



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0220

ENGINEERING SCIENCES

Received: May 2011
Accepted: October 2011
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

Hicran Açıknel
Sefa Yaka
Selcuk University
hacikel@selcuk.edu.tr
Konya-Turkey

KONYA BÖLGESİ AGREGALARI İLE ÜRETİLEN YOL BETONLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Bu çalışmada; lifsiz, 20 kg/m³ ve 40 kg/m³ oranlarda çelik lif kullanılarak, orta trafik şiddeti düşünülerek C 35 beton sınıfı hedeflenerek yol betonları üretilmiş ve betonların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Betonların slump değeri 40±10 mm ve su/çimento oranı 0.50 seçilmiştir. 300, 325, 350 ve 400 dozajlarda CEM I 42.5 çimento kullanılmıştır. Karışımlarda hava sürükleyici kimyasal katkı da kullanılmıştır. Taze beton üzerinde birim ağırlık ve kıvam deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton üzerinde birim ağırlık, basınç dayanımı (15x15x15 küp numunelerde), silindir yarma (15x30 silindir numunelerde), eğilme deneyleri (15x15x75 cm kiriş numunelerde) yapılmıştır. Mukavemet deneyleri 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar birbiriyle mukayese edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Fiberli Beton, Çelik Lifli Beton, Yol Betonları, Hava Sürükleyici Katkılar

MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE ROAD PRODUCED BY USING THE AGGREGATES OF KONYA REGION

ABSTRACT

In this study, road concrete is produced by steel fiber on the proportion of fiberless, 20 kg/m³ and 40 kg/m³, and due to the medium traffic intensity, C35 concrete is targetted. The mechanical properties of these concretes are compared. The slump value of the produced concrete is chosen as 40±10 mm and the proportion of water/cement is 0.50. The cement used in the experiment is CEM I 42.5 and the dosages are 300, 325, 350 and 400 Mixtures also include air entrainer admixture. The unit weight and consistency experiments are done on the fresh concrete. The following experiments are done on the hardened concrete; unit weight, compressive strength (15x15x15 cube samples), splitting (15x30 cylinder samples), bending (15x15x75 cm beam samples). The strength experiments are done on the 7 and 28 daily samples. The results that are acquired in experiments are compared.

Keywords: Concrete, Fiber Concrete, Steel Fiber Concrete, Concrete Road, Air Absorbing Additives

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde birçok gelişmenin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir. Betonun özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine değişik miktarlarda, belirli boy/çap oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemeler ilave edilmektedir. Beton üretiminde lif (fiber) kullanılmasındaki ana amaç malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının vb. artırılmasına yöneliktir [1, 2, 3 ve 4].

Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Beton, çekme direnci düşük olan bir yapı malzemesidir. Betonun temel özellikleri, mukavemet ve durabilite olduğundan dolayı bu özellikleri sağlayan en ekonomik kaplama betonunun üretilmesi esastır [5 ve 6].

Lifle güçlendirilmiş beton bileşenleri, endüstriyel yapılar, yol betonları, yaya kaldırımları, köprüler, tünel ve kanal kaplamaları, hidrolik yapılar, borular, patlamaya karşı dirençli yapılarda, güvenlik odaları, ince kaplamalarda ve beton silindir gibi çok değişik yapıları kapsayan uygulamalarda kullanılmaktadır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Betonun dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı maddeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Katkı maddeleri olarak değişik kimyasalların yanı sıra çeşitli türlerde çelik lifler de kullanılmaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça, betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttuğu bilinmektedir. Betona çelik lif katkısı yapıldığında ise, daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyebilen ve çatlama riski daha düşük olan malzemeler ortaya çıkmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı da çelik lifli betonlara talep giderek artmaktadır.

Yol betonlarında en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, tokluğunu, yorulma direncini ve çatlama karşı direncini hissedilir düzeyde iyileştirmektedir.

Homojen bir şekilde dağıtılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir.

Liflerin en büyük etkisi, çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ve sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Ayrıca içersine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun, tokluk, yorulma, çarpma ve ilk çatlak dayanımı gibi özellikleri işlev açısından daha farklı davranış göstermektedir.

