

# ÇELİK LİFLİ BETONLARIN DARBE DİRENCİNE AGREGA MAKSİMUM BOYUTUNUN ETKİSİ

Şemsi YAZICI, Güzde İNAN SEZER

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

Geliş Tarihi : 15.01.2008

Kabul Tarihi : 07.10.2008

## ÖZET

Bu çalışmada çelik lifli betonların darbe direncine, agrega maksimum dane boyutunun etkisi incelenmiştir. Çalışmada maksimum dane boyutu 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm olan kireç taşı kökenli kırma agrega kullanılarak, 8 farklı lifsiz-çelik lifli beton üretilmiştir. Üretilen lifli-lifsiz betonlarda; su/çimento oranı 0.50, çimento dozajı 400 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit tutulmuştur. Lifli betonlarda hacimce % 1.0 oranında, narınlığı 65 olan, iki ucu çengelli çelik lif kullanılmıştır. Üretilen betonlardan hazırlanan 150 mm ayrıtlı küp örnekler üzerinde, 28 günlük standart kür sonunda tek eksenli basınç, yarmada çekme ve ultra ses deneyleri yapılarak, betonların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında üretilen betonların darbe testleri ACI 544.3R-93 'ce önerilen darbe deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Darbe testleri için 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli örnekler hazırlanarak 28 gün kür edildikten sonra, çapı 150 mm yüksekliği 64 mm olacak şekilde kesilerek özel diskler hazırlanmış ve bu diskler üzerinde darbe testleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar lif varlığı ve agrega maksimum boyutunun değişimine bağlı olarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** *Darbe etkisi, Agrega maksimum dane boyutu, Çelik lifli beton, Mekanik özellikler.*

## THE EFFECT OF AGGREGATE MAXIMUM SIZE ON IMPACT RESISTANCE OF FIBER REINFORCED CONCRETE

### ABSTRACT

In this study, the effect of maximum size of aggregate on impact resistance of fiber reinforced concrete were investigated. Using crushed limestone aggregate with 10, 15, 20 and 25 mm of maximum size, 8 different normal-steel fiber reinforced concretes were produced. Water/cement ratio and cement dosage of concrete mixtures are 0.5 and 400 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Hooked-end bundled steel fibers with l/d ratio of 65 and 1.0% fiber volume were used in fiber concretes. After 28 days standard curing, compressive strength, split tensile strength and ultrasonic pulse velocity tests were performed on 150/150/150 mm cube specimens. Additionally, impact resistances of concrete specimens were determined using impact test apparatus described in ACI 544.3R-93. 150x300 mm cylinders were prepared for impact resistance tests. After 28 days curing, these specimens were cut and 150x64 mm special discs were prepared. Impact resistance test were performed on these special discs. Experimental results were evaluated corresponding to presence of steel fiber and aggregate maximum size.

**Key Words :** *Impact effect, Aggregate maximum size, Fiber reinforced concrete, Mechanical properties.*

## 1. GİRİŞ

Beton sahip olduğu özellikleri ile çağımızın vazgeçilmez, henüz alternatifi olmayan ve en yaygın

kullanılan taşıyıcı malzemelerinden biridir. Yaşadığımız çevredeki hemen hemen tüm ulaştırma, barınma, sosyal ihtiyaç ve alt yapı tesislerinin yapımında kullanılan temel malzeme betondur. Hızla nüfusu artan dünyada ve ülkemizde

önümüzdeki yıllarda da kullanımı, kolay ve basit yapılabilirliğiyle, ekonomikliğiyle, insan ve canlıların sağlığını tehdit etmemesiyle ve sahip olduğu teknik özellikleriyle kullanılmaya da devam edecektir.

Çelik lifler klasik betonun bazı özelliklerini geliştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak, betonda çelik lif kullanımı, klasik betonun çekme, eğilme, darbe, yorulma ve aşınma dayanımları, deformasyon kapasitesi, çatlak sonrası yük taşıma özelliği ve tokluk gibi özelliklerini önemli derecede geliştirmektedir. Geleneksel betona ilave edilen çamı, sentetik, karbon, çelik vb. liflerin en büyük etkisi betonda oluşan çatlakların gelişimini engellemesidir. Bu sayede beton yapısında oluşan içsel gerilmelerin beton tarafından karşılanamamasından dolayı meydana gelen mikro ölçekteki çatlakların genişlemesi ve ilerlemesi, lifler tarafından sağlanan gerilme transferi ile önlenmiş olmaktadır. Lifler çimento hamuru fazında oluşan gerilmelerin bir kısmını miktarlarına ve geometrik şekillerine bağlı olarak kendileri taşır, diğer kısmını da matrisin sağlam bölgelerine aktarırlar. Lifli betonun gerilme altında gösterdiği bu davranış, lifli betonu geleneksel betona kıyasla üstün kılmaktadır (Bentur ve Mindness, 1990; Mobasher ve Li, 1996; Gao v.d., 1997; Zollo, 1997; ACI 544.3R-93, 1998; Otter ve Naaman, 1988; Qian ve Stroeven, 2000; Song and Hwang, 2004; Song v.d., 2005).

