

## UÇUCU KÜLÜN KARBON FİBER TAKVİYELİ HAFİF BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Bahar DEMİREL<sup>1</sup> Salih YAZICIOĞLU

Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü 23119 ELAZIĞ

### Özet

Bu çalışmada, mineral katkı olarak kullanılan uçucu külün karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, uçucu kül, CEM I 42,5 portland çimento, Elazığ yöresi bazik karakterli pomza agregası ve karbon fiber kullanılarak; fiberli ve fibersiz, uçucu küllü ve uçucu külsüz olmak üzere 4 farklı seri hafif beton hazırlanmıştır. Gereken serilere, çimento ağırlığının %15'u kadar uçucu kül; yine çimento ağırlığının % 0,5'i kadar da karbon fiber ilave edilmiştir. Uçucu kül ve karbon fiberin kür yaşına bağlı olarak basınç dayanımına yaptığı etkiyi belirleyebilmek için serilerin 3, 7, 28 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. İlk olarak küp numunelere tahribatsız deney yöntemi olan ultrases geçiş hızı deneyi yapılmıştır. Numunelerin poroziteleri, sorptivite katsayıları, dinamik elastisite modülleri ve birim ağırlıkları belirlendikten sonra basınç dayanımları kaydedildi. Prizma numunelere ise eğilmede çekme deneyi yapılmış ve bulunan tüm sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karbon fiber ilavesi, mineral katkısız serilerde 28 günlük eğilmede çekme dayanımını % 21.91, uçucu kül katkılı serilerde de % 18.38 arttırmıştır. 365 gün kür edilmiş serilerin, 28 gün kür edilmiş serilere göre basınç dayanımı artış oranı mineral katkısız serilerde %20.86, uçucu kül katkılı serilerde ise %32.25'dir. Burada uçucu kül katkılı serinin artış oranının yüksek olmasının uçucu külün ileri kür yaşlarında puzolanik aktivitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, karbon fiber, hafif beton, pomza agregası.

---

<sup>1</sup> Fax:+90 424 2367064, E-mail Address: bdemirel@firat.edu.tr

## THE EFFECT OF THE FLY ASH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE CARBON FIBER REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE

### Abstract

This study has investigated the effect of fly ash used as mineral admixture on the mechanical properties of the carbon fiber reinforced lightweight concrete. For this aim, lightweight concrete samples were produced by using fly ash, CEM I 42.5 portland cement, pumice aggregate from Elazig region with basic character and carbon fiber. Four series of samples were prepared for this study: normal lightweight concrete (without fly ash), normal lightweight concrete with fiber (without fly ash), lightweight concrete with fly ash (without fiber), lightweight concrete with fly ash and fiber. Fly ash was added by 15 % of cement in weight. Carbon fiber was added to the mixture 0.5% by weight of the cement. To determine the effects of the fly ash and carbon fiber on the compressive strength with respect to the cure age, compressive strengths of the samples were recorded at the 3, 7, 28 and 365-day cure ages. First, non-destructive testing (NDT) was carried out using ultrasonic pulse velocity (UPV) to the cube samples. Then, the values of porosity, sorptivity coefficient, dynamic elasticity ( $E_{din}$ ) modulus and unit weights of the series were also determined. Tensile strength test was applied to the prism samples. Then all of the data were compared to each other. The addition of carbon fiber has increased the tensile strength at the 28 day cure age 21.91% in the series without mineral admixtures, 18.38 % in the series with fly ash. The increase in compressive strength of the series cured for 365 days is 20.86 % and 32.25 % higher than those of the series without additive and with fly ash cured for 28 days. The reason for higher compressive strength of the series with fly ash is the increase in pozzolanic activity of fly ash in increased cure ages.