Basınç gerilmeleri çelik tellerin rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ve eğilme dayanımı ise çelik tellerin performansına bağlıdır. Betonun tokluğu arttıkça betonun deprem yükleri altındaki davranışı da daha sünek hale gelmektedir

Bütün bu üstün özelliklerinden dolayı çelik lifli beton kullanılması halinde kesitler daha küçülerek malzemedan tasarruf sağlamaktadır.

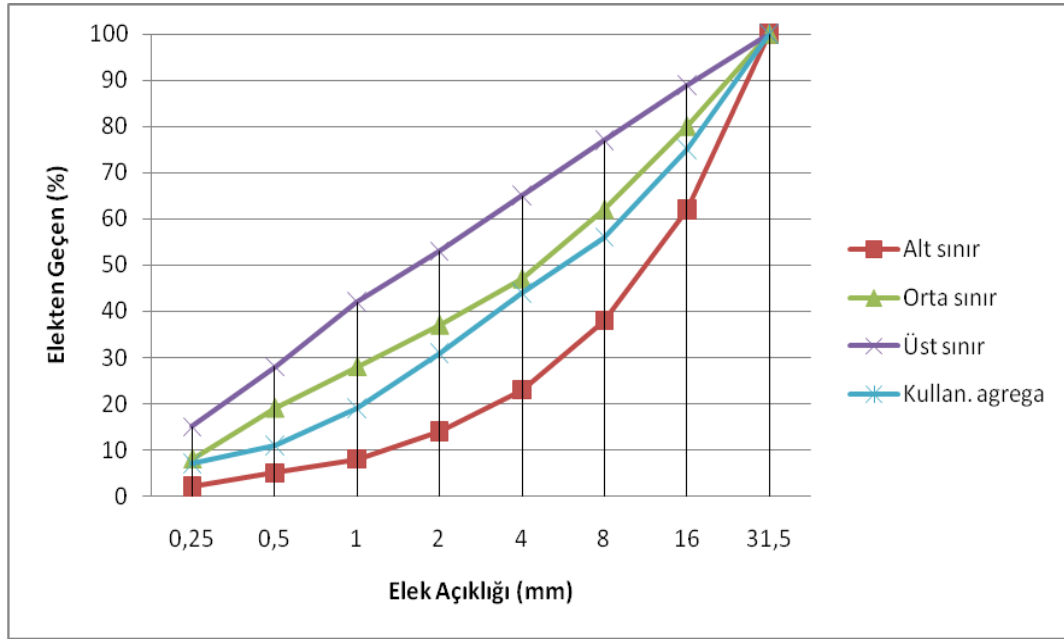
3. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Kullanılan Malzemeler (Materials)

• Agregat (Aggregate)

Bu çalışmada kullanılan agregat Konya-Seydişehir Devlet Yolu üzerinde bulunan Çayırbağı Taşocağından 16-32, 4-16 ve 0-8 mm tane çaplarında olmak üzere 3 grup halinde temin edilmiştir. Agregat deneyleri Karayolları 3.Bölge Müdürlüğü Beton Laboratuvarında yapılmıştır.

Granülometri deneyleri TS 130'a göre yapılmıştır. Karışık agreganın granülometri eğrisi ise Şekil 1'de verilmiştir. Karışımlarda 0-8 mm ince agregat %25, 4-16 mm orta agregat %25, 16-32 mm iri agregat %50 oranında kullanılmıştır.



Şekil 1. Agreganın granülometri eğrisi
(Figure 1. Granulometric curve of aggregate)

Agregalarda, TS EN 1097-6'ya göre iri ve ince agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1 Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı değerleri
(Table 1. Values of specific gravity and water absorption of aggregates)

Agregat	Kuru özgül ağırlık (kg/m ³)	Doygun kuru yüzey özgül ağırlık (kg/m ³)	Görünen özgül ağırlık (kg/m ³)	Su emme oranı (%)
0-8 mm ince agregat	2.67	2.70	2.73	0.77
4-16 mm orta agregat	2.69	2.70	2.70	0.19
16-32 mm iri agregat	2.71	2.71	2.71	0.10

- **Çimento (Cement)**

Yol betonu üretiminde özgül ağırlığı $3,13 \text{ kg/dm}^3$ olan CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Konya Çimento A.Ş. tarafından üretilen çimentonun TS EN 197-1'e uygunluğu, fabrika laboratuvarında test edilmiştir. Bulunan değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri ve TS EN197-1'de istenen değerler.

