

Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi

Hasbi YAPRAK* Osman ŞİMŞEK** Aydın ÖNEŞ***

*Ankara Üniversitesi Kastamonu Meslek Yüksekokulu 37100 KASTAMONU

**Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü 06500 Beşevler ANKARA

***Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Dışkapı ANKARA

ÖZET

Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için çelik, polipropilen ve cam liflerin betona katılması giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak liflerin geometrisi, narinliği ve boyları liflerin betona etkilerini farklı şekillerde etkilemektedir. Farklı türdeki liflerin belirli oranlarda birlikte kullanımı, daha olumlu ve çok yönlü bir iyileştirmeye olanak sağlayabilir. Bu çalışmada, uçucu kül ve çelik lif ile üretilen betona 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 kg/m³ cam lif katılarak, betonun basınç ve çekme dayanımındaki değişimler araştırılmıştır. Cam liflerin, basınç ve çekme dayanımına olumlu yönde etkide bulunduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, uçucu kül, lifli beton, çelik lif, cam lif

Effect of Glass and Steel Fibers on Some Properties of Concrete

ABSTRACT

Adding steel, polypropylene and glass fibers into concrete in order to improve the mechanical properties of concrete has become widely common. However the geometry of fibers, their aspect ratio and lengths have effects on the concrete in various ways. Use of different fibers in certain ratios may provide a more positive and many sided improvement. In this study, differences of compressive and tensile strength on the concrete have been searched by adding 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 kg/m³ glass fiber into the steel fibered and fly ash concrete. The glass fibers have provided increase on compressive strength and in tension strength.

Keywords: Concrete, fly ash, fiber reinforced concrete, steel fiber, glass fiber.

1. GİRİŞ

Beton, yapı mühendisliğinde çok kullanılan kompleks ve rastgele dağılmış agregalardan oluşan, heterojen, gözenekli bir yapı malzemesidir. Betonun iç yüzeyinde bulunan kısmi mikro çatlaklar, betonun bozulmasına neden olacak potansiyel çatlak uçlarını belirlemektedir. Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslıdır. Liflerin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, duktilitesini, enerji tüketme kapasitesini, oyulma direncini artırmak ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Bundan dolayı hava alanı pistlerinde, limanlarda, çok katlı şehirler arası otobüs terminallerinde, sulama kanalı beton kaplamalarında ve dolu savaklarda kullanılmaktadır. Lifler, kendi çekme mukavemetlerine ulaşıncaya kadar beton basınç ve çekme gerilmelerinden meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu en aza indirmektedir (1-6).

Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler; narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ile lif miktarıdır. Ayrıca katılan liflerin betonun karışımında homojen olarak dağıtılması, liflerin betonun özellikleri üzerinde yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir. Çelik

lifler, betonlarda oluşan çatlaklar üzerinde köprü görevi üstlenerek çatlağın büyümesini engeller (5-9).

Ekincioglu, kısa ve uzun liflerin birlikte kullanıldığı uygulamalarda kısa liflerin önce mikro çatlakları engelleyerek çekme dayanımını artıracaklarını, çatlaklar makro düzeye geldiğinde de uzun liflerin kompozite süneklik sağlayacağını, bunun sonucu olarak da, betonun çekme dayanımının ve tokluğunun geliştirileceğini ifade etmektedir (8).

ACI 544'e göre, çelik lifli betonların mekanik özellikleri; lif hacmi, lifin çekme dayanımı, elastisite modülü ve lifin kenetlenme boyuna bağlıdır (7).

Çelik lifler, genel olarak düz, şekillendirilmiş, dalgalandırılmış, uçları genişletilmiş veya kancalı, kesitleri daire, kare veya düzensiz şekillerde üretilmektedir (5,8,9).

Cam lifli betonların mekanik özellikleri; lif içeriğine, su-çimento oranına, boşluk oranına, kum içeriğine, lif dağılımına, lif uzunluğuna ve kür şekline bağlıdır. Cam ve polipropilen lifler rötre çatlakların oluşumunu ve içsel gerilmeleri engellemek için tercih edilmektedir. Cam lifler, düşük katkı oranlarında (1 kg/m³ ün altında) kullanıldığında; beton içerisine dağılan binlerce lif, erken dönemde oluşan iç gerilmelerden dolayı meydana gelebilecek çatlakları, geçirgenliği

azaltırken, uzun dönemde betonun atmosfer etkilerine ve dış aşındırıcı kuvvetlere karşı da direnç sağlar. Cam lifler, taze betonda terlemeyi ve tane ayrışmasını azaltmasına olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Cam lifi $1-20 \text{ kg/m}^3$ gibi yüksek oranlarında kullanılması durumunda ise; karıştırma ve pompalama sırasındaki işlenebilirliği olumlu yönde etkilemekte, betona eğilme dayanımı ve darbelere karşı direnç kazandırmaktadır (8-14).

Bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan katkı maddelerinden, çelik lif, uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı sabit tutularak buna ilave olarak farklı oranlarda cam lifinin betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Beton üretiminde üç farklı agrega, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi, uçucu kül, çelik lif ve PÇ 42.5 Portland çimentosu kullanılmıştır. Ayrıca betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek için farklı oranlarda cam lif katılmıştır. Çimento, uçucu kül, kimyasal katkı, çelik lif, agrega miktarları sabit tutulmuş, cam lif miktarı ise değişken olarak alınmıştır. Her bir karışımdan, her farklı yaş ve özellikler için 5'er adet $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ 'lik beton numuneleri üretilmiştir.

2.1.1. Agrega

Beton numunelerin üretiminde, doğal kum (0-4), ince kırma çakıl (4-8) ve iri kırma çakıl (8-16) olmak üzere 3 grup agrega kullanılmıştır. Agreganın; özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS 3526(15)'ya, ince madde oranı tayini TS 3527(16)'ye, donmaya ve çözülme karşı direncinin tayini TS EN 1367-1 (17)'e, aşınma direncinin tayini TS EN 1097-2 (18)'ye ve elek analizi TS 3530 EN 933-1(19)'e göre belirlenmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 1'de, elek analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Yapılan inceleme sonucu agreganın beton üretimi için uygun olduğu görülmüştür (5).

Tablo 1. Agrega fiziksel özellikleri

Agrega tane Sınıfı	Agrega özellikleri					
	Yoğunluk (mg/m^3)	Su emme (%)	İnce madde oranı (%)	Donma kaybı (%)	Aşınma oranı(%)	
					100 devir	500 devir
Doğal kum	2.63	1.45	1.65	-	-	-
İnce kırma çakıl (4-8)	2.72	0.30	-	2.3	3.6	17.6
İri kırma çakıl (8-16)	2.70	0.31	-	2.0	2.7	14.6

Tablo 2. Agrega elek analizi % geçen değerleri

Agrega	Elek boyutu (mm)						
	0.125	0.5	1	2	4	8	16
Doğal kum(0-4)	35	55	77	90	100	-	-
İnce kırma çakıl (4-8)	-	-	-	-	20	97	100
İri kırma çakıl (8-16)	-	-	-	-	-	10	100
Karışımında kullanılan	5	20	33	43	55	71	100

2.1.2. Çimento ve uçucu kül

Beton üretiminde Ankara Set çimento fabrikası ürünü PÇ 42.5 ve Çayırhan termik santrali uçucu külü kullanılmıştır. Çimentonun ve uçucu külün fiziksel, kimyasal ve teknik özellikleri Set çimento fabrikasında yaptırılmıştır. Tablo 3'de, çimento (PÇ 42.5) ve uçucu külün özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Çimento ve uçucu külün özellikleri

Özellikler	PÇ 42.5 Çimento	Uçucu külün
Kimyasal Kompozisyon (%)		
Çözünmeyen kalıntı	71.11	68.74
SiO ₂	50.35	46.74
Fe ₂ O ₃	8.96	9.24
Al ₂ O ₃	12.18	14.42
CaO	11.7	13.36
MgO	4.18	5.26
SO ₃	2.68	6.00
Na ₂ O	3.0	2.13
K ₂ O	2.44	1.98
Kızdırma kaybı	0.33	0.54
Fiziksel özellikler		
Yoğunluğu (mg/m^3)	3.10	2.13
İncelik (cm^2/g)	3474	2692

2.1.3. Lif

Beton üretiminde kullanılan kancalı çelik ve düz cam liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri, üretici firmalardan alınmıştır. TS 10514 [20]'e önerilen; uzunluğu 60 mm, çapı 0,8 mm ve uzunluk/çap oranı 75 olan iki ucu kıvrılmış kancalı çelik lif (ÇL) kullanılmıştır. Liflerin teknik özellikleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Liflerin Teknik Özellikleri