**Keywords:** Fly ash, carbon fiber, lightweight concrete, pumice aggregate.

## **1. Giriş**

Gelişen teknoloji ile birlikte, betonun dayanıklılığını arttırmak amacıyla bilimsel ve teknik çalışmalar devam etmektedir. Enerji harcanmaksızın elde edilebilen mineral katkıları kullanmak, portland çimentolu betonda üretim enerjisini azaltarak maliyeti düşürmektedir. Bu da inşaat sektöründe mineral katkı kullanımını yaygın hale getirmektedir [1]. Üretim enerjisinde tasarruf sağlayan, uçucu kül, silis dumanı, mermer tozu, pomza tozu ve yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların belirli oranda çimento ile yer değiştirilerek kullanılması her geçen gün daha çok araştırılan bir konu olmaktadır. Çünkü bu mineral katkıların kullanımı; ince taneli olmaları ve puzolanik reaksiyona girmeleri dolayısıyla betonun mekanik özelliklerini geliştirmekle birlikte, daha yeşil ve temiz bir doğa elde etmeyi mümkün kılan büyük bir adımdır [2,3].

Uçucu külün çimento ile birlikte inşaat sektöründe en çok kullanıldığı alan, beton üretimidir. Uçucu kül, hem normal ve hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı, gerekse ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Uçucu küllerin özellikleri genel itibarıyla kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Genelde silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı malzemesi olarak yararlı olur. İnce ve küresel tanecikleri dolayısıyla taze betonda işlenebilirliği artırır [4].

Betonda fiber kullanımı da günümüzde yaygın hale gelmiştir. Genellikle bu fiberler; çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslıdır. Fiberin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, duktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir [5]. Kullanılan fiberin cinsi, miktarı ve boyutu betonun mekanik

özelliklerini farklı şekilde etkilemektedir [6,7]. Yine katılan fiberin cinsi ne olursa olsun, matris içerisindeki homojen dağılımı, betonun mekanik özellikleri üzerinde yapacağı katkıyı doğrudan etkilemektedir [8,9].

Literatürde fiber ile mineral katkıların birlikte kullanıldığı çeşitli çalışmalar mevcuttur. Şimşek vd. yapmış oldukları bir çalışmada, çelik fiberin betonun eğilme dayanımını arttırdığını, silis dumanının ise çelik fiberli betonda aderansı artırıcı etki yaptığı belirlemişlerdir [7]. Yine yapılan başka bir çalışmada, Demirel ve Yazıcıoğlu, karbon fiber takviyeli hafif betona silis dumanı ilavesinin etkisini araştırmışlar ve silis dumanının fiberin homojen dağılımına yardımcı olarak dayanım artırıcı etki yaptığını vurgulamışlardır [10].

Hafif agregalı taşıyıcı hafif betonlarla üretilen yapılarda ölü yükün azalmasına bağlı olarak taşıyıcı kesitlerde küçülme ve beraberinde yapı kullanım hacminin genişlemesi ve donatı ekonomisi sağlanması, ayrıca depremlerde can ve mal kaybının az olması gibi başlıca nedenlerden dolayı bu çalışmada kompozitin matrisinde hafif agreganın kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak ise 5 mm genişliğinde kısa karbon fiber tercih edilmiştir. Mineral katkı olarak kullanılan uçucu külün karbon fiber takviyeli hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine yaptığı etki incelenmiştir.

## 2. Materyal Metot

Bu çalışmada kullanılan hafif agreganın, Elazığ Meryem Dağından temin edilen bazik karakterli pomza agregasıdır. Agreganın granülometrisi,  $d_{max}= 8$  mm olacak şekilde düzenlenmiştir. Kullanılan hafif agreganın fiziksel ve granülometrik özellikler Tablo-1'de verilmektedir.

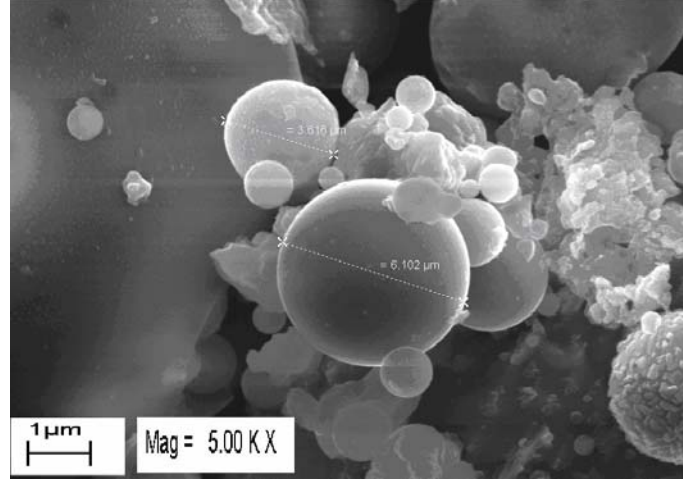
**Tablo 1.** Kullanılan Hafif Agreganın Özellikleri