(Table 2. Physical and chemical properties of cement and Standard values in TS EN197-1)

Özellik	Elde edilen değerler	TS EN 197-1'de (TS 19) istenen değerler	
		En az	En çok
Kimyasal özellikler			
Kızdırma kaybı (%)	2,63		5
Çözünmeyen kalıntı (%)	0,52		5
Kükürt trioksit (SO_3) (%)	3,31		4
Klorür (Cl) (%)	0,006		0,1
Fiziksel özellikler			
2 günlük basınç dayanım (Nt/mm^2)	25,6	20	
28 günlük basınç dayanım (Nt/mm^2)	48,8	42,5	62,5
Priz başlangıcı (min)	150	60	
Hacim genleşmesi (mm)	1		10

- **Çelik Lif (Steel Fiber)**

Çalışmada Beksa Çelik Tel ve Kord Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketinden temin edilen TS 10513 Standardına uygun, sonu kancalı, iki ucu kıvrılmış, birbirine tutkalla birleştirilmiş, sınıf C, soğuk çekilmiş RC 80/60 BN çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan lifin teknik özellikleri Tablo 3'de çelik liflerin görünümü ise Şekil 2'de verilmiştir.

- **Karma Suyu (Mixed Water)**

Çalışmada beton karma suyu olarak TS EN 1008 standardına uygun olarak içilebilir özellikteki Yükselen havzasından temin edilen Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır.

- **Hava Sürükleyici Katkı Maddesi (Air Entraining Additive)**

Çalışmada hava sürükleyici katkı maddesi olarak kahverenginde, $1,010 \pm 0,02 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluğunda, PH'ı $6,00 \pm 1$, klorür içeriği $< 0,01$ ve sıvı Chrysoair G10 Hava Sürükleyici Beton katkısı kullanılmıştır.

Tablo 3. Çelik lifin teknik özellikleri
(Table 3. Technical properties of steel fiber)

Tel Tipi	Uzunluk	Genişlik	Narinlik	Çekme Dayanımı	Özgül ağırlık
	(l) (mm)	(d) (mm)	oranı (l/d)		
RC 80 / 60 BN	60	0.75	80	1050	7,85



Şekil 2. Deneysel olarak kullanılan çelik lifler
(Figure 2. Steel fibers used in the experiments)

3.2. Beton Karışımları, Üretimleri ve Yapılan Deneysel Çalışmalar (Concrete Mixes, Productions and Experiments)

Bu çalışmada, lifsiz, 20 kg/m³ ve 40 kg/m³ oranlarda çelik lif kullanılarak toplam 12 adet karışım üretilmiştir. Karışımlarda çimento dozajı 300, 325, 350 ve 400 kg/m³ alınmıştır. Çimento miktarının %0,2'si oranında hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,50 olarak belirlenmiş ve hapsedilmiş hava miktarı ise 4 dm³ alınmıştır. Bu veriler doğrultusunda karışım miktarının hesabı TS 802 (1985)'de verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Bir metreküp beton içinde bulunan malzeme miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ beton içinde bulunan malzeme miktarları
(Table 4. The amount of the material in 1 m³ concrete)

Çimento (kg/m ³)	Su (lt/m ³)	Çelik Lif (kg/m ³)	Hav.Sür. K.M. (kg)	Kum (kg)	Orta Agregat (kg)	İri Agregat (kg)
300	150	0	0,6	1013	503	500
		20				
		40				
325	162,5	0	0,65	986	490	487
		20				
		40				
350	175	0	0,7	947	475	479
		20				
		40				
400	200	0	0,8	891	448	451
		20				
		40				