Darbe ve patlayıcı madde tesirine maruz yapı ve yapı elemanlarının (su yapıları, kazıklar, endüstriyel döşemeler, depolama saha betonları, askeri amaçlı yapılar, demiryolu traversleri, hava alanı pistleri v.b.) oluşturulmasında kullanılan kompozit elemanlarda aranan en önemli özelliklerden biri de darbe etkisine karşı dirençtir. Klasik betonun darbe etkisine ve darbeli yüklere karşı direnci oldukça yetersizdir ve betonda darbe etkisi ile oluşan çatlaklar kontrolsüz olarak gelişmektedir. Bunun sonucunda beton dayanım ve dayanıklılık açısından kayba uğrayarak kendinden beklenen performansı yerine getirememektedir.

Çelik lifli betonların darbeli yükler altındaki davranışı değişik araştırmacılar tarafından değişik test yöntemleri ile ele alınmıştır. Bu testlerden birisi de basit, ucuz ve uygulanması kolay olan ağırlık düşürme testidir (Balasubramanian v.d., 1996, Marar v.d., 2001, Nataraja v.d., 1999, Wimal ve Shah, 1982). Bu testlerde sabit bir ağırlık sabit bir yükseklikten ardışık olarak hazırlanan beton örnek üzerine düşürülerek ilk çatlağı ve kırılmayı oluşturan darbe sayıları belirlenir. Belirlenen bu darbe sayıları kullanılarak darbe etkisini yaratan enerjiler hesaplanır. Ağırlık düşürme testlerinden elde edilen sonuçlar lifli betonlar ile lifsiz betonların darbe

etkisindeki davranışlarını karşılaştırma açısından pratik faydalar sağlamakta ve darbe tesirine maruz yapılarda kullanılacak betonların tasarımında ve üretiminde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada agrega maksimum tane boyutunun çelik lifli betonların darbe direncine etkisi incelenmek amaçlanmış ve bu kapsamda çimento dozajı, su/çimento oranı sabit tutularak 8 farklı (4 çelik lifli ve 4 lifsiz) beton üretilmiştir. Dört farklı agrega maksimum tane boyutu (10, 15, 20 ve 25 mm) ile çalışılmıştır. Üretilen bu betonlardan toplam 72 adet örnek hazırlanmış ve hazırlanan örnekler 28 gün standart koşullarda kür edilmiştir. Çelik lifli ve lifsiz betonlardan hazırlanan örnekler üzerinde tek eksenli basınç deneyi, yarmada çekme deneyi, ultra ses hızı ölçümü ve ağırlık düşürme suretiyle darbe testleri gerçekleştirilmiştir.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2. 1. Malzemeler

Bu çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak özgül ağırlığı 3.13, Blaine değeri 367 m<sup>2</sup>/kg ve C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A ve C<sub>4</sub>AF değerleri sırasıyla 61.0, 8.82, 7.57, 10.68 olan CEM I 42.5 R tip çimento kullanılmıştır. Çimento İzmir yöresindeki bir fabrikadan torbalar halinde temin edilmiştir.

Üretilen betonlarda, ince agrega olarak 0-5 mm boyutlu kırma kireçtaşı kökenli agrega, iri agrega olarak ise maksimum tane boyutu 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm olan kırma kireç taşı kaba agrega kullanılmıştır. Agregalar yerel ocaklardan özel siparişle 0-5 mm, 5-10 mm, 5-15 mm, 5-20 mm ve 5-25 mm dağılıma sahip olacak şekilde gruplara ayrılmış olarak temin edilmiştir. Kaba ve ince agreganın elek analizi deney sonuçları ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Tüm lifli ve lifsiz betonlarda kullanılacak agreganın karışım kompozisyonu ağırlıkça ince agrega % 55 + iri agrega % 45 olacak şekilde seçilmiştir.

Deneysel çalışmalarda lifli betonlarda; hacimce % 1 oranında, l/d oranı 65, çekme dayanımı 1000 MPa olan soğuk şekillendirilmiş, iki ucu kancalı, düşük karbonlu ve yüksek çekme dayanımlı çelik lif kullanılmıştır. Karışımlarda su/çimento oranının düşük olması ve karışıma çelik lif ilavesi ile zorlaşan işlenebilirliği arttırmak amacıyla super akışkanlaştırıcı katkı (SP) kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan katkı miktarı tüm lifli ve lifsiz betonlarda çimento ağırlığının % 1'i oranındadır.

Tablo 1. Kırma kireçtaşı kaba - ince agregaların tane dağılımları ve bazı fiziksel özellikleri.

