



Lif Boyu ve Su/Çimento Oranının Ultra Yüksek Dayanımlı Fiber Katkılı Betonların Basınç Dayanımlarına Etkileri

Cengiz ÖZEL¹, Bora ÖZ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi ABD, 32260 Isparta, Türkiye

Received: 11.09.2016; Accepted: 28.09.2016

Özet. Bu çalışmada, farklı lif boylarının (16 mm ve 30 mm) ve farklı su/çimento oranlarının (0.21 ve 0.31) ultra yüksek dayanımlı fiber katkılı betonların (UYDFKB) basınç dayanımlarına olan etkileri incelenmiştir. Basınç dayanımı testleri numunelerin 7., 14. ve 28. yaşlarında yapılarak, değerler farklı lif boyları ve farklı su/çimento oranları için değerlendirilmiştir. Su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı, lif boylarındaki artışın basınç dayanımında önemli olmayacak miktarda düşürdüğü gözlenmiştir. Çalışma sonucunda, 16 mm uzunluğunda çelik lifli ve 0.21 su çimento oranına sahip karışımın, 30 mm uzunluğunda çelik lifli ve 0.31 su/çimento oranlı karışımla üretilen numunelerden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ultra yüksek dayanımlı fiber katkılı beton, UYDFKB, Basınç dayanımı, Çelik lif

The Effects of Fiber Length and Water/Cement Ratio on Compressive Strength of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete

Abstract. In this study, the effect of using different length of fiber (16 mm and 30 mm) and different ratio of water/cement (0.21 and 0.31) on compressive strength of ultra-high strength fiber reinforced concrete (UHSFRC) was examined. The UHSFRC samples were subject to compressive strength experiment on the 7th, 14th and 28th days. The compressive strength values for different fiber lengths and different water/cement ratios were evaluated. The results of study was shown, the results for samples prepared using steel fibers with length of 16 mm and 0.21 water/cement ratio was obtained better results than samples prepared using steel fibers with length of 30 mm and 0.31 water/cement ratio.

Keywords: Ultra high strength fiber reinforced concrete, UHSFRC, Compressive strength, Steel fiber

1. GİRİŞ

Beton çekme dayanımı, yorulma dayanımı ve enerji emme kapasitesi gibi durumlarda zayıf bir malzemedir. Betonun bu zayıf özellikleri iyileştirmek için kullanılan malzemelerden biri de liflerdir. Lifler; bazalt, plastik, cam, karbon, polipropilen ve çelik gibi malzemelerden elde edilebilirler. Ancak istenilen performansı alabilmek adına, taze haldeki beton karışımı içerisine uygun narinlik oranı (lif boyu/lif çapı) ve uygun miktarlarda eklenmeleri gerekmektedir. Uygun miktarlarda eklenen liflerin betona dayanım, dayanıklılık ve tokluk kazandırarak betonun özelliklerini modifiye ettiği bilinmektedir [1, 2].

Geleneksel betondaki dezavantajlar sebebiyle ortaya çıkan ihtiyaçları gidermeye yönelik, dünyada 1980 yılından itibaren ultra yüksek dayanımlı lif katkılı betonlar (UYDFKB) kullanılmaya başlamıştır. UYDFKB, yüksek dayanımlı beton ve liflerin kombinasyonu ile üretilen beton çeşidi olarak tanımlanabilmektedir [3, 4]. UYDFKB'nin en belirgin karakteristik özellikleri; 800-1000 kg/m³ miktarları arasında çimento, düşük su/çimento (s/ç) oranı ve silis dumanı ikamesi ile üretilmeleridir. UYDFKB üretiminde, yüksek çimento içeriği nedeniyle ekonomik açıdan ortaya çıkan dezavantajları

* Corresponding author. Email address: cengizozel@sdu.edu.tr

gidermek adına, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi çeşitli endüstriyel yan ürünler de kullanılabilmektedir.