Çalışmada TS EN 12350-1 standardına uygun olarak her bir karışım için basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla, 3 adedi 7 günlük basınç dayanımı deneyi için ve 3 adedi 28 günlük basınç dayanımı deneyi için olmak üzere toplam 6 adet 15x15x15 cm küp, yarıda çekme dayanımını belirlemek amacıyla 3 adet Ø15/30 cm silindir, eğilme dayanımını belirlemek amacıyla 3 adet 15x15x75 cm kiriş numuneler üretilmiştir. (Şekil 3, Şekil 4) Taze betonun işlenebilirliği TS EN 12350-2 standardına göre çökme hunisi metodu (slump) ile belirlenmiştir. TS EN 12350-6 standardına göre, karışım karıştırıldıktan sonra basınç dayanımı için alınan ve öncesinde hacmi ve ağırlıkça darası bilinen

küp numunelerden 3 er adedi tartılarak taze beton birim ağırlıkları belirlenmiştir. Tüm numuneler karışım yapıldıktan bir gün sonra kalıptan çıkartılıp 20±2 su kürü ortamına alınarak deney gününe kadar bu ortamda saklanmıştır (Şekil 5).



Şekil 3. Beton numune kalıpları
(Figure 3. Concrete sample patterns)



Şekil 4. Beton numuneler
(Figure 4. Concrete samples)



Şekil 5. Beton kür havuzu
(Figure 5. Concrete curing pool)

4. BULGULAR VE/VEYA TARTISIMLAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

4.1. Birim Ağırlık Deney Sonuçları (Unit Weight Test Results)

Üretilen betonların taze beton birim ağırlıkları Tablo 5'de, sertleşmiş beton birim ağırlıkları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 5. Taze beton birim ağırlıkları
(Table 5. Unit weight of fresh concrete)

Çelik lif oranı		Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
Dozaj	Numune no	Δ_{taze} kg/m ³	Ort. Δ_{taze} kg/m ³	Δ_{taze} kg/m ³	Ort. Δ_{taze} kg/m ³	Δ_{taze} kg/m ³	Ort. Δ_{taze} kg/m ³
300	1	2387	2428	2486	2460	2556	2523
	2	2474		2520		2491	
	3	2421		2374		2523	
325	1	2451	2456	2516	2519	2600	2550
	2	2384		2497		2524	
	3	2532		2545		2527	
350	1	2501	2487	2496	2493	2479	2563
	2	2470		2504		2585	
	3	2490		2477		2625	
400	1	2504	2507	2562	2597	2559	2590
	2	2551		2648		2620	
	3	2465		2581		2589	

Tablo 6. Sertleşmiş beton birim ağırlıkları
(Table 6. Unit weight of hardened concrete)

Çelik lif oranı		Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
Dozaj	Numune no	Δ_{kuru} kg/m ³	Ort. Δ_{kuru} kg/m ³	Δ_{kuru} kg/m ³	Ort. Δ_{kuru} kg/m ³	Δ_{kuru} kg/m ³	Ort. Δ_{kuru} kg/m ³
300	1	2310	2358	2423	2452	2446	2501
	2	2439		2527		2599	
	3	2326		2408		2459	
325	1	2313	2369	2527	2474	2479	2541
	2	2465		2554		2508	
	3	2329		2341		2637	
350	1	2294	2417	2484	2464	2527	2539
	2	2493		2489		2550	
	3	2463		2418		2541	
400	1	2423	2426	2571	2557	2681	2566
	2	2394		2492		2578	
	3	2461		2608		2439	

Taze beton birim ağırlıkları; 300 dozlu beton karışımlarında 2428-2523 kg/m³, 325 dozlu beton karışımlarında 2456-2550 kg/m³, 350 dozlu beton karışımlarında 2487-2563 kg/m³, 400 dozlu beton karışımlarında ise 2507-2597 kg/m³ arasında değişmektedir. Sertleşmiş beton birim ağırlıkları; 300 dozlu beton karışımlarında 2358-2501 kg/m³, 325 dozlu beton karışımlarında 2369-2541 kg/m³, 350 dozlu beton karışımlarında 2417-2539 kg/m³, 400 dozlu beton karışımlarında ise 2426-2566 kg/m³ arasında değişmektedir. Taze beton birim ağırlığında lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %2-5 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %5-7 arasında artış meydana gelmiştir. Sertleşmiş beton birim ağırlığında ise lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %1-3 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %3-4 arasında artış meydana gelmiştir.

