

Çelik lif boyu ve kullanım oranının çelik lifli betonun özelliklerine etkisi

Şemsi Yazıcı

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

Özet

Bu çalışmada; değişik oranlarda kısa ve uzun çelik kullanımının betonun özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada bu amaçla s/ç oranı 0.50 olan betonlarda uzunlukları 40 mm ve 60 mm olan 0.75 mm çaplı (l/d oranı 40 ve 60) çelik lifler kullanılmıştır. Çelik lifler betonlara hacimce % 0, % 0.5, % 0.75 ve % 1 oranlarında katılmıştır. Bu şekilde 1 kontrol + 6 çelik lifli olmak üzere toplam 7 farklı beton üretilmiştir. Üretilen betonlar üzerinde slump, ters slump, birim ağırlık, tek eksenli basınç, yarmada çekme, darbe deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kısa ve uzun çelik liflerin üretilen betonların özelliklerine etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Beton, çelik lif, mekanik özellikler

Effect of steel fiber length and usage ratio on properties of steel fiber concrete

Şemsi Yazıcı

Ege University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, 35100, Bornova, İzmir, TURKEY

Abstract

In this study; the effect of short and long steel fiber on the properties of concrete was investigated in different ratios. For this purpose, steel fiber with a diameter of 0.75 mm with lengths of 40 mm and 60 mm (l/d ratio of 40 and 60) were used in concretes with a water/cement ratio of 0.50. The steel fibers were added to the concrete in 0%, 0.5%, 0.75% and 1% by volume. In this way, 7 concretes (1 control concrete + 6 steel fiber concrete) were produced. Slump, inverted slump, unit weight, uniaxial compressive strength, split tensile strength, impact tests were performed on the produced concrete. As a result of these tests, the effects of short and long steel fibers on the properties of produced concrete were evaluated.

Key words: Concrete, steel fiber, mechanical properties

1. Giriş

Beton, günümüzde inşaatlarda en yaygın kullanılan taşıyıcı malzemelerden biridir. Betonun yaygın olarak kullanılmasının sebepleri arasında istenilen şekilde dökülebilmesi, mekanik özelliklerinin ve durabilitesinin yüksek olması, onarım maliyetinin düşüklüğü ve ekonomik bir malzeme olmasıdır. Yapısal betonun en önemli handikapı gevrek bir malzeme olması ve çekme dayanımının düşüklüğüdür. Günümüzde betonun zayıf veya yetersiz bu özellikleri değişik liflerin

betona katılması ile giderilmektedir. Betona özellikle çelik lif ilave edilmesiyle betonun çekme, eğilme, yorulma, darbe etkilerine karşı dayanımları yükseltilmekte ve buna bağlı olarak süneklik ve tokluk gibi mühendislik özellikleri de geliştirmektedir. Ancak betona lif katkısının taze betonun işlenebilirliği ve akıcılığını olumsuz etkilediği de bilinmektedir. Çelik liflerin beton özelliklerine olumlu etkileri çelik liflerin kullanım oranına, l/d oranına, uzunluğuna, çapına, su/çimento oranına, agrega maksimum tane boyutuna, agrega kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, lifli betonların dökümleri lifsiz betonlara göre daha iyi planlama ve işçilik de gerektirmektedir [1-7].

Bu çalışmada; betonda değişik oranlarda kısa ve uzun çelik lif kullanımının üretilen betonların taze hal ve sertleşmiş hal özelliklerine etkilerini incelemek amaçlanmıştır.

2. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada üretilen betonlarda CEM I 42,5 R tipi çimento, kireç taşı esaslı 0-5 mm ve 5-15 mm dane dağılımına sahip agregalar, şebeke suyu ve 0.75 mm çaplı 40 mm ve 60 mm uzunluklu iki ucu kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Üretilen betonlarda su/çimento oranı 0.50 alınmış ve çelik lifler hacimce %0, %0.5, %0.75 ve %1 oranlarında betona katılmıştır. Bu şekilde 1 adet kontrol + 6 adette çelik lifli beton olmak üzere toplam 7 adet farklı beton tasarlanmıştır. Tasarlanan betonlarda betonun çökme değeri 100 ± 20 mm 'de sabit tutulacak şekilde süper akışkanlaştırıcı katkı da kullanılmıştır. Kullanılan katkı polikarboksilik eter esaslıdır. Çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve lifli betonların 1 m³ ü için gerekli olan malzemeler nem ve birim ağırlık düzeltmesi yapılarak Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Üretilen betonların 1 m³ ü için düzeltilmiş malzeme miktarları

Beton Kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)		Çelik lif (kg)		Akış. Katkı (kg)	BHA (kg/m ³)
			(0-5) mm	(5-15) mm	Kısa lif	Uzun lif		
D-0	400	200	850	875	0	0	0,78	2326
D-0.5K	400	200	850	875	39	0	0,80	2365
D-0.75K	400	200	850	875	58,5	0	0,75	2384
D-1.0K	400	200	850	875	78	0	0,78	2404
D-0.5U	400	200	850	875	0	39	0.25	2364
D-0.75U	400	200	850	875	0	58,5	0.39	2384
D-1.0U	400	200	850	875	0	78	0.45	2403

Beton üretiminde, laboratuvar tipi düşey eksenli 50 litre kapasiteli betoniye kullanılmıştır. Betoniye önce agregalar konularak yaklaşık 1,5 dakika, daha sonra çimento ilavesiyle agrega-çimento karışımı yine yaklaşık 3 dakika karıştırılmıştır. Betoniye dönerken karışıma su ilave edilmiş ve karışım homojen hale gelene kadar 3-4 dakika daha karıştırılmıştır. Betonun çökme değeri belirlenip gerekiyorsa akışkanlaştırıcı katkı eklenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılacak deneyler için 2 farklı boyutta örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler 150 mm ayrıtlı küp ve 150/300 mm boyutlu silindirdir. Üretilen betonların kalıplara yerleştirme işlemi küp numunelerde iki katman halinde, silindir numunelerde ise üç katman halinde yapılmıştır. Her katman şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Dökümü yapılan

örnekler döküm işlemlerinden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılıp standart kür süresi olan 28 güne kadar ortalama 20 °C ‘deki kür havuzlarında su içerisinde muhafaza edilmiştir.

Çalışma kapsamında üretilen betonlar üzerinde taze halde; çökme, ters slump ve birim hacim ağırlık deneyleri, sertleşmiş halde ise σ - ϵ ilişkisinin belirlendiği tek eksenli basınç, yarmada çekme ve darbe deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler ilgili standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Dökülen betonlar üzerinde yapılan birim ağırlık, slump ve ters slump deneylerine ait sonuçlar Tablo 2’ de toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 2 ‘deki çökme deneyi sonuçları incelendiğinde; üretilen betonlarda çökme değerlerinin 85 mm ile 120 mm arasında değiştiği ve hedeflenmiş olan çökme değeri olan (100±20) mm değerinin sağlandığı görülmektedir.

Yine Tablo 2 ‘deki ters slump deneyi sonuçları incelendiğinde; lif içermeyen kontrol betonunda geçiş süresi 14 sn iken değişik oranlarda kısa lif içeren betonlarda geçiş süreleri 26-43 sn arasında, uzun lifli karışımlarda ise 35-58 sn arasında değişmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre betonda kullanılan lif oranı arttıkça ters slump deneyinde geçiş süresinin uzadığı, uzun lifli karışımlarda bu sürenin kısa lifli karışımlara göre daha uzun olduğu da görülmektedir. Ters slump deneyi, çelik lifli betonlarda işlenebilirliğin ölçülmesi için ASTM C 995’ te önerilen bir yöntemdir. Yukarıdaki sonuçlarda da görüleceği üzere betona lif eklenmesi beklendiği gibi betonun işlenebilirliğini azaltmıştır. Betonun işlenebilirliğindeki azalma uzun lifli karışımlarda kısa lifli karışımlara kıyasla daha yüksek olmuştur.