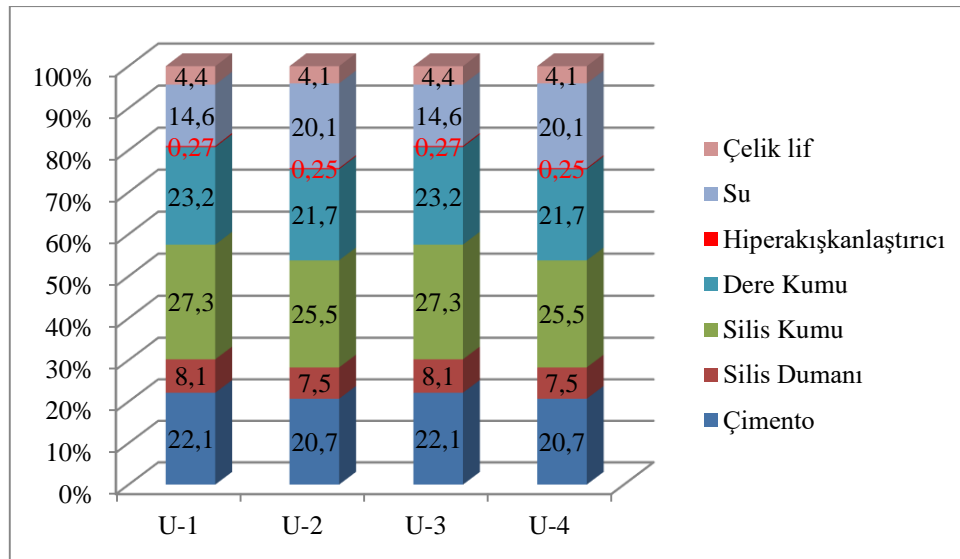
2. UYDFKB HAKKINDA GENEL BİLGİLER

UYDFKB, 21. yüzyılda beton teknolojisinin devrimlerinden biri olarak görülmektedir. İşlenebilirliği, sünekliği, dayanım ve dayanıklılığı ile inşaat sektöründe önemli bir gelişme sağlayan bu kompozit malzeme normal betona göre önemli özellikler barındırmaktadır. Richard ve Chezrey'e [5] göre UYDFKB, yüksek performanslı betonun (YPB) geliştirileceği son noktayı temsil etmektedir. UYDFKB'nın, silindir basınç dayanımlarının yanı sıra 100 mm'lik küp basınç dayanımlarının ölçülmesi tercih edilmiştir. Genel olarak, küp basınç dayanımlarının silindirik basınç dayanımlarından %10'dan daha fazla olmamak üzere yüksek sonuçlar verdiği bildirilmiştir [6]. Aynı zamanda, farklı olarak pürüzlendirilmiş yüzey alanlarına sahip beton yüzeylerde güçlü bir onarım malzemesi olduğu bilinmektedir [7].

UYDFKB'nın basınç dayanımları 150-200 MPa değerleri arasında, çekme dayanımları ise 10 MPa'dan yüksektir ve geleneksel beton ile karşılaştırıldığında düşük porozite, düşük geçirgenlik ve üstün dayanıklılık özelliklerine sahip olduğu gözlenmiştir [8, 9]. Tayeh'e [10] göre günümüzde pek çok akademisyen, bilim adamı ve mühendisler; UYDFKB'nın geleneksel betona göre, betondan istenilen performansa daha iyi cevap verdiğini kabul etmişlerdir. Buna benzer olarak Kim vd. [11], lif katkılı normal betonlar ile karşılaştırıldığında ultra yüksek performanslı lif katkılı betonların mekanik ve çevresel yükler altında yapıların direncini geliştirdiğini belirtmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