Karahan (2006), özgül ağırlığı betondan çok daha fazla olan çelik liflerin betona ilave oranları arttıkça, betonların taze ve sertleşmiş birim ağırlıklarının da arttığını; Tabak (2004), çelik lif kullanımının, betonun birim hacim ağırlığını arttırdığını ve bu

artışın kullanım hacmine ve görünüm oranına bağlı olarak değiştiğini; Yıldırım (2002), ise tüm liflerin betonun birim ağırlığını, kendi birim ağırlıkları ölçüsünde etkilediğini ve çelik liflerin diğer liflere nazaran daha ağır olduğu ve bu ağırlığın lif miktarı arttıkça artmakta olduğunu belirtmiştir [7, 8 ve 9].

4.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları (Compression Strength Test Results)

15x15x15 cm küp numuneler 7 ve 28 günlük basınç dayanımı belirlemek amacıyla deneye tabii tutulmuş (Şekil 6) ve elde edilen sonuçlar Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Basınç dayanımı deneyi
(Figure 6. Compression strength test)

Tablo 7. 7 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları
(Table 7. Compression strength test results for 7 day)

Dozaj	Çelik lif oranı	Numune no	Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
			$f_{ck,7}$ N/mm ²	Ort. $f_{ck,7}$ N/mm ²	$f_{ck,7}$ N/mm ²	Ort. $f_{ck,7}$ N/mm ²	$f_{ck,7}$ N/mm ²	Ort. $f_{ck,7}$ N/mm ²
300		1	29	28	28	27	31	31
		2	27		26		31	
		3	27		28		31	
325		1	25	26	33	32	34	33
		2	26		31		33	
		3	27		32		32	
350		1	30	31	37	36	37	37
		2	30		35		37	
		3	33		35		38	
400		1	31	31	39	38	39	39
		2	32		36		38	
		3	31		38		38	

Tablo 7 ve Tablo 8 incelendiğinde, çelik lif ilave edilmesinin beton basınç dayanımını etkilemediği görülmüştür.

Çelik lifli betonlar üzerinde yapılmış değişik araştırmalarda liflerin betonun basınç dayanımına %±25 gibi bir artış veya azalma

sağladığı, bazı araştırmalarda ise liflerin basınç dayanımına bir etkisinin olmadığı görülmüştür [10].

Ateş'e (2008)göre, liflerin basınç dayanımına etkisi liflerin beton içerisindeki yönelimleri ile ilgilidir. Betona uygulanan yüklemenin düzlemine dik olan lifler basınç dayanımına bir etkide bulunmazlar. Beton içerisinde yükleme düzlemine paralel yerleşmiş lifler ise basınç dayanımının artmasına sebep olur [11].

Tablo 8. 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları
(Table 8. Compression strength test results for 28 day)

Çelik lif oranı		Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
Dozaj	Numune no	f _{ck,28} N/mm ²	Ort. f _{ck,28} N/mm ²	f _{ck,28} N/mm ²	Ort. f _{ck,28} N/mm ²	f _{ck,28} N/mm ²	Ort. f _{ck,28} N/mm ²
300	1	37	38	31	31	35	34
	2	38		31		34	
	3	39		31		35	
325	1	40	40	48	46	46	46
	2	41		45		45	
	3	40		45		46	
350	1	41	41	47	45	42	45
	2	41		43		46	
	3	41		44		47	
400	1	45	44	40	45	45	45
	2	44		43		46	
	3	44		39		45	

Arı ve ark. (2004) iki farklı çelik lifin, 25 kg/m³ dozajla kullanımında beton basınç dayanımını arttırırken, 40 kg/m³ dozajla kullanımında beton basınç dayanımını düşürdüğünü tesbit etmişlerdir. Bunu da çimento, agrega ve lif pastası arasında karmaşık matrislerin oluşumuna başlamışlardır [12].