Kırma kireçtaşı kaba agreganın özellikleri							
Elek açıklığı (mm)	Elekten geçen (%)						
	(5-10 mm)	(5-15 mm)	(5-20mm)	(5-25mm)			
31.5	100	100	100	100			
16	100	100	81	89			
8	83	38	42	37			
4	10	5	4	6			
2	0	2	0	0			
1	0	0	0	0			
Fiziksel Özellikler							
Özgül ağırlık, (k)	2,661	2,666	2,635	2,64			
Özgül ağırlık,(ykd)	2,692	2,681	2,648	2,635			
Su emme, (%)	0,72	0,63	0,56	0,59			
Kırma ince agreganın özellikleri							
Elek açıklığı (mm)	8	4	2	1	0,5	0,25	Elek altı
Elekten geçen, (%)	100	94	72	45	28	14	0
Fiziksel Özellikler							
Özgül ağırlık, (k)	2,58						
Özgül ağırlık,(ykd)	2,61						
Su emme, (%)	1,18						

## 2. 2. Beton Karışımlarının Hazırlanması ve Üretimi

Çalışmada; çimento dozajı  $400 \text{ kg/m}^3$ , su/çimento oranı 0,50 olan 4 adet lifsiz, 4 adet çelik lifli olmak üzere toplam 8 adet beton tasarlanmıştır. Beton karışım hesapları TS 802'ye uygun olarak yapılmıştır. Çelik lifli beton karışım hesaplarında çelik lifler, hacimce agreganın yerine kullanılarak hesaplara dahil edilmiştir Kimyasal katkı miktarı ise hacim hesabına dahil edilmemiştir. Üretilen betonların karışım oranları Tablo 2'de sunulmuştur. Tabloda verilen değerler düzeltilmiş gerçek değerlerdir. Ayrıca sunulan tabloda üretilen

betonların birim ağırlık, çökme ve hava içerikleri de verilmiştir. Beton üretiminde, laboratuvar tipi düşey eksenli 65 lt kapasiteli betoniyer kullanılmıştır. Betoniyere önce agregalar konularak yaklaşık 2 dakika, daha sonra çimento ilavesiyle agrega-çimento karışımı yine yaklaşık 2 dakika karıştırılmıştır. Çelik lifler, agrega-çimento karışımına kuru olarak katılmış ve bu şekilde yaklaşık olarak homojen bir karışım elde edilene kadar 2 dakika karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karışım suyu, akışkanlaştırıcı ile betoniyere en son ilave edilmiş ve ıslak karışım yaklaşık olarak 3 dakika homojen olarak karıştırılmıştır. Bu işlem tüm betonlarda aynı şekilde uygulanmaya çalışılmıştır.

Tablo 2. Üretilen betonlarda  $1 \text{ m}^3$  beton için gerekli malzeme miktarları.

Beton kodu	Çimento (kg)	Su (lt)	Agrega (kg) <sup>1</sup>					Çelik lif (kg)	SP <sup>2</sup> (kg)	BHA (kg/m <sup>3</sup> )	Çökme (mm)	Hava içeriği (%)
			(0-5) mm	(5-10) mm	(5-15) mm	(5-20) mm	(5-25) mm					
K10B	395	198	931	785	0	0	0	0	4,0	2312	110	1.8
K10LB	391	196	907	766	0	0	0	76,4	3,9	2341	98	2.7
K15B	392	196	924	0	776	0	0	0	3,9	2293	115	1.9
K15LB	375	188	870	0	731	0	0	73,3	3,8	2241	95	2.6
K20B	395	198	931	0	0	773	0	0	4,0	2299	113	2.1
K20LB	391	195	906	0	0	752	0	76,3	3,9	2324	91	3.1
K25B	394	197	927	0	0	0	766	0	3,9	2287	116	1.9
K25LB	389	195	902	0	0	0	745	76,0	3,9	2311	93	2.9

1. Kuru yüzey doygun konumda; 2. süper akışkanlaştırıcı.

### 2. 3. Numunelerin Dökümü, Yerleştirme İşlemi ve Kürü

Bu çalışma kapsamında 2 farklı boyutta beton örnek hazırlanmıştır. Bu örnekler 150 mm ayrıtlı küp ve 150/300 mm boyutlu silindirdir. Üretilen betonların kalıplara yerleştirilme işlemi, küp numunelerde iki katman halinde, silindirik numunelerde ise üç katman halinde yapılmıştır. Betonun sıkıştırılmasında 16 mm çapında 50 cm uzunluğunda standart şişleme çubuğu kullanılmış, küp ve silindirik numuneler her katmanda 25 defa şişleme işlemine tabi tutulmuştur. Tüm beton numuneler; döküm işlemlerinden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılıp standart kür süresi olan 28 gün boyunca ortalama 20 °C 'deki kür havuzlarında su içerisinde muhafaza edilmiştir. Tek eksenli basınç, yarmada çekme ve ultra ses deneyine tabi tutulacak örnekler 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılıp 2-3 saat sonra teste tabi tutulmuştur. Darbe testine tabi tutulacak numuneler ise 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılıp istenilen boyutta kesme makinesinde kesildikten sonra test edilmiştir.