Elek göz Açıklığı, (mm)	8	4	2	1	0.50	0.25
Kümülatif Geçen , (%)	100	74	57	42	26	11
	0-4mm			4-8mm		
Gevşek Birim Ağırlığı( $gr/cm^3$ )	1.028			0.912		
Etüv Kuru Tane Yoğunluğu( $gr/cm^3$ )	1.690			1.880		

Numunelerin ana matrisi; su, çimento ve hafif agregadan oluşmaktadır. Karışım suyu olarak Elazığ şehir şebeke suyu ve ana bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standardına uygun CEM I 42,5 N Portland çimento kullanılmıştır [11]. Mineral katkı olarak; düşük kalorili linyit kömürlerinin yakıldığı termik santrallerde, elektrik üretimi sırasında toz haldeki kömürün yanması sonucu baca gazları ile sürüklenen ve mikron boyutunda bir malzeme olan uçucu kül kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, karbon fiber takviyeli hafif betonun uçucu kül kullanımıyla mekanik özelliklerinde meydana gelecek değişimleri gözlemek amacıyla, Manisa ili Soma ilçesinde bulunan Soma Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül, portland çimentosu ile %15 oranında yer değiştirerek kullanılmıştır. Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça %15 civarında uçucu kül kullanılması durumunda normal betonlara eşdeğer dayanım özellikleri sağlanmaktadır. Daha yüksek oranda uçucu kül kullanılması durumunda beton dayanımında azalma oluşmaktadır. Bunun nedeni uçucu külde bulunan  $SiO_2$  (S),  $Al_2O_3$  (A), ve  $Fe_2O_3$  (F) bileşiklerinin toplam yüzdesi olarak ifade edilen (S+F+A) toplam miktarının yeterli olmasından kaynaklanmaktadır. Belirtilen oranlarda uçucu kül kullanarak üretilecek betonda önemli ölçüde ekonominin sağlanması mümkündür [12].

Şekil-1'de kullanılan uçucu külün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı görülmektedir. Şekilde, tane boyutu 1-150  $\mu m$  arasında değişim gösteren uçucu külün

[13], homojen olmayan tane boyutları açıkça görülmektedir. Kullanılan çimento ve uçucu küle ait bilgiler Tablo-2’de verilmektedir.



Şekil 1. Soma Uçucu Külünün Mikroyapısı

Tablo 2. Çimento ve Uçucu külün Fiziksel ve Kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	CEM I 42,5 N	Uçucu Kül
SiO <sub>2</sub> (S)	21.12	42.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (A)	5.62	20.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (F)	3.24	4.57
CaO	62.94	23.45
MgO	2.73	1.74
SO <sub>3</sub>	2.30	1.47
Na <sub>2</sub> O	-	0.32
K <sub>2</sub> O	-	1.31
S+A+F	29.98	68.21
<b>Fiziksel Özellikler</b>		
Kızdırma Kaybı	1.78	2.75
Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )	3.10	2.50

Çimento ağırlığının % 0.5’i oranında ve 5 mm genişliğinde kullanılan karbon fiberin özellikleri ise Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan Karbon Fiberin Özellikleri

Filament Çapı	Çekme Dayanımı	Elastisite Modülü	Kopmada Uzama	Elektrik Direnci	Yoğunluk
15±3µm	3.43 GPa	230GPa	%1.5	1.6x10 <sup>-5</sup> Ωm	1.82 gr/cm <sup>3</sup>

Kompozit içerisindeki fiberin çökmesi ne kadar iyi olursa, ana matrisin homojenliği de o nispette iyi olmaktadır [14]. Bundan dolayı, maliyet açısından uygunluğu göz önünde bulundurularak [15], fiberin harç içerisinde homojen dağılarak yüzeyde birikmemesini 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. Karbon fiber ilave edilen numunelerde daha fazla su ihtiyacı ortaya çıkmakta, başka bir deyişle, çökme (slump) değeri düşmektedir [16]. Karışıma su ilave etmeden işlenebilmeyi kolaylaştırmak için tüm fiberli serilere YKS MR 25 (Lingin Sülfonat esaslı) akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Fiberli serilerde kullanılan kimyasal maddelerin ve kullanılan akışkanlaştırıcının miktarları, Tablo 4’te verilmektedir.