Basınç dayanımı özelliği üzerinde çelik liflerin pek de etkili olmadığı, hatta çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımında daha da azalma olduğunu araştırmacılar belirtmektedir [9 ve 13].

7 günlük basınç dayanımında; 300 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %1 azalma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %11 artma; 325 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %24 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %28 artma; 350 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %15 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %20 artma; 400 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %20 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %23 artma meydana gelmiştir.

28 günlük basınç dayanımında; 300 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %18 azalma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %10 azalma; 325 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %12 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %14 artma; 350 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %10 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %10 artma; 400 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %2 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %3 artma meydana gelmiştir.

Lif miktarının basınç dayanımı üzerindeki etkileri hem olumlu hem de olumsuz yönde olmuştur. Bunun sebebi, betona ilave edilen liflerin betonun işlenebilmesini azalttığından veya beton içerisindeki

dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilebilir.

4.3. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları (Splitting Strength Test Results)

Yarmada çekme dayanımı 28 günlük 15x30 cm silindir numuneler üzerinde yapılmış olup (Şekil 7, Şekil 8) deney sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Silindir yarma deneyi
(Figure 7. Splitting strength test)



Şekil 8. Silindir yarma deneyinden sonra numunenin görünüşü
(Figure 8. Appearance of sample after splitting strength test)

Tablo 9 incelendiğinde dozaj miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında da ise lif artışına paralel olarak yarmada çekme dayanımının arttığı görülmektedir.

Sevil (2001), Yiğiter (2002) ve Tabak (2004) çalışmalarında, yarma deneylerinde, liflerin beklenen sonucu yarattığı ve lif dozajı arttıkça yarma dayanımlarının arttığını bildirmişlerdir [8, 14 ve 15]

Çelik liflerle güçlendirilmiş normal ve uçucu küllü betonlarda %0.25 ve %0.50 gibi düşük çelik lif oranlarının betonların yarma dayanımlarına bir katkısı görülmemiştir. Çelik liflerin %1.00 ve özellikle %1.50 oranlarında kullanılması durumunda betonların yarmada çekme dayanımlarına katkıda bulunduğu görülmüştür. %1.00 ve %1.50 çelik lif oranlarında sırasıyla %32 ve %71'lere varan artışlar sağlanmıştır [7].

Tablo 9. Yarmada çekme dayanımı deney sonuçları
(Table 9. Splitting strength test results)

Çelik lif oranı		Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
Dozaj	Numune no	σ_{yarma} N/mm ²	Ort. σ_{yarma} N/mm ²	σ_{yarma} N/mm ²	Ort. σ_{yarma} N/mm ²	σ_{yarma} N/mm ²	Ort. σ_{yarma} N/mm ²
300	1	3.3	2.9	3.1	3.0	2.7	3.2
	2	2.2		3.0		3.9	
	3	3.0		2.9		2.9	
325	1	2.8	2.9	3.0	3.1	3.3	3.4
	2	3.4		3.4		3.6	
	3	2.5		2.9		3.4	
350	1	3.7	3.1	2.8	3.4	3.4	3.6
	2	3.3		3.7		3.7	
	3	2.3		3.6		3.6	
400	1	3.3	3.3	3.6	3.5	3.7	3.7
	2	3.0		3.7		3.5	
	3	3.5		3.3		3.9	

Uğurlu'ya (1994) göre, çelik lifli betonların çekme dayanımları geleneksel betonlara göre daha fazladır. Çelik lifli betonların çekme dayanımlarındaki artış; lif şekline, lif miktarına, lif görünüm oranına ve liflerin beton içerisinde dağılma şekline ve lif-matris aderansına göre geleneksel betonlara oranla %25-100 arasında olmaktadır [16].

Topçu ve Boğa (2005), çelik lif ve uçucu kül ilavesi ile silindirik numunelerde basınç dayanımındaki artışın; 300 dozajlı betonlarda %19.92, 350 dozajlı betonlarda %14.57, 400 dozajlı betonlarda ise %13.00 olduğunu belirtmişlerdir [17].