### 2. 4. Öngörülen Deneyler

Çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve çelik lifli betonlardan hazırlanan örnekler üzerinde, tek eksenli basınç, yarmada çekme, ultra ses ve darbe deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan örneklerin tip ve sayıları Tablo 3'de verilmiştir. Tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneylerinde

yükleme hızı 3.5 kN/s olan 200 ton kapasiteli hidrolik pres kullanılmıştır. Tek eksenli basınç deneyi TS EN 12390-3, yarmada çekme deneyi ise TS EN 12390-6 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Basınç ve yarmada çekme deneylerinde her seri betonun 28 günlük yaşa sahip 150 mm ayrıtlı 3 'er adet küp örnek test edilmiştir. Tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneyine tabi tutulan her seriden 6 adet 28 günlük yaşa sahip 150 mm küp örnek üzerinde bu deneyler yapılmadan önce ultra ses dalga hızı okumaları da ASTM C 597'ye uygun olarak yapılmıştır. Numunelerdeki okumalar, döküm yönüne dik ve numunenin düzgün yüzeylerinde yapılmıştır. Örnekler üzerinde okumalar yapılmadan önce, ultra ses test cihazı kalibrasyon çubuğu ile kalibre edilmiştir. Darbe deneyleri, Şekil 1a'da görülen ACI Committee 544'ün önerdiği darbe test düzeneği yardımıyla yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi; bu düzende 4.47 kilogramlık kütle örnek üzerine yerleştirilmiş 64 mm çaplı çelik bir kürenin üzerine 45.7 cm yükseklikten ardışık olarak düşürülmektedir. Darbe etkisine maruz bırakılan beton örnekler; çalışmada üretilen betonlardan hazırlanmış 28 günlük yaşa sahip 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli silindirik örneklerin 150 mm çap ve 64 mm yükseklikte taş kesme makinesinde kesilmesinden elde edilmiştir (Şekil 1b). Yapılan deneyde önerilen ağırlık ardışık olarak test edilen örnek üzerine noktasal olarak düşürülmüş ve örnek yüzeyi gözle kontrol edilerek ilk çatlak oluşturan darbe ve nihai kırılma oluşturan darbe sayıları belirlenmiştir.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan örneklerin tip ve sayıları.

Deney adı	Örnek boyutu (mm)	Örnek tipi	Örnek sayısı	Beton tipi sayısı	Toplam örnek sayısı
Tek Eksenli Basınç Deneyi	150/150/150	Küp	3	8	24
Yarmada Çekme Deneyi	150/150/150	Küp	3	8	24
Ultra Ses Deneyi	150/150/150	Küp	6*	8	48
Kırılma Darbe İşi Tespiti İçin	150/64	Silindir	3	8	24
İlk Çatlak Darbe İşi Tespiti İçin	150/64	Silindir	3	8	24

\*Basınç ve yarmada çekme deney numuneleri üzerinde uygulanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1. a) Darbe deney düzeneği ve b) Deney örnekleri.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Agrega Maksimum Boyutunun Etkisi

Hazırlanan betonların mekanik ve dinamik deney sonuçları Tablo 4’de toplu olarak verilmiştir. Ayrıca, agrega maksimum boyutuna bağlı olarak basınç, yarmada çelme, ultra ses ile ilk çatlak ve kırılma darbe sayılarındaki rölatif değişimler Şekil 2-6’da grafiksel olarak gösterilmiştir. Tablodaki darbe deney sonuçları; aynı 150/300 mm silidir örneklerden kesilerek elde edilmiş 150/64 mm’lik 3 adet diskten elde edilen sonuçların ortalaması olarak verilmiştir.

Tablo 4’deki sonuçlar incelendiğinde; basınç dayanımlarının lifsiz betonlarda 33.7 – 36.3 MPa arasında, lifli betonlarda ise 35.7 ile 37.7 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 2’de görüleceği üzere, üretilen lifli ve lifsiz betonlarda agrega maksimum boyutu 10 mm ‘den 25 mm ‘ye çıktığında basınç dayanımı değerlerinin düştüğü anlaşılmaktadır.  $d_{max}=10$  mm olan betonun basınç dayanımına kıyasla; lifsiz betonlarda basınç dayanımlarındaki düşüşler;  $d_{max}=15$  mm olan betonda % 2,  $d_{max}=20$  mm olan betonda % 4,  $d_{max}=25$  mm olan betonda % 7 mertebesinde, lifli betonlarda ise;  $d_{max}=15$  mm olan betonda % 1,  $d_{max}=20$  mm olan betonda % 2,  $d_{max}=25$  mm olan betonda % 5 mertebesinde olmuştur.

Tablo 4. Üretilen betonların mekanik ve dinamik deney sonuçları.