**Tablo 4.** Kullanılan Kimyasal Katkılar

Kullanılan Kimyasallar	Miktar
Çökteltici –Metilselüloz (Çim. ağı.%)	0.4
Köpük Önleyici (Hacimce%) (1m <sup>3</sup> beton için)	0.13
Akışkanlaştırıcı(Çim. ağı.%)	0.8

4 farklı hafif beton serisi Tablo 5’te verilen karışım miktarlarına göre hazırlanmıştır. Seriler, içerisindeki malzeme ile uyumlu olarak isimlendirilmişlerdir. Çimento ve hafif agregadan oluşan seri (N), ağırlıkça %15 oranında uçucu kül içeren seri (UK) olarak kodlanmıştır. Yine su, çimento, hafif agrega ve karbon fiber içeren seri (N-CF) ve son olarak su, çimento, hafif agrega, karbon fiber ve ağırlıkça %15 oranında uçucu külden meydana gelen seri ise (UK-CF) şeklinde kodlanmıştır. Dozajı 450 kg/m<sup>3</sup> olan karışımlar hazırlanırken, sabit slump değerinde çalışılmış ve TS EN 206-1’e göre çökme sınıfı S3 olarak belirlenmiştir [ 17].

**Tablo 5.** 1m<sup>3</sup> beton için yaklaşık karışım miktarları, (kg)

Seriler	Su	Çimento	Uçucu Kül	İnce Agrega (0-4mm)	İri Agrega (4-8mm)
N	310	450	-	710	225
UK	295	382.5	67.5	705	219
N-CF	310	450	-	710	225
UK-CF	295	382.5	67.5	705	219

Fibersiz seriler hazırlanırken iri ve ince agrega, çimento ve seriye göre çimento ağırlığının % 15'i kadar uçucu kül, kuru halde karıştırıldıktan sonra su ilave edilerek yaklaşık 5 dk. daha karıştırılmış ve kalıplara dökülmeye hazır hale getirilmiştir. Fiberli serilere işlenebilmeyi kolaylaştırmak için akışkanlaştırıcı ilave edilmiş ve tüm serilerin beton karışımları hazırlanarak kalıplara yerleştirilmiştir. Her serinin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, 28 günlük birim ağırlık, porozite ve UPV değerlerini tespit etmek için 100×100×100 mm boyutunda 80 adet küp, 28 günlük eğilmede çekme dayanımının tespiti için ise 75×75×300 mm boyutunda 20 adet prizma numune hazırlanmıştır.

Belirtilen kür sürelerini tamamlayan küp numuneler Autotest 3000 hidrolik yük kontrollü Beton Basınç Dayanım Presinde, TS EN 12390-3'e göre, 3 kN/sn yükleme hızı ile kırılarak basınç dayanımları kaydedildi [18]. 28 günlük kürünü tamamlayan küp numunelerin birim ağırlık, porozite ve UPV ve dinamik elastisite modülü değerleri belirlendikten sonra basınç dayanımları tespit edildi.

28 günlük kürünü tamamlayan prizma numuneler, TS EN 12390-5 standardına göre orta noktasından yüklenerek, eğilmede çekme dayanımı deneyine tabi tutuldu. Böylece tüm serilerin eğilmede çekme dayanımları belirlendi [19]. Yükleme yine Autotest 3000 hidrolik yük kontrollü pres ile, yükleme hızı 0.2 kN/sn alınarak fakat bu kez cihazın eğilme aparatı kullanılarak gerçekleştirildi.



