınç Dayanımı (28 Gün)



Şekil 4. Serilerin Eğilmede Çekme Dayanımı (28 Gün)

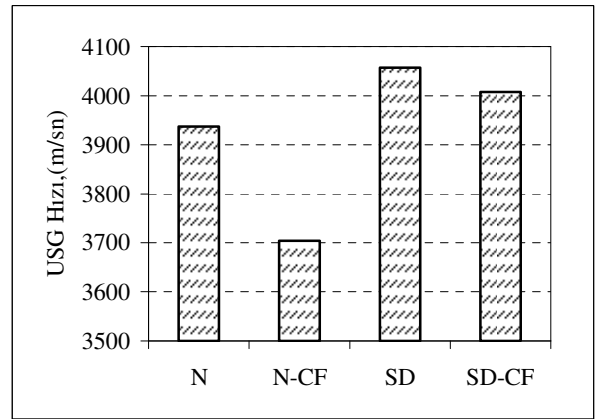
4 tip hafif beton serisine ait 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri ise Şekil 4'te verilmektedir. Matrisin içeriği ne olursa olsun, karbon fiber ilavesinin her durumda da eğilmede çekme dayanımını arttırdığı Şekil 4'te açıkça görülmektedir. Literatürde karbon fiberin beton ve harç numunelerinde eğilme dayanımını arttırdığı özellikle vurgulanmaktadır (Chen ve Chung, 1993b; Soroushian vd.,

1992). Dayanımdaki bu artış % olarak ifade edilirse, fiber ilavesiyle N kodlu serinin eğilmede çekme dayanımı % 21.91 oranında artarken; SD kodlu serinin eğilmede çekme dayanımındaki artış ise % 32.07'dir. Buna göre fiber takviyesi silis dumanı katkılı serinin eğilmede çekme dayanımına daha çok etki etmiştir.

Serilerin hazırlanması sırasında dozaın yüksek seçilmesi, agrega granülometrisinin standart eğrisine tam uyması, çökme sınıfının standarda uygun alınması gibi bazı muhtemel nedenlerden dolayı hem basınç hem de eğilmede çekme dayanımı değerleri taşıyıcı hafif beton sınırları içerisinde fakat yüksek kabul edilecek düzeyde çıkmıştır.

Silis dumanı açısından incelendiğinde; bu mineral katkının basınç dayanımına yaptığı katkı ile eğilmede çekme dayanımına yaptığı katkının farklı olduğu görülmektedir. Şöyle ki; fibersiz serilerde (N ve SD kodlu seriler) basınç dayanımını %31.61 oranında arttırırken (Şekil 3); eğilmede çekme dayanımını %13.66 arttırmıştır (Şekil 4). Bu durum literatürle uyum göstermektedir. Çünkü (Şimşek vd. 2004)'e göre, silis dumanının eğilme dayanımı artış oranına etkisi, basınç dayanımına göre daha düşüktür. Karbon fiber takviyesinin bu yargıyı değiştirmedığı yapılan bu çalışma ile görülmüştür. Şöyle ki; fiberli serilerde (N-CF ve SD-CF kodlu seriler) silis dumanı basınç dayanımını % 31,12 arttırırken (Şekil 3), eğilmede çekme dayanımını %23,14 arttırmıştır (Şekil 4). Silis dumanı ilavesiyle eğilmede çekme dayanımında meydana gelen yüzde artış, basınç dayanımında meydana gelen yüzde artıştan azdır. Bu yargının fiberli seriler için de geçerli olduğu bu çalışmada görülmektedir.

Yapılan USG hızı ölçümleri sonucu hafif beton serileri için dalga geçiş hızları Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil 5. Tüm Serilere ait USG hızları

Dalga numune içerisinde ne kadar az boşluğa rastlarsa, o kadar kısa sürede ilerler, böylece o numunenin USG hızı da yüksek olur. Karbon fiber, numune içerisinde meydana getirdiği hava boşluğu yüzünden basınç dayanımı düşmesine paralel olarak USG hızını da düşürmüştür. Bu durum Şekil 5'te açıkça görülmektedir. SD serisine ait USG

hızı N serisinininkinden, SD-CF serisine ait USG hızı da N-CF serisinininkinden daha yüksektir. Bu da fiber olsun ya da olmasın silis dumanının boşlukları doldurarak USG hızını arttırdığını göstermektedir.