Beton kodu	Örnek	Basınç dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Ultras hızı (m/s)	Gözle gözlenen ilk çatlak darbe sayısı	Kırılma darbe sayısı
K25B	1	32.2	3.42	4402	25	33
	2	33.9	3.75	4456	36	39
	3	35.1	3.53	4445	28	30
	Ort.	33.7	3.57	4434	30	34
K25LB	1	36.3	3.89	4368	232	292
	2	35.1	4.06	4396	245	312
	3	35,7	3.77	4388	228	315
	Ort.	35,7	3.91	4384	235	306
K20B	1	34.8	3.69	4438	28	33
	2	34.2	3.55	4463	34	37
	3	35.5	3.79	4466	39	42
	Ort.	34.8	3.68	4456	34	37
K20LB	1	37.1	4.10	4386	241	305
	2	37.3	4.01	4391	230	300
	3	36.0	4.31	4379	257	341
	Ort.	36.8	4.14	4385	243	315
K15B	1	33.7	3.83	4456	34	35
	2	35.9	3.68	4489	38	43
	3	36.6	4.08	4496	32	35
	Ort.	35.4	3.86	4480	35	38
K15LB	1	36,9	4,36	4436	242	302
	2	38.1	4.07	4404	229	326
	3	36.7	4.26	4448	259	322
	Ort.	37.2	4.23	4429	243	317
K10B	1	37.1	4.06	4466	39	43
	2	35.3	3.96	4471	32	35
	3	36.5	3.68	4493	41	44
	Ort.	36.3	3.90	4477	37	41
K10LB	1	37.2	4.16	4409	236	312
	2	38.2	4.21	4431	251	308
	3	37.6	4.46	4443	256	342
	Ort.	37.7	4.28	4428	248	321

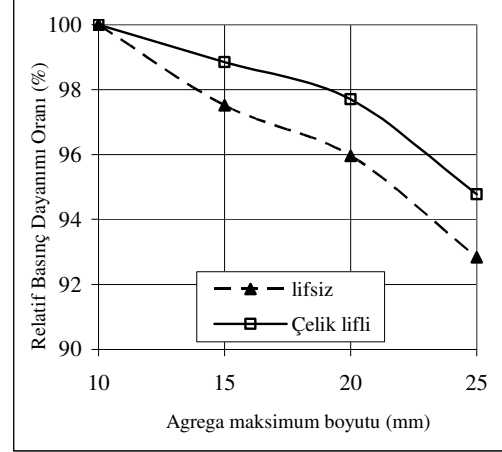
Yarmada çekme dayanımlarının lifsiz betonlarda 3.57 – 3.90 MPa arasında, lifli betonlarda ise 3.91 ile 4.28 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 3’deki grafikten görüleceği gibi; üretilen lifli ve lifsiz betonlarda agrega maksimum boyutu 10 mm’den 25 mm’ye yükseldiğinde yarmada çekme dayanımı değerlerinin düştüğü anlaşılmaktadır.  $d_{max}=10$  mm olan betonun yarmada çekme dayanımına kıyasla; lifsiz betonlarda yarmada çekme dayanımlarındaki düşüşler;  $d_{max}=15$  mm olan betonda %1,  $d_{max}=20$  mm olan betonda %6,  $d_{max}=25$  mm olan betonda %8 mertebesinde, lifli betonlarda ise;  $d_{max}=15$  mm olan betonda %1,  $d_{max}=20$  mm olan betonda %3,  $d_{max}=25$  mm olan betonda %9 mertebesinde olmuştur.

Çalışma kapsamında üretilen betonlar üzerinde yapılan ultra ses deneyleri neticesinde; agrega maksimum tane boyutundaki değişimin üretilen lifsiz ve lifli betonlarda ultrases hızlarına kayda değer bir etkisinin olmadığı Şekil 4’deki grafikten açıkça görülmektedir.

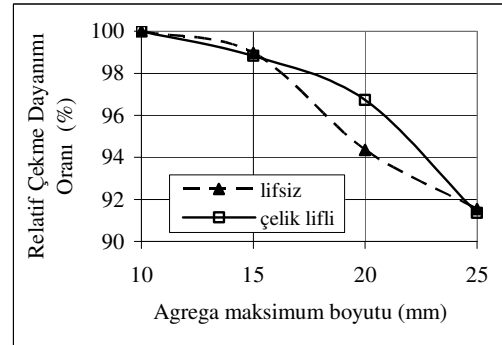
Üretilen betonlardan hazırlanan 64 mm yükseklikli 150 mm çaplı örneklerde ağırlık düşürmek suretiyle yapılan noktasal darbe testlerinde; betonlarda darbe tesiri ile gözle gözlenen ilk çatlak lifsiz betonlarda 30-37 darbe sonucunda, lifli betonlarda ise 235-248 darbe sonucunda oluştuğu görülmektedir. Basınç ve yarmada çekme dayanımlarında olduğu gibi lifli ve lifsiz betonlarda ilk çatlak oluşturan darbe sayılarının agrega maksimum boyutu büyüdükçe düştüğü Şekil 5’deki grafikten görülmektedir. İlk çatlak için gerekli darbe sayılarındaki düşüş; lifsiz betonlarda maksimum dane boyutu 10 mm olan agrega kullanılarak üretilen betondaki değere kıyasla %19’a, lifli betonlarda ise %5’e kadar varmaktadır. İlk çatlak oluşturan darbe sayılarında en hızlı düşüş  $d_{max}=20$  mm’den  $d_{max}=25$  mm’ye geçişte (rölatif olarak lifsiz betonlarda %11, lifli betonlarda ise %3 mertebesinde) oluşmaktadır.