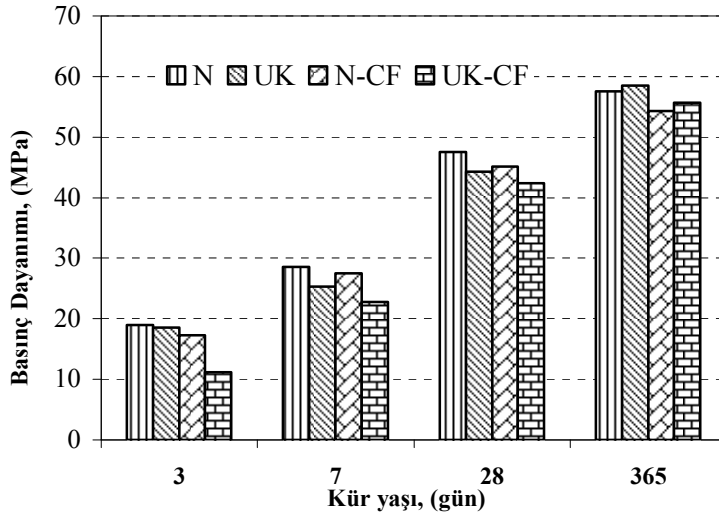
### 3. Sonuçlar

28 günlük numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları Tablo 6'da verilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, fiber kullanılsın ya da kullanılmıyın, uçucu kül kullanımı hafif betonun birim ağırlığını düşürmüştür. Bunun nedeni, uçucu külün birim ağırlığının çimentodan düşük olmasından kaynaklanmaktadır [20]. Yine fiber kullanımı hem mineral katkısız hem de uçucu kül katkılı seride ağırlık kaybı meydana getirmiştir. Bu durum ise fiberin matris içinde hava boşluğu oluşturmasından ileri gelmektedir [21].

**Tablo 6.** 28 günlük küp numunelere ait veriler

	Beton Serisi			
	N	UK	N-CF	UK-CF
Birim ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	1.947	1.931	1.933	1.917
Porozite (%)	14.42	15.37	17.93	18.13
Sorptivite (cm/s <sup>1/2</sup> )	1.243	1.316	1.395	1.409
Ultrases geçiş hızı (km/s)	3.937	3.826	3.728	3.682
Dinamik Elastisite Modülü (E <sub>din</sub> ), (GPa)	27.16	25.43	24.17	23.39

Serilerin 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, Chen ve Chung [21]'un, karbon fiberin hem harç hem de normal agregalı beton numunelerin basınç dayanımları ile ilgili olarak elde ettikleri sonuçlarla uyumludur. Basınç dayanımında gözlenen bu düşme, fiberlerin beton içerisinde hava boşluğu miktarını arttırmasından kaynaklanmaktadır.



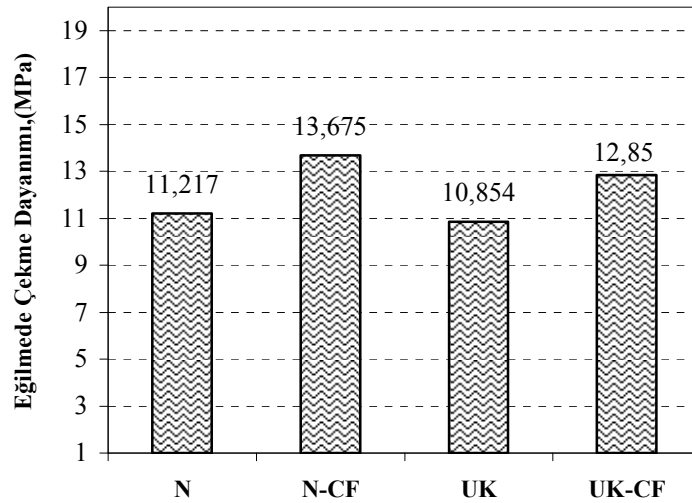
Şekil 2. Kür Yaşına Bağlı Değişen Dayanım