Yarmada çekme dayanımında; 300 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %3 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %10 artma; 325 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %7 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %17 artma; 350 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %10 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %16 artma; 400 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %6 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %12 artma meydana gelmiştir.

Tablo 9 genel olarak incelendiğinde yarmada çekme dayanımında, lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %3-10 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %10-17 arasında artış meydana gelmiştir.

Yapılan yarmada çekme deneyi sonucunda; lifsiz betonlarda gevrek kırılma meydana gelmiş ve silindirik numuneler iki parçaya ayrılmışlar, lifli betonlarda ise çatlama oluşmuş ancak elastik çökme meydana gelerek iki parçaya ayrılmayıp az da olsa yük taşımaya devam etmişlerdir.

4.4. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları (Bending Strength Test Results)

Eğilme dayanımı 28 günlük 15x15x75 cm kiriş numuneler üzerinde yapılmış olup (Şekil 9) sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.



Şekil 9. Eğilme dayanımı deneyi
(Figure 9. Bending strength test)

Tablo 10. Eğilme dayanımı deney sonuçları
(Table 10. Bending strength test results)

Çelik lif oranı		Lifsiz		20 kg/m ³		40 kg/m ³	
Dozaj	Numune no	$\sigma_{eğilme}$ N/mm ²	Ort. $\sigma_{eğilme}$ N/mm ²	$\sigma_{eğilme}$ N/mm ²	Ort. $\sigma_{eğilme}$ N/mm ²	$\sigma_{eğilme}$ N/mm ²	Ort. $\sigma_{eğilme}$ N/mm ²
300	1	2.9	2.8	2.7	3.0	3.0	3.2
	2	2.2		3.1		3.5	
	3	3.2		3.3		3.2	
325	1	2.9	2.8	2.9	3.1	3.7	3.3
	2	2.9		3.7		3.0	
	3	2.6		2.7		3.4	
350	1	2.9	3.0	3.4	3.3	3.4	3.4
	2	3.3		3.8		3.7	
	3	2.8		2.6		3.0	
400	1	3.4	3.4	4.2	3.5	3.9	3.7
	2	3.6		2.8		4.2	
	3	3.4		3.5		2.9	

Eğilme dayanımını etkileyen faktörler, lifin şekli, lif görünüm oranı, lif hacmi, deney numunesi boyutları ve liflerin beton içerisindeki dağılımları ve esas olarak betonla lif arasındaki aderans gerilmesinin arttırılmasıdır [8].

Lif donatılı betonların gerçek üstünlüğünün, çatlak gelişimi ve yükleme durumundaki çatlak genişlemelerinde saklı olduğunu bundan dolayı çelik lif donatılı betonların önemli eğilme performansına sahip oldukları belirtilmektedir [18 ve 19]. Yıldırım (2002) ise çelik liflerin diğer liflere nazaran uzun oldukları için eğilme dayanımlarının çok fazla geliştirdiklerini belirtmiştir [9].

Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımları normal betonlara göre %50-100 arasında artış göstermektedir. Bu artış çelik liflerin yüksek çekme dayanımlarından ileri gelmektedir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasından (ilk çatlaktan) sonra liflerin çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artmaktadır. Bu durumda maksimum eğilme yükü lifsiz betonlara göre daha fazla olmaktadır [16].

Tablo 10 incelendiğinde dozaj miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında da lif artışına paralel olarak eğilme dayanımının arttığı görülmektedir.

15x15x75 cm kiriş numunelerde eğilme dayanımında; 300 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %9 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %17 artma; 325 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %11 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %19 artma; 350 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %9 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %12 artma; 400 dozda lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %1 artma, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %7 artma meydana gelmiştir.

Tablo 10 incelendiğinde genel olarak eğilme dayanımında; lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %1-11 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %7-19 arasında artış meydana gelmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada Konya bölgesi agregaları ile çelik lif kullanılarak üretilen yol betonlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Birim ağırlık deney sonuçlarına göre, çelik liflerin betona ilave oranları arttıkça, taze ve sertleşmiş beton birim ağırlıkları da artmıştır. Bunun sebebi çelik liflerin özgül ağırlığının betondan çok daha fazla olmasıdır.