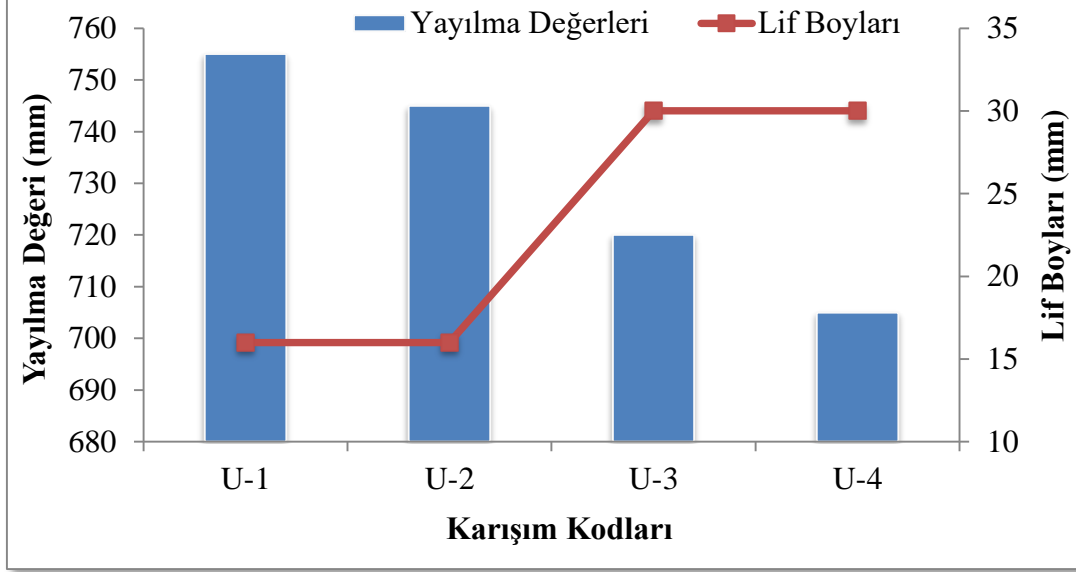
Bu çalışmada kullanılan beton bileşenlerinin hacim oranları Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada TS EN 197-1 (2012)'e uygun CEM I 52.5 N - Portland Çimentosu (özellikler 3.14 g/cm³), Şişecam'dan temin edilen silis kumu ve elenmiş dere kumu (silis kumunun en büyük tane çapı 500 mikrondan küçük olup, özgül ağırlığı 2.62 kg/dm³, dere kumunun maksimum tane çapı ise 1000 mikrondan küçük olup özgül ağırlığı 2.74 kg/dm³), silis dumanı Antalya-Etibank Ferrokrom fabrikalarından temin edilmiştir (özellikler 2.22 kg/m³), çelik lifler TS EN 14889-1 (2015) ve TS 10514 (2015)'e uygun olarak kullanılmıştır. Yine kullanılan akışkanlaştırıcı olarak TS EN 934-2+A1 (2013) standardına uygun, modifiye polikarbolisat bazlı ve klorür iyonları barındırmayan hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 1. Beton bileşenlerinin karışım oranları (%).

3.1. Kıvam Tayini Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlara ait çökmede yayılma deneyi sonuçları Şekil 2’de verilmiştir.

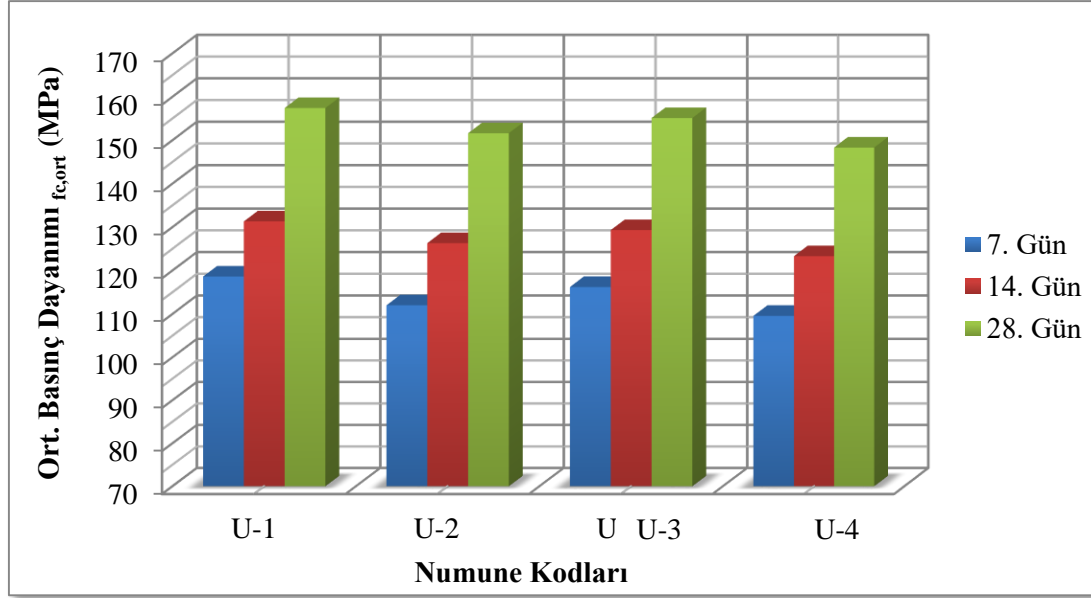


Şekil 2. Lif boyutu ve s/ç oranına göre çökmede yayılma deneyi değerleri.