Lif türü	Çap(μm)	Uzunluk (mm)	Özgül yüzey (m^2/kg)	Bağlı yoğunluk (mg/m^3)	Elastisite modülü (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
Cam	14	12	105	2.68	72 000	1 700
Çelik	800	60	-	7.5	200 000	850

2.1.4. Kimyasal katkı maddesi

Beton üretiminde naftalin sülfanat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi (SA) kullanılmıştır. Ön deneme karışımlarında, pompa betonu için çökme miktarını 150 mm olması hedeflenerek SA çimento ağırlığının %1,8 olarak belirlenmiştir. Bu oran, üretici firmanın önerdiği çimento ağırlığının %0,6 -3 limitleri arasındadır.

2.2. Yöntem

Beton karışım hesabı, TS 802[21]'ye göre yapılmıştır, karışım hesabında beton dayanım sınıfı C 25 olarak alınmıştır. Su/çimento oranı 0.53 olarak hesaplanmış, SA ile su/çimento oranı 0.45'e indirgenmiş ve bütün karışımlarda su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Beton üretiminde çimento ağırlığının % 15'i oranında uçucu kül çimento yerine kullanılmış ve Referans (R), Uçucu kül katkılı (UKB), Çelik lif katkılı (CB), Çelik+0.5 kg/m^3 cam lif katkılı (CC 1), Çelik+0.75 kg/m^3 cam lif katkılı (CC 2), Çelik+1.0 kg/m^3 cam lif katkılı (CC 3) ve Çelik+1.25 kg/m^3 cam lif katkılı (CC 4) karışımlar hazırlanmıştır.

Beton karışım hesabında mutlak hacim yöntemi esas alınmıştır. Taze betonun çökme deneyi, [TS EN 12350-2](#) [22]'ye göre yapılmıştır. Üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, TS EN 12390-3[23]'e, yarmada-çekme dayanımları, TS EN 12390-6 [24]'ya göre yapılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri deney gününe kadar $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kirece doymun su içinde bekletilmiştir.

3.1. Beton Üretimi

Beton bileşiminde yer alan malzeme miktarları, Tablo 5'te belirtilmiştir. Genel olarak karışıma giren cam lifi dışındaki bütün malzemeler aynıdır. Çökme miktarına beton üretiminde kullanılan uçucu kül, çelik lif ve cam lif birer etken olarak düşünülmüştür. Taze betonun çökme miktarı; R' de 150 mm, UKB' de 130 mm, CB'de 125 mm ve CC4'de 100 mm olduğu Tablo 5'te görülmektedir. R betonuna göre UKB betonun, işlenebilirliğinin azalmasının sebebi olarak, uçucu kül yoğunluğunun çimento yoğunluğundan az olmasından dolayı hacim olarak azaltılan çimento hacminden daha fazla hacimde uçucu külün karışıma girmesinden kaynaklandığı söylenebilir. Çelik lifli betona göre cam lifli beton kıyaslandığında cam lifin işlenebilirliği azalttığı görülmektedir. Bu azalmanın karışıma giren cam lifin hacim artışından kaynaklandığı söylenebilir.

3.2. Basınç Dayanımı

Üretilen beton numunelerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının, aritmetik ortalaması ve standart sapmaları Tablo 6'da verilmiştir. SA, betonun üç günlük dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. 3 günlük beton basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanımına oranı; R' da %92, UKB' da %90, CB' de %73, CC1' de %72, CC2'de %70, CC3'de %65, CC4'de %66 olarak gerçekleşmiştir. Karışımdaki lif miktarı arttıkça ilk günlerdeki dayanımın oran artışı azalmaktadır. 3 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, lifli betonların dayanımının lifsiz betonlara göre oldukça düşük değerlerde kaldığı görülmektedir.

7 günlük beton basınç dayanımının 28 günlük

Tablo 5. Beton bileşimine giren malzeme miktarları (1 m^3 için)

Beton türü	Çelik lif miktarı (kg)	Cam lif miktarı (kg)	Doğal kum (kg)	İnce kırma çakıl (4-8) (kg)	İri kırma çakıl (8-16) (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Uçucu Kül (kg)	Kimyasal katkı (kg)	Çökme (mm)
R	-	-	757	582	361	350	157	-	6.3	150
UKB	-	-	757	582	361	297.5	157	52.5	6.3	130
CB	30	-	757	582	361.	297.5	157	52.5	6.3	125
CC1	30	0.5	757	582	361	297.5	157	52.5	6.3	122
CC 2	30	0.75	757	582	361	297.5	157	52.5	6.3	120
CC 3	30	1.0	757	582	361	297.5	157	52.5	6.3	115
CC 4	30	1.25	757	582	361	297.5	157	52.5	6.3	100

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

basınç dayanımına oranı; R' da %97, UKB' da %97, CB' de %83, CC1'de %81, CC2'de %83, CC3'de %81, CC4'de %82 olarak gerçekleşmiştir. 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, lif oranına bağlı olarak dayanım artışının belirgin olduğu söylenemez.