Üzerinde çalışılan betonlardan hazırlanan 64 mm yükseklikli 150 mm çaplı örneklerde ağırlık düşürmek suretiyle yapılan noktasal darbe testlerinde, betonlarda kırılmaya sebep olan darbe sayıları; lifsiz betonlarda 34-41, lifli betonlarda ise 306-321 darbe sonucunda oluştuğu görülmektedir. Basınç ve yarmada çekme dayanımları ile ilk çatlak oluşturan darbe sayılarında olduğu gibi, lifli ve lifsiz betonlarda kırılmaya sebep olan darbe sayılarının agrega maksimum boyutu büyüdükçe düştüğü Şekil 6’deki grafikten anlaşılmaktadır. Kırılma oluşturan darbe sayılarındaki düşüş; lifsiz betonlarda maksimum tane boyutu 10 mm olan agrega kullanılarak üretilen betondaki değere kıyasla %17’ye, lifli betonlarda ise %5’e kadar

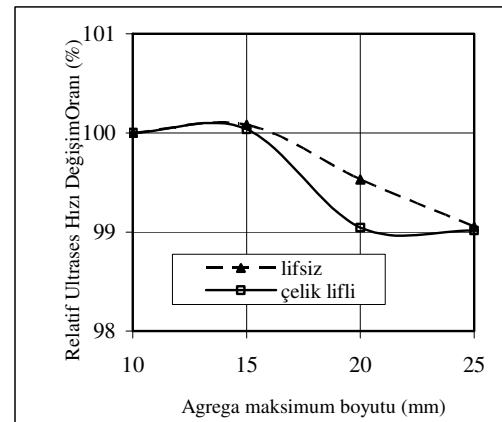
varmaktadır. Kırılmaya sebep olan darbe sayılarında yine en fazla düşüş  $d_{max}=20$  mm’den  $d_{max}=25$  mm’ye geçişte (rölatif olarak lifsiz betonlarda %7, lifli betonlarda ise %3 mertebesinde) olmuştur.



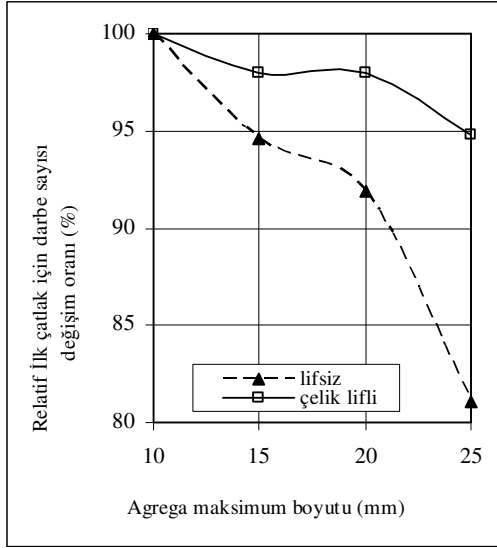
Şekil 2. Betonlarda basınç dayanımı değişimleri.



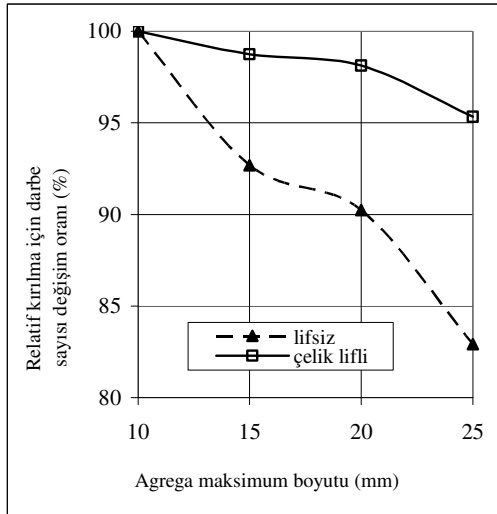
Şekil 3. Betonlarda çekme dayanımı değişimleri.



Şekil 4. Betonlarda ultra ses hızı değişimleri.



Şekil 5. Betonlarda ilk çatlak oluşturan darbe sayılarının değişimleri.



Şekil 6. Betonlarda kırılma oluşturan darbe sayılarının değişimleri.