Sonuç

Hafif agregalı kullanılarak üretilen karbon fiber takviyeli hafif beton serileri üzerinde yapılan mekanik incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Hafif betona karbon fiber ilavesi, mineral katkı kullanılsın ya da kullanılsın basınç dayanımını her kür yaşında da azaltmıştır. Bu azaltıcı etki fiberin harç içerisindeki hava boşluğu miktarını arttırmasından kaynaklanmıştır.
- Karbon fiber, hep tip karışımında da hafif betonda eğilmede çekme dayanımını arttırmaktadır.
- Silis dumanı, hafif agregalı betonlarda da, eğilmede çekme dayanımı ile basınç dayanımının artış oranlarını farklı etkilemiştir. Silis dumanı kullanılan serilerde, karbon fiberli olsun ya da olmasın basınç dayanımı artış oranının, eğilmede çekme dayanımı artış oranından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Karbon fiberin harç içerisinde oluşturduğu hava boşluğu yüzünden basınç dayanımına paralel olarak fiberli serilerin USG hızları da düşmüştür. Silis dumanının boşluk doldurucu etkisi yüzünden ise, silis dumanı katkılı seriler(SD ve SD-CF), silis dumanı katkısız serilerden (N ve N-CF) daha yüksek USG hızına sahiptir.

Kaynaklar

- Aruntaş, H.Y. 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 21, 193-203.
- Cao, J., Chung, D.D.L. 2001. Carbon Fiber Reinforced Cement Mortar Improved by Using Acrylic Dispersion as an Admixture. Cement and Concrete Research, 31, 1633-1637.
- Cao, J., Chung, D.D.L. 2005. Role of Moisture in the Seebeck Effect in Cement-Based Materials. Cem. Concr. Res., 35, 810-812.
- Chen, P., Chung, D.D.L. 1993a. Carbon Fiber Reinforced Concrete as an Electrical Contact Material for Smart Structures. Smart Mater. Struct., 2,181-188.
- Chen, P., Chung, D.D.L. 1993b. Concrete Reinforced with up to 0.2 vol % of Short Carbon Fibres. Composites, 24, 33-52.
- Chung, D.D.L., Fu, X. 1997. Effects of Silica Fume, Latex, Methylcellulose and Carbon Fibers on the Thermal

Conductivity and Specific Heat of Cement Paste. Cem. Concr. Res. 27, 1799-1804.

Chung, D.D.L. 2005. Dispersion of Short Fibers in Cement, Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE July/August 2005, 379-383.

Erdoğan, T.Y. 2003. Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 741s.

Kayali O., Haque M. N., Zhu B. 2003. Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete. Cement and Concrete Composites, 25, 207-213.

Sancak E., Şimşek, O. 2006. Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 21, 443-450.

Soroushian, P., Nagi, M., Hsu, J. 1992. Optimization of the Use of Lightweight Aggregates in Carbon fiber Reinforced Concrete. ACI Materials Journal, 89, 267-276.

Şimşek O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş., Ankara.

Şimşek, O., Dur, A., Yaprak, H. 2004. Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Harçların Özellikleri. Politeknik Dergisi, 7, 69-178.

Şimşek O., Erdal, M., Sancak, E. 2005. Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20, 211-215.

Topçu, İ.B. 1997. Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags. Cement and Concrete Research, 27, 15-21.

Topçu İ. B., Canbaz, M. 2001. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri. Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., 14, 11-24.

Topçu İ. B., Canbaz M. 2006. Effect of Different Fibers on the Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash. Construction and Building Materials, in press.

TS 2511 1977. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13s.

TS EN 197-1 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 25s.

TS EN 206-1 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 68s.

- TS EN 12390-3 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12s.
- TS EN 12390-5 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5s.
- Yang, X., Chung, D.D.L. 1992. Latex-Modified Cement Mortar Reinforced by Short Carbon Fibres. *Composites*, 23, 453-460.
- Yaprak, H., Şimşek, O., Aruntaş, H.Y. 2004a. Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Beton Özelliklerine Etkisi. Beton 2004 Kongresi (10-13 Haziran 2004), İstanbul, 707-715.
- Yaprak, H., Şimşek O., Öneş A. 2004b. Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 7, 353-358.
- Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç A., Gülşen, H. 2003. Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash. *Materials Letters*, 57, 2267-2270.
- Yeğınobalı, A. 1997. Hafif Beton ve Yüksek Dayanımlı Hafif Beton, Çimento ve Beton Dünyası, 2, 20-30.
- Wen, S., Chung, D.D.L. 2001. Electric Polarization in Carbon Fiber-Reinforced Cement. *Cement and Concrete Research*, 31, 141-147.