Betonun 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında; R betonuna göre, UKB betonun basınç dayanımında %7'lik bir düşüş saptanmıştır. Betonda katkı maddesi olarak kullanılan uçucu küllerin ilk günlerdeki dayanımı düşürdüğü, 90 gün ve daha sonraki yaşlarda beton basınç dayanımını artırdığı bilinmektedir [3,5]. Dolayısıyla bu sonuç literatürle uyumludur. Uçucu küllü betona göre ise CB' da %24'lük bir dayanım artışı olduğu görülmektedir. CB'ye göre CC 1 betonda % 1.3'lük, CC 2'de %2.5'lük ve CC3' de %5'lik bir basınç dayanımı artışı gözlenirken, CC 4 betonunda CB' ye göre %2.8'lik bir dayanım düşüşü saptanmıştır. Karma lifli betonlarda cam lif miktarı arttıkça, dayanım artışının olduğu görülmektedir.

Şekil 1 incelendiğinde, 3 günde kırılan betonların basınç dayanımları lif oranı arttıkça azalmaktadır. 7 günlük betonlarda ise açık bir ilişki görülmemektedir. 28 günlük basınç dayanımı incelendiğinde lif oranı arttıkça basınç dayanımında CC 3 kadar artarken CC4'de ise azda olsa düşüş görülmektedir. CC3 betonunun 7 ve 28 günlük dayanımlarının diğer lif oranlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

3.3. Yarmada-Çekme Dayanımı

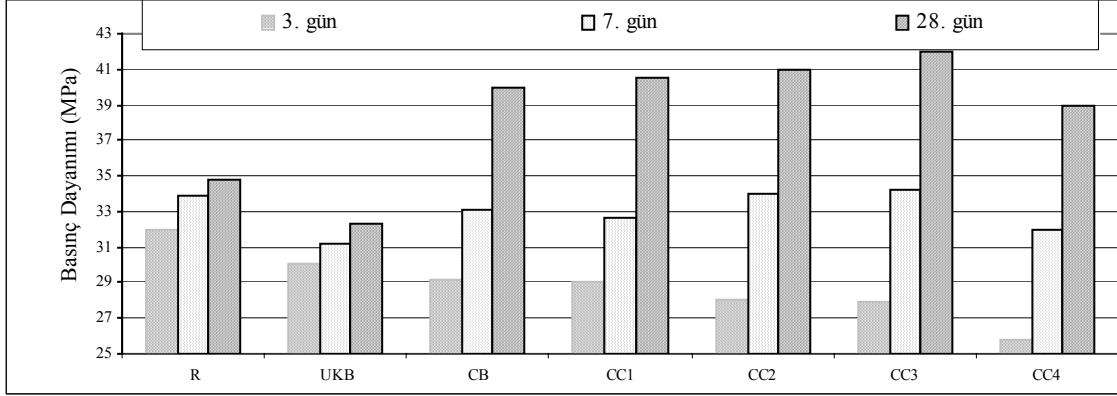
Üretilen beton numunelerin 3, 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımlarının, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 6'da görülmektedir. SA katkı maddesi betonun üç günlük yarmada-çekme dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. 3 günlük yarmada-çekme dayanımının 28 günlük yarmada-çekme dayanımına oranı; R' da % 79, UKB' da % 83, CB' de % 72, CC1'de % 75, CC2'de % 71, CC3'de % 67, CC4'de % 68 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar liflerin betonun yarmada-çekme dayanımına katkısının olumlu bir ifadesidir. Bu da literatürlere uygunluk göstermektedir [2, 5,6].