Çalışmada üretilen betonlarda kullanılan kırma kireç taşı kaba agreganın maksimum dane boyutunun artmasına bağlı olarak üretilen lifli ve lifsiz betonlarda; basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ilk çatlak darbe ve kırılma oluşturan darbe sayılarındaki düşüşlerin nedenleri aşağıdaki gibi yorumlanmıştır.

- a) Agregâ maksimum tane boyutunun artması neticesinde iri agregaların özgül yüzeyi azalmakta, agregaları ıslatmak için gerekli olan su miktarı düşmekte ve bunun sonucunda da harç fazının su/çimento oranı

artmaktadır. Su/çimento oranının büyümesi de basınç ve çekme dayanımlarını düşürmektedir.

- b) Agregâ maksimum tane boyutunun büyümesi neticesinde iri agregaların özgül yüzeyinde azalma olmakta ve bunun sonucunda iri agregâ ile harç fazı arasında daha düşük aderans oluşmakta basınç ve çekme dayanımı düşmektedir.
- c) Agregâ maksimum tane boyutunun azalması ile harç fazı tarafından sarılan iri agregâ sayısı artmaktadır. Bunun sonucunda harç fazındaki hacim değişimleri kısıtlanmakta, harçta daha az gerilme yığılması oluşmaktadır. Bu da harçtaki mikro çatlakları azaltmaktadır. Bu mikro çatlak azalması basınç ve çekme dayanımlarında artış olarak kendini göstermektedir. Literatürdeki bir çalışmada da (Al-Oraimi v.d., 2006) benzer yorum yapılmıştır. Ayrıca, yapılan başka bir çalışmadan (Akçaoğlu v.d., 2004) elde edilen sonuçlar, agregâ maksimum boyutunun artmasına bağlı olarak çekme dayanımının düştüğü bulgumuzu da desteklemektedir.
- d) Ayrıca, agregâ maksimum boyutunun artmasına bağlı olarak iri agregâ taneleri altındaki cep oluşumu ve bunu sonucunda agregâ ile hamur arasındaki aderans zayıflamaktadır. Çalışmadaki agregâ maksimum dane çapı aralıkları göz önüne alındığında, agregâ maksimum boyutu büyüdükçe dayanımlar az da olsa olumsuz etkilenebilir (Erdoğan, 2003).

### 3. 1. Çelik Lifin Etkisi

Lif narinliği 65 olan % 1 oranında çelik lif kullanımı; aynı karışıma sahip lifsiz betonlara kıyasla basınç ve yarmada çekme dayanımlarını olumlu olarak etkilemiş ve artışlara sebep olmuştur. Tablo 4'deki sonuçlara, Şekil 2 ve Şekil 3'deki grafiklere göre, çelik lif kullanımı basınç dayanımlarını; lifsiz betonlarınkine kıyasla % 4 ile % 6 arasında, yarmada çekme dayanımlarını ise, % 9 ile % 13 arasında değişen değerlerde artırmıştır.

Çalışma kapsamında üretilen betonlar üzerinde yapılan ultra ses deneylerinde çelik lif kullanımı betonlarda ultra ses hızlarını az da olsa (maksimum % 2 mertebesinde) düşürmüştür. Betonda çelik lif kullanımı, ses dalgalarının betonun bir yüzünden diğer yüzüne geçişi sırasında kat edeceği yolu arttıracığından, ultrases hızı düşmektedir.

Yine Tablo 4'deki sonuçlar, Şekil 5 ve Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde; lifsiz betonlara kıyasla, çelik lif kullanımı ile üretilen betonlarda gözle gözlenen ilk çatlağın oluştuğu darbe sayılarında yaklaşık olarak 6.6 ile 7.9 kat arasında, kırılma oluşturan darbe sayılarında ise 7.8 ile 9 kat arasında değişen değerlerde artış görülmüştür.

Çalışmada üretilen betonlarda çelik lif kullanımı ile elde edilen bu olumlu sonuçlar; çelik liflerin betonda, iri agregaya ile harç fazı arasındaki geçiş bölgesinde oluşan çatlakları etkin olarak sınırlaması ve bunun sonucunda üretilen lifli betonların darbe direncini yükseltmesiyle açıklanmaktadır. Ayrıca, yapılan bu çalışmada olduğu gibi, çelik liflerin betonun özellikle çekme dayanımını ve darbe direncini artırdığını ifade eden çok sayıda araştırmaya da literatürde rastlanmaktadır (Mindess ve Yan, 1992; Arslan, 1993; Arslan ve Aydın, 1999; Nataraja vd., 1999; Marar vd., 2001; Özyurt v.d., 2002; Yıldırım, 2003; Song and Hwang, 2004; Tabak, 2004).