Uçucu kül katkılı serilerin dayanımlarına bakıldığında, erken yaşlarda, azda olsa bir düşme olduğu görülmektedir. Bu durumun, çimento miktarındaki azalmaya ilaveten puzolanik reaksiyonların henüz başlamamış olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Uçucu kül hem puzolanik özelliğe sahiptir, hem de çimento kadar olmasa da bağlayıcılık özelliği vardır. Bu nedenle, matristen çimento azaltılıp yerine ağırlıkça %15 uçucu kül eklenmesi durumunda, ilk kür yaşlarında çimento kadar mükemmel bağlayıcılık performansı gösterememesi nedeniyle dayanım düşmüştür. Fakat özellikle 28 günden sonra, uçucu kül ikameli betonların basınç dayanımlarının uçucu kül ihtiva etmeyenlerden daha yüksek çıktığı Şekil 2’de açıkça görülmektedir. Bu durum uçucu külün, puzolanik aktivitesini ileri kür yaşlarında göstermesinden kaynaklanmaktadır. Puzolanlar, betonda klinkerin hidrasyonundan oluşan  $Ca(OH)_2$  ile tepkime verirler. Betona karışım suyu ilavesinden itibaren bir süre ortamda  $Ca(OH)_2$  birikene kadar portland çimentosunu seyreltici bir etki yaparlar. Fakat zamanla ortamda  $Ca(OH)_2$  birikmesi puzolanların da sistemin dayanımını arttıran etkilerinin ortaya çıkmasını

sağlar. Bu sebeple, Portland çimentosu-puzolan karışımı içeren betonlar aynı incelikteki Portland çimentosu içeren betonlara göre daha uzun süreli küre ihtiyaç duyarlar [22,23].

Şekil 2'ye göre 28 günden sonra en yüksek basınç dayanımlarını UK serisi vermiştir. N ve N-CF serileri ise birbirine yakın dayanım sonuçları vermiştir. 365 gün kür edilmiş N ve UK serilerinin basınç dayanımı artış oranı 28 gün kür edilmiş serilere göre sırasıyla %20.86 ve %32.25'dir. UK serisinin artış oranının yüksek olmasının sebebi, uçucu külün ileri kür yaşlarında puzolanik aktivitesinin artmasıdır [24].

Hazırlanan 4 tip hafif beton serisine ait 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri Şekil 3'de mukayeseli olarak verilmektedir.

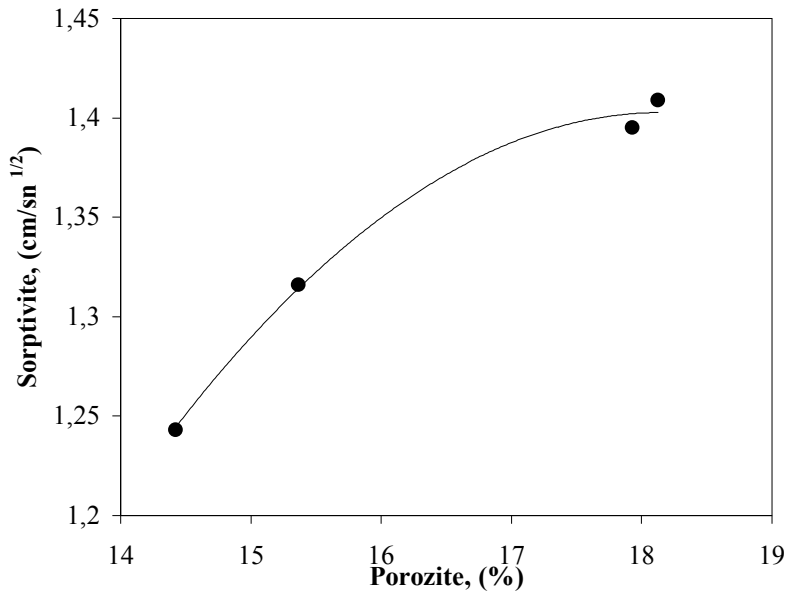


Şekil 3 Tüm Serilere Ait 28 Günlük Eğilmede Çekme Dayanımları

Karbon fiber takviyesi matristeki mineral katkıdan bağımsız olarak eğilme dayanımını arttırmaktadır. Fiber takviyesi, katkısız serinin (N) eğilmede çekme dayanımını % 21.91, uçucu küllü serinin (UK) eğilmede çekme dayanımını % 18.38 arttırmaktadır. Literatürde karbon fiberin beton ve harç numunelerinde donatı vazifesi görerek eğilme dayanımını arttırdığı özellikle vurgulanmaktadır [15,21,25].