Betonun 28 günlük yarmada-çekme dayanımları karşılaştırıldığında; R betonuna göre UKB betonun yarmada-çekme dayanımında %5.3'lük azalma saptanmıştır. Betonda katkı maddesi olarak kullanılan uçucu küllerin ilk günlerdeki dayanımı düşürdüğü, 90 gün ve daha sonraki yaşlarda beton dayanımını artıracak beklenmektedir. Uçucu küllü betona göre ise CB' da %47.2'lik bir dayanım artışı olduğu görülmektedir. CB' ye göre CC1 ve CC2 betonlarının yarmada-çekme dayanımlarında %3.8, CC4' de ise %5.7 azalma gözlenirken, CC3 betonunda CB'ye göre %1.9'lük bir dayanım artışı saptanmıştır.

SA katkı maddesinin betonun 3 günlük yarmada-çekme dayanımını önemli ölçüde artırdığı saptanmıştır. R betonunda 3 günlük yarmada-çekme dayanımının 28

Tablo 6. Beton numunelerin mekanik özellikleri

Beton tipi	Beton yaşı (gün)	Basınç Dayanımı		Yarmada-Çekme Dayanımı	
		Ortalama (MPa)	Standart sapma (MPa)	Ortalama (MPa)	Standart sapma (MPa)
R	3	32.0	0.62	3.0	0.32
	7	33.9	0.33	3.5	0.44
	28	34.8	0.72	3.8	0.54
UKB	3	29.1	0.43	3.0	0.24
	7	31.2	0.79	3.2	0.33
	28	32.3	0.79	3.6	0.44
CB	3	29.2	0.47	3.8	0.03
	7	33.1	0.39	4.3	0.09
	28	40.0	0.34	5.2	0.17
CC1	3	29.0	0.69	3.8	0.08
	7	32.7	0.85	4.2	0.18
	28	40.5	0.95	5.2	0.19
CC2	3	28.6	0.80	3.6	0.15
	7	34.0	0.67	4.0	0.16
	28	41.0	0.41	5.2	0.12
CC3	3	27.4	0.67	3.6	0.05
	7	34.2	0.35	4.4	0.16
	28	42.0	0.93	5.4	0.17
CC4	3	25.8	0.46	3.4	0.136
	7	32.0	0.69	4.2	0.126
	28	38.9	0.75	5.0	0.055

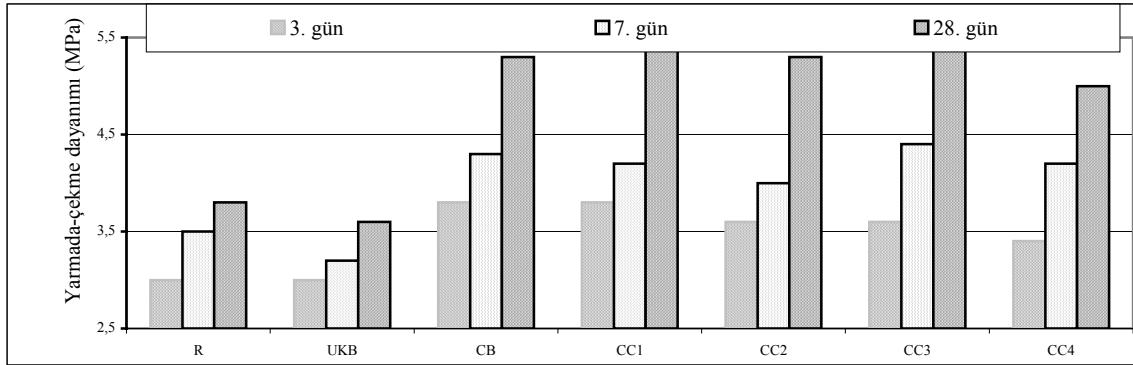


Şekil 1. Üretilen betonların basınç dayanımı –kırılma yaşı ilişkisi

günlük çekme dayanımına oranı %79 olarak gerçekleşmiştir. UKB betonda ise bu oran % 83 olarak gerçekleşmiştir. Lifli betonlarda, bu oranının azaldığı Tablo 6 incelendiğinde görülmektedir. Bu oran, CB betonunda % 72, CC1'de % 75, CC2'de % 71, CC3'de % 67, CC4'de % 69 olarak elde edilmiştir. Beton karışımında lif miktarı arttıkça ilk günlerdeki yarmada-çekme dayanımı oranları azalmaktadır. 7 günlük yarmada-çekme dayanımları ile 28 günlük dayanımlar karşılaştırıldığında, ilk 3 günde özelliğle paralellik gözlenmektedir.