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda; agregaya maksimum tane çapının çelik lifli ve lifsiz betonların özelliklerine olan etkisi ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Agregaya maksimum tane boyutunun betonun basınç ve yarmada çekme dayanımları ile gözle tespit edilen ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayıları üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
2. Su/çimento oranı sabit olmak koşuluyla maksimum agregaya çapı arttıkça araştırılan mekanik ve darbe özelliklerinin düştüğü görülmüştür.
3. Hacimce %1 oranında narinliği 65 olan çelik lif kullanımı; üretilen lifli betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları ile özellikle gözle tespit edilen ilk çatlak ve kırılma oluşturan darbe sayılarını olumlu etkilerken, beklendiği gibi ultra ses hızını düşürdüğü anlaşılmıştır.
4. Çalışmada üretilen betonlar ve araştırılan özellikler için, narinliği 65 olan hacimce % 1 oranında çelik lif kullanımı ile iyi bir performans elde edilmesi için, betonda kullanılan iri agregada maksimum boyutunun 20 mm'nin üzerine çıkarılmaması önerilmektedir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Çalışma, TÜBİTAK tarafından hızlı destek projesi olarak desteklenmiştir. Çalışmaya sağlanan maddi destekten dolayı TÜBİTAK'a, çalışmanın yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde verdiği katkıdan dolayı ayrıca Sn. Prof. Dr. Kambiz RAMYAR'a da teşekkür ederiz.

#### 6. KAYNAKLAR

ACI Committe 544.3R-93 1998. "Guide for Specifying, Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Report.

Akçaoğlu, T., Tokyay, M. and Çelik T. 2004. Effect of coarse aggregate size and matrix quality on ITZ and failure behaviour of concrete under uniaxial compression. *Cement and Concrete Composites*. (6), 633-638.

Al-Oraimi, S.K., Taha, R. and Hassan H.F. 2006. The effect of the mineralogy of coarse aggregate on the mechanical properties of high strength concrete. *Construction and Building Materials*. (7), 499-503.

Arslan, A. 1993. Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*. 369, 29-33.

Arslan, A. ve Aydın, A.C. 1999. Lifli Betonların Genel Özellikleri. *Hazır Beton Dergisi*. (36), 67-75.

Balasubramanian, K., Bharatkumar, B.H., Gopalakrishnan S. and Parameswaran V.S. 1996. Impact resistance of steel fiber reinforced concrete. *Indian Concrete Journal*. (5), 257-262.

Bentur, A. and Mindess, S. 1990. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. Elsevier Applied Science, London and Newyork.

Erdoğan, T. Y. 2003. *Beton*, METU Press, Ankara.

Gao J., Sun W. and Morino K. 1997. Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced, High-Strength, Lightweight Concrete. *Cement and Concrete Composites*. (4), 307-313.

Marar, K, Eren, Ö. and Çelik, T. 2001. Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber-reinforced concrete. *Materials Letters*. (4), 297-304.



- Mobasher, B. and Li, C.Y. 1996. Effect of Interfacial Properties on The Crack Propagation in Cementitious Composites. *Advanced Cement Based Materials*. (4), 93-105.
- Mindess, S. and Yan, C. 1992. Bond of Reinforcing Bars in Fiber Reinforced Concrete Under Impact Loading, *Performance Fiber Reinforced Cement Composites*. ed: Reinhardt H.W. and Naaman A.E., London. pp. 479-491.
- Nataraja, M.C., Dhang, N. and Gupta, A.P. 1999. Statistical Variations in Impact Resistance of Steel-Reinforced Concrete Subjected to Drop Weight Test. *Cement and Concrete Research*. (7), 989-995.
- Otter, D.E. and Naaman, A.E. 1988. Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete under Cyclic Loading. *ACI Materials Journal*. (4), 254-261.
- Özyurt, N., İlki A., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A. and Yerlikaya, M. 2002. "Mechanical Behavior of High Strength Steel Fiber Reinforced Concretes with Various Steel Fiber Contents" Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, ITU, September 2002. İstanbul, 885.
- Qian, C.X. and Stroeven, P. 2000. Development of Hyprit Polypropylen-Steel Fibers Reinforced Concrete. *Cement and Concrete Research*. (1), 63-69.
- Song, P.S. and Hwang, S. 2004. Mechanical Properties of High-strength Steel Fiber-reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*. (9), 669-673.
- Song, P.S., Wu, J.C., Hwang, S. and Sheu, B.C. 2005. Statistical Analysis of Impact Strength and Strength Reliability of Steel-polypropylene Hybrid Fiber-reinforced Concrete. *Construction and Building Materials*. (1), 1-9.
- Tabak, V. 2004. Çelik Lifli Betonlarda lif ve lif boy/çap oranlarının değişiminin betonun mekanik özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi, DEÜ*. s. 134.
- Wimal, S. and Shah, S.P. 1982. Strain-rate effects in fibre-reinforced concrete subjected to impact and impulsive loading. *Composites*. (2), 153-159.
- Yıldırım, S.T. 2003. Lifli Betonlarda Yorulma Tesirlerinin Araştırılması. *Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kocaeli 2003*. s. 294.
- Zollo, R. F. 1997. Fiber-reinforced Concrete: an Overwier After 30 Years of Development. *Cement and Concrete Composites*. (2), 107-122.