Beton basınç dayanımı deney sonuçlarına göre, çelik lif ilave edilmesinin beton basınç dayanımını etkilemediği görülmüştür. Lif miktarının basınç dayanımı üzerindeki etkileri hem olumlu hem de olumsuz yönde olmuştur. Bunun sebebi, betona ilave edilen liflerin betonun işlenebilmesini azaltması veya beton içerisindeki dağılımının ve yöneliminin etkisi sonucu oluşmuş olabileceği belirtilebilir.

Yarmada çekme dayanımı deney sonuçlarına göre, dozaj miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında da ise lif artışına paralel olarak yarmada çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Yarmada çekme dayanımında, lifsiz beton karışımına göre, 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %3-10 arasında, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %10-17 arasında artış meydana gelmiştir. Yapılan yarmada çekme deneyinde; lifsiz betonlarda gevrek kırılma meydana gelmiş ve silindir numuneler iki parçaya ayrılmışlar, lifli betonlarda ise çatlamlar oluşmuş ancak elastik çökme meydana gelerek iki parçaya ayrılmayıp az da olsa yük taşımaya devam etmişlerdir.

Eğilme deneyi sonuçlarına göre, dozaj miktarı arttıkça eğilme dayanımının arttığı, aynı dozajdaki karışımlara bakıldığında ise lif artışına paralel olarak eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. Eğilme dayanımında; lifsiz beton karışımına göre 20 kg/m³ lifli beton karışımlarında %1-11 arasında artış, 40 kg/m³ lifli beton karışımlarında ise %7-19 arasında artış meydana gelmiştir.

SEMBOLLER

- Δ : Birim ağırlık
f_{ck,7} : 7 günlük beton basınç dayanımı
f_{ck,28} : 28 günlük beton basınç dayanımı
σ_{yarma} : Silindir yarıma dayanımı
σ_{eğilme} : Eğilme dayanımı

NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ünal, O., Uygunođlu, T. ve Gençel, O., (2006). Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi: 13(1), ss:23-30.
2. Altun, F., (2006). Çelik Lifli Hafif Betonun Deneysel Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi: 12(3), ss:333-339.
3. Karahan, O., (2006).Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Kurt, G., (2006).Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
5. Türel, Ö., (2003). Antalya ve Çevre İllerdeki Bölgesel Devlet Yollarının Mevcut Üstyapı Uygulamalarının İncelenmesi, Rijit Üstyapı Formunda Yeniden Çözülmesi, Maliyet Karşılaştırmalarının Yapılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
6. Edis, E., (2007).Asfalt ve Beton Kaplamalı Yolların Maliyet Yönünden Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Antakya: Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Karahan, O., (2006). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Doktora Tezi. Adana: Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. Tabak V., (2004). Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Yıldırım, S.T., (2002). Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Arslan, A., (1993). Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli. Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi:369, ss:29-30.
11. Ateş, A.İ., (2008). Çelik Lif Donatılı Betonlar. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale: Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Arı, K., Haktanır, T., Altun, F. ve Karahan, O., (2004) Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi. Türkiye Hazır Beton Birliđi Beton 2004 Kongresi. İstanbul, Bildiriler Kitabı, ss: 255-265.
13. Acun, S., (2000). Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. Sevil, C., (2001). Uçucu Küllü, Lifli Beton Kompozitinde Lif Tipinin Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri.
15. Yiğiter, H., (2002). Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. Uğurlu A., (1994),Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri Ve Su Yapılarında Kullanılması, DSİ Teknik Bülteni, 80,17,

17. Topçu, İ.B. ve Boğa, A.R., (2005). Uçucu kül ve çelik liflerin beton ve beton borularda kullanımı. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi: 2, ss:65-85,
18. Bantia, N., (1997). Fibre Reinforced Concrete: Present and Future. Proc., Asia- Pacific Spec. Conf. On the Fibre Reinforced Concrete. CI-Premier Singapore, ss:1-10.
19. Look, T.S. and Xiao, J.R., (1999). Flexural Strength Assessment of Steel Fiber Reinforced Concrete. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering: 11(3), ss:188-196.