Şekil 2 incelendiğinde, s/ç oranı 0.21 olan U-1 ve U-3 karışımlarında, lif boyunun 16 mm’den 30 mm’ye yükselmesiyle yayılma değerinin 35 mm azaldığı görülmektedir. Buradan, sabit su çimento oranında lif boyunun yayılma çapında etkili olduğu, bunun nedeninin narinlik oranı 100 olan 30 mm’lik liflerin çimento hamurunda sağladığı tokluğun 16 mm olan liflere göre daha fazla olması olduğu düşünülmektedir. s/ç oranı 0.21 ve 0.31, lif uzunlukları 30 mm olan U-3 ve U-4 karışımları incelendiğinde, lif uzunluğu sabit iken, su çimento oranının artmasıyla birlikte yayılma değerinin 15 mm azaldığı tespit edilmiştir. Bunun nedeninin, her iki karışımda da aynı miktarda hiperakışkanlaştırıcı kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2. Ortalama Basınç Dayanımı Sonuçları

Üretilen UYDFKB'nin basınç deneyi sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. UYDFKB'nin basınç dayanımı değişimleri.

Şekil 3 incelendiğinde, numunelerin tüm deney günlerinde basınç dayanımlı kazanmaya devam ettikleri görülmektedir. 28 günlük basınç dayanımı değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değer, 157.4 MPa ile U-1 numunelerinde saptanmıştır. Benzer bir şekilde Hassan vd. (2012)'nin 657 kg/m³ çimento kullanarak hazırladığı UYDFKB numunelerinde 150.6 MPa'lık basınç dayanımı elde etmiştir. Bu sonucun elde edilmesinde en önemli etkenin yüksek çimento oranıyla birlikte düşük s/ç oranı tercih edilmesi olduğu düşünülmektedir. En kötü değer ise 148.3 MPa ile U-4 numunelerinde tespit edilmiştir. Bu durumun olası sebebinin, U-4 kodlu numunelerin karışımında bulunan lif uzunluğunun 16 mm'den 30 mm'ye artırılması ve s/ç oranının 0.31'e yükseltilmesi olduğu düşünülmektedir. Bu değerler ile 16 mm lif uzunluğu ve 0.21 s/ç oranı kullanılarak üretilen numunenin, hazırlanan diğer numuneler arasında en ideal karışım oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

28 günlük ortalama basınç dayanımları incelendiğinde, en iyi sonucun 157.4 MPa ile U-1 tipi numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Fakat literatür incelendiğinde Hassan vd. (2012)'nin, 657 kg/m³ çimento kullanarak bu sonuca yakın bir değer olarak, 28 günlük basınç dayanımında 150.4 MPa değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Çimento miktarı 695 kg/m³ olarak korunan bu çalışmadaki sonuç ile Hassan vd.'nin [12] çalışmalarındaki sonuçların yakın olmasının sebebinin, Hassan vd.'nin [12] UYDFKB'nin karışımlarında yüksek fırın cürufu kullanmış olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

s/ç oranı 0.21 olarak korunarak üretilen numunelerde, lif uzunluğunun 16 mm'den 30 mm'ye yükselmesiyle birlikte 28 günlük ortalama basınç dayanımlarında yaklaşık %1.5 azalmalar gözlenmiştir. Su çimento oranı 0.31 olarak kullanılan numunelerde ise bu azalma %2.2 dolaylarında ölçülmüştür. Yoo vd. [13] araştırma çalışmalarında benzer bir şekilde, lif boyunu 16.3 mm'den 30 mm'ye çıkarmanın basınç dayanımında yaklaşık %1.2'lik bir azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Lif boyları aynı, s/ç oranları farklı olan numunelerin sonuçları değerlendirildiğinde; 16 mm lif kullanılarak üretilen numunelerde s/ç oranının artmasıyla birlikte 28 günlük ortalama basınç dayanımlarında %3.8, 30 mm lif kullanılarak üretilen numunelerin ortalama basınç dayanımlarında ise %4.5 oranında azalmalar olduğu saptanmıştır. Bunun nedeninin narinlik oranı yüksek olan 30 mm'lik liflerin, işlenebilirliğe olumsuz yönde etki etmesi olduğu düşünülmektedir. Benzer olarak Soroushian ve Bayasi [14] araştırma çalışmalarında narinlik oranı yüksek olan liflerin, işlenebilirliğe olumsuz yönde etki ettiğini belirtmişlerdir.