Basınç dayanımında olduğu gibi, hem fiberli hem de fibersiz seride, uçucu küllü hafif betonun dayanımı, mineral katkısız seriden biraz düşük çıkmıştır. Çünkü uçucu kül 28 gün gibi erken kür yaşları yerine, ileri kür yaşlarında dayanıma daha fazla katkıda bulunmaktadır [26].

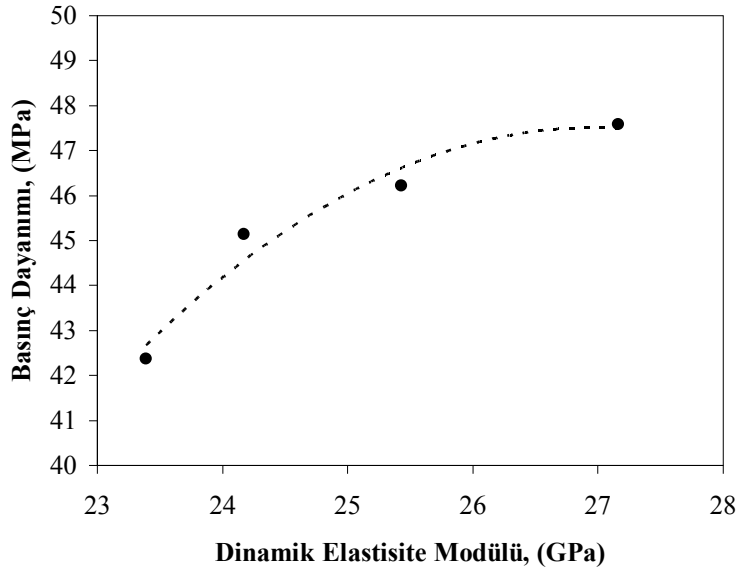
Sorptivite katsayısı ile porozite arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 4'te iki değer arasında mükemmel bir korelasyonun mevcut olduğu açıkça görülmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda bu deney çıktılarına uygun eğri çizilmiş ve bu eğrinin denklemi  $y = -0,0114x^2 + 0,4126x - 2,3428$  olarak bulunmuştur. Çizilen bu eğriye ait regresyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.9947 olarak belirlenmiştir. Bilindiği üzere,  $R^2$  değeri 1'e ne kadar yakın ise, her iki değer arasındaki ilişki de o nispette iyidir.



Şekil 4 Porozite-Sorptivite Arasındaki İlişki

Basınç dayanımı ile Elastisite modülü arasındaki ilişki ise Şekil 5'te görülmektedir. Yapılan regresyon analizi sonucunda bu deney çıktılarına uygun eğri çizilerek bu eğriye ait regresyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.959 olarak belirlenmiştir. Eğrinin

denklemini ise  $y = -0,3778x^2 + 20,379x - 227,32$  şeklindedir.  $R^2$  değerinin 1'e çok yakın olmasından dolayı, verilen bu denklem kullanılarak, bilinen dinamik elastisite değerinden tahribatsız olarak basınç dayanımı belirlenebilir.



Şekil 5 Basınç Dayanımı- Dinamik Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Karbon fiber takviyeli hafif betonlara uçucu kül ikamesinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Karbon fiber kullanılsın ya da kullanılsın uçucu kül ikamesi, uçucu külün birim ağırlığının çimentodan düşük olmasından ötürü, beton birim ağırlığını düşürmüştür.
- Hafif betona karbon fiber ilave edilmesi, mineral katkı kullanılsın ya da kullanılsın, basınç dayanımını azaltmıştır. Bu azaltıcı etki fiberin harç içindeki hava boşluğu miktarını arttırmasından kaynaklanmıştır.