Tablo 2. Taze Beton Deney Sonuçları

Karışım Adı	Slump (cm)	Ters Slump (sn)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
D-0	8,5	14	2346
D-0.5K	8,5	26	2374
D-0.75K	9,5	32	2402
D-1.0K	9,5	43	2413
D-0.5U	10	35	2364
D-0.75U	9	46	2375
D-1.0U	10	58	2378

Tablo 2 ‘deki birim ağırlık sonuçları incelendiğinde birim ağırlık değerlerinin lifsiz kontrol betonunda 2346 kg/m³, kısa lifli betonlarda 2374 kg/m³ ile 2413 kg/m³ arasında, uzun lifli betonlar da 2364 kg/m³ ile 2378 kg/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Üretilen betonlarda betona katılan çelik lif oranı arttıkça birim ağırlıkların % 1 ile % 2 arasında arttığı, kısa lifli karışımların birim ağırlıklarının uzun lifli karışımlardan az da olsa daha yüksek değerler aldığı da görülmektedir. Bu

olayın sebebi kısa lifli karışımların işlenebilirliğinin uzun lifli karışımlara kıyasla daha yüksek olmaları ve buna bağlı olarak bu betonların doluluk oranının yüksek olmasıdır.

3.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.2.1. Basınç Dayanımı Sonuçları

Üretilen lifsiz ve çelik lifli betonlardan hazırlanan 15 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde 28 gün sonunda yapılan basınç deneyi sonuçları Tablo 3 'de verilmiştir. Tablo 3 'deki sonuçlar incelendiğinde lifsiz betonun basınç dayanımının 48 MPa olduğu, buna karşın kısa lifli karışımlarda basınç dayanımlarının 48.8 MPa ile 50.8 MPa arasında değiştiği, uzun lifli karışımlarda ise basınç dayanımlarının 46 - 49 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Kısa lifli karışımlarda lifsiz karışıma göre lif oranının artması ile basınç dayanımlarının %2 ile %6 arasında değişen oranlarda arttığı, buna karşın uzun lifli karışımlarda %0.5 oranında lif kullanılan karışım hariç lif kullanım oranı arttıkça basınç dayanımlarında %4 'e varan oranda azalma olduğu görülmektedir. Bu olayın nedeni olarak uzun lifli karışımlarda işlenebilmenin azalması ve buna bağlı olarak doluluk oranının düşmesi gösterilebilir. Literatürde de betonda %1.5 oranına kadar çelik lif kullanılması durumunda betonun basınç dayanımının lifsiz betona kıyasla ± 25 'e kadar değişim göstereceği belirtilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlarda bu durumu desteklemektedir [1-5, 7,9].

Tablo 3. Üretilen betonların basınç, yarmada çekme ve darbe deneyi sonuçları

Karışım Adı	Basınç dayanımı (MPa)	Kırılma anındaki birim kısalma oranı, ϵ_{max}	Yarmada çekme dayanımı, MPa	Kırılma oluşturan darbe sayısı
D-0	48	0,00268	3,33	39
D-0.5K	48,8	0,00306	3,78	44
D-0.75K	50,2	0,00379	4,12	163
D-1.0K	50,8	0,00379	4,50	502
D-0.5U	49	0,00395	3,84	274
D-0.75U	47	0,0042	4,44	404
D-1.0U	46	0,00502	5,43	793

*Sonuçlar üç örneğin ortalamasıdır.