Basınç dayanımlarındaki azalmalarda, s/ç oranını artırmanın, lif boyunu artırmaktan daha etkili olduğu saptanmıştır. 0.21 s/ç oranı ve 16 mm çelik lif kullanılarak üretilen U-1 tipi numunelerde, 28 günlük basınç dayanımı 157.4 MPa değerindeyken, 0.31 s/ç oranı ve 16 mm çelik lif kullanılarak üretilen U-2 tipi numunelerde bu sonuç 151.6 MPa olarak ölçülmüştür. Bunun nedeninin büyük olasılıkla çekme dayanımında daha etkili olan lif boylarının, basınç dayanımı üzerinde çok büyük bir etkisi olmaması olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ

DeneySEL çalışma ve literatür çalışmalarının sonuçları değerlendirildiğinde, çalışmalardan çıkarılacak ortak sonuç olarak, ultra yüksek dayanımlı fiber katkılı beton üretiminde optimum s/ç oranının 0.18-0.24 değerleri arasında, çelik lif içeriğinin hacimce %2-%2.5 arasında lif boyunun 12-16 mm arasında olması gerektiği, sonucuna varılmıştır. Araştırma çalışmalarında farklı tipte lif kullanmanın UYDFKB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen Hannawi vd. [15], çelik lif kullanılan numunelerde 173.2 MPa, volastonit lif kullanılan numunelerde 145.54 MPa, bazalt lif kullanılan numunelerde 139 MPa, polivinil alkol lifleri kullanılan numunelerde 137.7 MPa, polipropilen lif kullanılan numunelerde 124.7 MPa, barchip lifler kullanılan numunelerde ise 123.39 MPa olarak ölçmüşlerdir. Benzer olarak Yang vd. [16], araştırma çalışmalarında UYDFKB üretiminde 0.23 s/ç oranı, %2.5 oranında çelik lif içeriğinin ideal değerler olduğunu belirtmişlerdir.

KAYNAKLAR

1. Kuder, K.G., Shah S.P., Processing of high-performance fiber-reinforced cement-based composites. *Construction and Building Materials*, 2010, 24(2), 181–186.
2. Lau, A., Anson, M., Effect of high temperatures on high performance steel fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 2006, 36(9), 1698–1707.
3. Yu, R. Spiesz, P., Brouwers, H.J.H., 2014 Mix design and properties assessment of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC). *Cement and Concrete Research*, 56, 29–39.
4. Yu, R., Tang, P., Spiesz, P., Brouwers H.J.H., A study of multiple effects of nano-silica and hybrid fibres on the properties of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPRFC) incorporating waste bottom ash (WBA). *Construction and Building Materials*, 2014, 60, 98-110.
5. Richard, P., Cheyrezy, M., Composition of reactive powder concretes. *Cement and Concrete Research*, 1995, 25(7), 1501-1511.
6. Graybeal, B.A., Characterization of the behavior of ultra-high performance concrete: University of Maryland; Ph.D. Thesis. 2005.
7. Tayeh, B.A., Abu Bakar, B.H., Megat Johari, M.A., Voo Y.L., Mechanical and permeability properties of the interface between normal concrete substrate and ultra-high performance fibre concrete overlay. *Construction and Building Materials*, 2012, 36, 538-548.
8. Aoude, H., Dagenais, F.P., Burrell, R.P., Saatçioğlu, M., Behavior of ultra-high performance fiber reinforced concrete columns under blast loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, 80,185-202.

9. Makita, T., Brühwiler, E., Tensile fatigue behaviour of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete combined with steel rebars (R-UHPFRC). *International Journal of Fatigue*, 2014, 59, 145-152.
10. Tayeh, B.A., Abu Bakar, B.H., Megat Johari, M.A., Voo Y.L., Utilization of Ultra-High Performance Fibre Concrete (UHPFC) for Rehabilitation a Review *Procedia Engineering*, 2013, 54, 525-538.
11. Kim D.J., Park, S.H., Ryu, G.S., Koh K.T., Comparative flexural behavior of Hybrid Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete with different macro fibers. *Construction and Building Materials*, 2011, 25(11), 4144–4155.
12. Hassan, A.M.T., Jones, S.W., Mahmud G.H., Experimental test methods to determine the uniaxial tensile and compressive behaviour of ultra high performance fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 2012, 37, 874-882.
13. Yoo, D.Y., Kang, S.T., Yoon, Y.S., Effect of fiber length and placement method on flexural behavior, tension-softening curve, and fiber distribution characteristics of UHPFRC. *Construction and Building Materials*, 2014, 64, 67–81.
14. Soroushian, P., Bayasi, Z., Fiber-Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, 1991, 88(2), 129-134.
15. Hannawi, K., Bian, H., Prince-Agbodjan, W., Raghavan B., Effect of different types of fibers on the microstructure and the mechanical behavior of Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concretes. *Composites Part B*, 2015, 86, 214-220.
16. Yang, S.L., Millard, S.G., Soutsos, M.N., Barnett, S.J., Le, S.J., Influence of aggregate and curing regime on the mechanical properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC). *Construction and Building Materials*, 2009, 23(6), 2291-2298.