Bu sonuçlar, çelik+cam lif karışımının betonun yarmada-çekme dayanımına olumlu bir etkisinin olduğu Şekil 2'de gözlemlenmektedir. Karma lif katkılı betonlarda, cam lif miktarı arttıkça dayanımda küçüğe olsa artma eğilimi saptanmıştır. CC 4'te azalma görülmekte ise de, cam lif katkısının betonun çekme dayanımını ç-

2. Uçucu külün, betonun basınç dayanımını referans betonuna göre düşürdüğü gözlenmiştir.
3. SA katkı maddesinin betonun 3 günlük dayanım değerlerini arttırdığı saptanmıştır.
4. Lif katkılı betonların 3 günlük basınç dayanım artışı, referans ve uçucu küllü betonlara göre düşük değerlerde gerçekleşmiştir. Ancak 7 ve 28 günlük dayanımlarda artış sağladığı görülmüştür.
5. Cam lifin, çelik lifle kullanılması durumunda beton basınç ve yarmada çekme dayanımına olumlu katkı sağladığı söylenebilir.
6. Üretilen betonlardan CC 3, en yüksek basınç (42 MPa) ve yarmada çekme (5.4 MPa)



Şekil 2. Üretilen betonların yarmada çekme dayanımı –kırılma yaşı ilişkisi

lik lif gibi artırdığı söylenemez. Bunun; cam liflerin ince ve düz olması sonucu, lif ile beton arasındaki aderansı artıracak etkiyi yeterince oluşturmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Cam lifi oranına bağlı olarak taze betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır.

dayanımlarını vermiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Arslan, A. ve Aydın, A. C., "Lifli betonların darbe etkisi altındaki genel özellikleri". Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, 1-30., Sabancı Center, İstanbul, 1999.
2. Arslan, A. ve Aydın, A. C., "Lifli betonların genel özellikleri". Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, 67-75, 1999.
3. Gani, M. S. J., "Fiber reinforced cement and concrete". Cement and Concrete, Chapman & Hall, 128-145, London, 1997.

4. Ünal, B., Köksal, F. Eyyubov, C., "Polipropilen ve çelik liflerin betonun donma-çözülme ve aşınma direncine ortak etkisi". 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim, 345-354, İstanbul, 2003.
5. Şimşek O., Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara, 2004.
6. Yaprak H., Beton Kaplamalı Kanallarda Malzeme Dayanıklılığını Artırma Olanakları. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 96 s, Ankara, 2002.
7. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. ACI Committee 544, American Concrete Institute, 66 p, 1997.
8. Ekincioglu, Ö., "Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışının incelenmesi". Sika Teknik Bülten, 10-11. 2002/3,
9. Halilov, S., Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Lifli Betonların Özellikleri. Doktora Tezi (Yayınlanmamış). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, Ankara, 2003.
10. Şimşek O. Sancak E., ve Erdal M., "Silis dumanının çelik lif ile birlikte kullanımının betonun özelliklerine etkisi" Gazi Üniversitesi Mimarlık – Mühendislik Fakültesi Dergisi (yayımda), Ankara, 2004.
11. Johnston, C. D., "Steel fibre reinforced mortar and concrete-A review of mechanical properties". Fiber Reinforced Concrete, SP-44, American Concrete Institute, 127-142, 1974.
12. Balaguru, P. N. and Shah, S. P., Fiber-Reinforced Cement Composites. McGraw-Hill, 523 p, 1992.
13. Şimşek O., İcik A., "Ankarada kullanılan beton bordür taşlarının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve alternatif beton bordür taşı üretimi". Endüstriyel Teknoloji Dergisi. Zonguldak K. Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Yıl 1. Sayı 2, 1-12, 1998, Karabük.
14. Vetrotex, Cem-FIL International. A Saint Gobain Company, 1-2, 2003, Madrid.
15. TS 3526, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini. TSE, Ankara, 1980.
16. TS 3527, Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini. TSE, Ankara, 1980.
17. TS EN 1367-1, Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler- Bölüm 1: Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini. TSE, Ankara, 2001.
18. TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar. TSE, Ankara, 2000.
19. TS 3530 EN 933-1, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu. TSE, Ankara, 1999.
20. TS 10514, Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları. TSE, 1992, Ankara.
21. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları. TSE, Ankara, 1985.
22. TS EN 12350-2, Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi. TSE, Ankara, 2002 .
23. TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara, 2003.
24. TS EN 12390-6, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara, 2002.