3.2.2. Kırılma Anındaki Birim Kısalma Oranı Sonuçları

Üretilen betonların basınç etkisinde kırılma birim kısalma oranları da Tablo 3 'de sunulmuştur. Tablo 3 'deki sonuçlar incelendiğinde; lifsiz betonda basınç etkisinde kırılma anındaki birim kısalma oranının 0.00268 olduğu, buna karşın değişik oranlarda çelik lifli betonlarda ise bu değer 0.00306 ile 0.00502 arasında olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere basınç etkisinde kısa ve uzun çelik lifli betonlar kontrol betonuna kıyasla %14 ile %87 arasında değişen değerlerde daha yüksek birim kısalma oranına sahip olarak kontrol betonuna kıyasla daha sünek davranış göstermiştir. Lifli betonlarda birim kısalma oranının lif kullanım oranı arttıkça yükseldiği, uzun liflerin kısa liflere kıyasla daha yüksek birim kısalma

oranına sahip oldukları da görülmüştür. Betona kısa ve uzun lif katılması betonun basınç etkisinde daha fazla şekil değişimi yapmasını, kontrol betonuna kıyasla daha sünek davranış göstermesini sağlamıştır.

3.2.3. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve çelik lifli betonlardan hazırlanan 15 cm ayrıtlı küp örnekler üzerinde 28 gün sonunda yapılan yarmada çekme deneyi sonuçları Tablo 3 'de verilmiştir. Tablo 3 deki sonuçlar incelendiğinde lifsiz betonlarda yarmada çekme dayanımının 3.33 MPa olduğu, buna karşın kısa lifli karışımlarda yarmada çekme dayanımlarının 3.78 MPa ile 4.50 MPa arasında değiştiği, uzun lifli karışımlarda ise yarmada çekme dayanımlarının 3.84 MPa ile 5.43 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Kısa lifli karışımlarda lifsiz karışıma göre lif oranının artması ile yarmada çekme dayanımlarının %14 ile %35 arasında değişen oranlarda arttığı, buna karşın uzun lifli karışımlarda ise bu artışın %15 ile %63 arasında olduğu da görülmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere; uzun çelik liflerin kısa çelik liflere kıyasla betonun çekme dayanımını daha fazla geliştirdiği tespit edilmiştir. Bu olayın nedeni olarak uzun liflerin kısa liflere kıyasla çimento matris ile aderansının daha yüksek olması ve betonda oluşan çekme gerilmelerini kısa liflere kıyasla daha etkili aktarmaları olarak değerlendirilmektedir.

3.2.4. Darbe Etkisine Direnç Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen lifsiz ve lifli betonlardan üretilen 15/30 cm boyutlu silindirlere kesilen 15 cm çaplı 5 cm yükseklikli diskler üzerinde ağırlık düşürmek suretiyle yapılan darbe deneyi sonuçları da Tablo 3 'de verilmiştir. Tablo 3 'deki sonuçlar incelendiğinde lifsiz kontrol betonu 39 darbe sonunda kırılmış, buna karşın değişik oranlarda lif içeren karışımlar ise 44 ile 793 arasında değişen darbe yükü etkisinde kırılmıştır. Bu sonuçlarda da anlaşılacağı üzere betonda çelik lif kullanımı ile kontrol betonuna kıyasla betonun darbe direnci 20 kata varan oranda artmış durumdadır. Lifli betonların darbe direncinin lif kullanım oranı arttıkça yükseldiği, uzun lifli karışımların kısa lifli karışımlara kıyasla daha yüksek darbe direncine sahip oldukları da görülmüştür. Bu olayın nedenin çelik liflerin betonun çekme dayanımını ve sünekliğini artırması, ayrıca çelik liflerin üzerlerine gelen gerilmeleri sağlam matrise dağıtması olarak değerlendirilmektedir.

Çelik liflerin betonun süneklik, yarmada çekme ve darbeye direncini yükselttiği değişik araştırmacılarca da rapor edilmiştir. Literatürdeki bilgilere göre betondaki bu olumlu etki kullanılan lifin boyuna, çapına, l/d oranına, yüzey özelliklerine, kullanım oranına, betonun su/çimento oranına, agreganın dağılımına, agreganın en büyük tane boyutuna bağlı olarak değişim göstermektedir[1-14].

Sonuçlar

Maksimum agrega tane boyutu 15 mm, su/çimento oranı 0.50 olan ve hacimce %0, %0.5, %0.75 ve %1 oranında çelik lif içeren betonlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara elde edilmiştir.