- Yine hafif betona karbon fiber ilave edilmesi çekme dayanımını arttırıcı bir etki yapmıştır. Bu durum, çimento pastası içerisinde homojen dağılan fiberlerin bir nevi donatı vazifesi görerek, betonun çekme kabiliyetini arttırmıştır.
- Uçucu kül ikamesi, erken kür yaşlarında, basınç dayanımında bir miktar düşme meydana getirmiştir. Bunun sebebi, çimento miktarındaki azalmaya ilaveten puzolanik reaksiyonların henüz başlamamış olması olarak açıklanabilir.
- Betona hem uçucu kül hem de fiber ilavesi, ister ayrı ister bir arada ilave edilsin, poroziteyi arttırmıştır. Bunun doğal sonucu olarak da, ultrases hızı da azalmıştır.
- Serilerin ultrases geçiş hızlarından elde edilen dinamik elastisite modülleri ile basınç dayanımları arasında regresyon analizi yapılarak, iki değer arasında iyi bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, yapılan analiz sonucunda elde edilen eğri denklemi kullanılarak, betonlar tahrip edilmeden, sadece dinamik elastisite modülünün bulunması ile basınç dayanımları hesaplanabilir.

### Kaynaklar

1. Subaşı S. Portland kompoze çimentolu betonlarda uçucu kül ikamesinin donma-çözülme dayanıklılığına olan etkisi, E- Journal of New World Sciences Academy, 2009; 4 (1): 67-76.
2. Aruntaş H.Y. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2006;21 (1): 193-203.
3. Yaprak H., Şimşek O., Aruntaş H.Y. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun süper akışkanlaştırıcı katkılı beton özelliklerine etkisi, Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran 2004, İstanbul: 707-715.

4. Demir İ., Durgun M. Y., Kurt D. İki farklı puzolanik katkının sertleşmiş beton özelliklerine etkisinin karşılaştırılması, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
5. Şimşek O. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş., Ankara. 2004.
6. Topçu İ. B., Canbaz M. Effect of Different Fibers on the Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash, Construction and Building Materials, 2007; 21(7): 1486-1491.
7. Şimşek O., Erdal M., Sancak E. Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2005; 20 (2): 211-215.
8. Yaprak H., Şimşek O., Öneş A. Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 2004; 7 (4): 353-358.
9. Chung, D.D.L. Dispersion of Short Fibers in Cement, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE July/August 2005; 379-383.
10. Demirel B., Yazıcıoğlu S. Silis dumanının karbon fiber takviyeli hafif betonun mekanik özelliklerine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2007; 11 (1): 103-109.
11. TS EN 197-1 Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2002; Ankara, 25s.
12. Ramyar, K., "Uçucu Küllerin Çimento Harcının Büzülmesine ve Beton Karbonatlaşmasına Olan Etkileri", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 1. Sempozyumu, Ankara, 1993; 133-147.
13. Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2003: 741s.

14. Chung, D.D.L., Dispersion of Short Fibers in Cement, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, July/August 2005, 379-383.
15. Yang, X. and Chung, D.D.L., Latex-Modified Cement Mortar Reinforced by Short Carbon Fibres, Composites, 1992; 23(6): 453-460.
16. Chen, P. and Chung, D.D.L., (1993), Carbon Fiber Reinforced Concrete as an Electrical Contact Material for Smart Structures, Smart Mater. Struct., 1993; 2: 181-188.
17. TS EN 206-1 Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002; 68s.
18. TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003; 12s.
19. TS EN 12390-5 Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003, 5s.
20. Topçu İ.B., Canbaz M. Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2001; 14(2): 11-24.
21. Chen, P. and Chung, D.D.L. Concrete Reinforced with up to 0.2 vol % of Short Carbon Fibres, Composites, 1993; 24(1): 33-52.
22. Subaşı S., Kap, T. ve Beycioğlu A., Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton İşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi, Uluslararası Hazır Beton Kongresi, 438-448, İstanbul/Türkiye, 2008.



23. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu; Traslar ve Traslı Çimentolar, 2003, TÇMB/AR-GE Enstitüsü, Ankara.
24. Yazıcıoğlu S., Bozkurt N., Pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması, Gazi Üniversitesi Müh.Mim Fak. Dergisi, 2006; 21(4): 675-680.
25. Soroushian, P., Nagi, M., Hsu, J. Optimization of the Use of Lightweight Aggregates in Carbon fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 1992; 89(3): 267-276.
26. Yaşar E., Atiş C.D., Kılıç A., Gülşen H., Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, Materials Letter, 2003; 57: 2267-2270.