1. Üretilen betonlarda çelik lif kullanımının betonun işlenebilirliğini düşürdüğü, lif topaklanması nedeniyle uzun liflerin kısa liflere kıyasla işlenebilirliği daha fazla olumsuz etkilediği görülmüştür.
2. Betonda çelik lif kullanımı ile betonun birim ağırlığının azda olsa yükseldiği, bu etkinin kısa lifli karışımlarda uzun liflere kıyasla daha yüksek olduğu da görülmüştür.
3. Betonda %1 oranına kadar çelik lif kullanımı lifsiz betona kıyasla basınç dayanımını kayda değer oranda etkilemediği, buna karşın basınç etkisinde çelik liflerin betonun kırılma anındaki birim kısalma oranını artırdığı, bu olay sonucunda da betonun sünekliğinin arttığı görülmüştür.
4. Betonda çelik lif kullanımı ile kontrol betonuna kıyasla yarmada çekme dayanımının arttığı, bu artışın betona katılan çelik lif oranının artmasına bağlı olarak yükseldiği, yarmada çekme dayanımındaki artışın kısa liflerde % 35 'e, uzun liflerde ise % 63 'e varan oranlara ulaştığı, uzun çelik liflerin kısa liflere kıyasla yarmada çekme dayanımını daha fazla etkilediği görülmüştür.
5. Değişik oranlarda çelik lif kullanılarak üretilen betonların darbe direncinin lifsiz betonlara kıyasla 20 kata varan oranlarda yükseldiği, darbe direncinin kullanılan lif oranının artışına bağlı olarak arttığı, uzun çelik liflerin kısa çelik liflere kıyasla betonların darbeye direncini daha etkili yükselttiği de anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın yürütülmesinde katkıları bulunan Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden İlke Sinan ve Okan Demirbaşa teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] ACI Committee 544. (1998). Measurement of properties of fibre reinforced concrete, ACI 544-2R, American Concrete Institute, Michigan.
- [2] Bentur A, Mindness S. Fibre reinforced cementitious composites. New York: Elsevier Applied Science; 1990.
- [3] Gambhir ML. Concrete technology. New Delhi: McGraw Hill Publishing; 1986.
- [4] Tokyay M, Ramyar K, Turanlı L. Behaviour of polypropylene and steel fiber reinforced high strength concretes under compressive and flexural loads. In: Proceedings of second national concrete conference. Istanbul, 1991. p 303–11.)
- [5] Yazici S, Inan G, Tabak V. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. Constr Build Mater 2007;21:1250–3.
- [6] 4. Zollo RF. Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development. Cem Concr Compos 1997;19(2):107–22.

- [7] Mansur MA, Chin MS, Wee TH. Stress–strain relationship of high strength fiber concrete in compression. *J Mater Civ Eng* 1999;11(1):21–9.
- [8] Nili M, Afroughsabet V. Combined effect of silica fume and steel fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Int J Impact Eng* 2010;37:879–86.
- [9] Nyström U, Gylltoft K. Comparative numerical studies of projectile impacts on plain and steel-fibre reinforced concrete. *Int J Impact Eng* 2011;38:95–105.
- [10] Balasubramanian K, Bharatkumar BH, Gopalakrishnan S, Parameswaran VS. Impact resistance of steel fiber reinforced concrete. *Ind Concr J* 1996;70:257–62.
- [11] Nataja MN, Dhang N, Gupta AP. Statistical variations in impact resistance of steel fiber-reinforced concrete subjected to drop weight test. *Cem Concr Res* 1999;29:989–95.
- [13] Pierre P, Pleau R, Pigeon M. Mechanical properties of steel microfiber reinforced cement pastes and mortars. *J Mater Civ Eng* 1999;11(4):317–24.
- [14] Song PS, Wu JC, Hwang S. Mechanical properties of highstrength steel fiber-reinforced concrete. *Constr Build Mater* 2004;18(9):669–73.