

ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI LİFLİ BETON İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KOLONLARIN TERSİNİR YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF CYCLIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS RETROFITTED BY ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE WITH STEEL FIBER

Altuğ YAVAŞ¹, Kaan TÜRKER², Mehmet TERZİ³, Umut HASGÜL⁴
Tamer BİROL⁵ ve Aykut GÖREN⁶

ÖZET

Bu çalışmada, hasar görmüş betonarme kolon elemanların güçlendirilmesinde Ultra Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Betonun (UYDLB) kullanılabilirliği ve davranışa olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, iki farklı sargı donatısı yerleşimine sahip dikdörtgen enkesitli betonarme kolona, sabit düşey yük ve tersinir artan yatay yük protokolü uygulanmış ve yatay yük–yerdeğiştirme davranışları belirlenmiştir. Davranışı belirlenen kolon elemanların hasarlı bölgesindeki paspayı ve göbek betonunun bir kısmı kaldırılmış ve bunun yerine kendiliğinden yerleşen, hacimsel olarak %2.5 lif içerikli UYDLB uygulaması yapılmıştır. Daha sonra, ilgili kolon elemanlar için aynı test prosedürü tekrarlanmış ve davranışları değerlendirilmiştir. Sargı donatısı yeterli ve yetersiz kolon elemanlar üzerinde yapılan testler sonucunda, kolon elemanların güçlendirilmesinde UYDLB kullanımının yatay yük taşıma kapasitelerinde ve yerdeğiştirme sünekliğinde önemli bir artış sağladığı belirlenmiştir. Bu güçlendirme yönteminin pratikteki uygulamalarda etkin olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ultra yüksek dayanımlı çelik lifli beton, Betonarme kolon, Güçlendirme, Deneysel hasar inceleme.

ABSTRACT

In this paper, usage of ultra-high strength concrete with steel fiber (UHSFC) in order for retrofitting of damaged reinforced concrete column members and its impacts on structural behavior were experimentally investigated. Two column members which have same section geometry but have different spacing of transverse steel, were subjected to constant axial load and cyclic lateral load history, and their lateral load–displacement responses were determined. Subsequently the cover and a small layer for the damaged confined concrete were removed, and the UHSFC including 2.5% steel fiber volumetrically were poured out to the related region. In the research paper, all test procedure for the retrofitted columns were conducted once again. Thus the column responses were evaluated. The results of column members, which have adequate confinement and have not, indicate that the usage of UHSFC in retrofitting of reinforced concrete columns increases the lateral load capacity and displacement ductility. The outcome of this research also supports that the performed retrofitting method can be effectively carried out for practical applications.

Keywords: Ultra–high strength concrete with steel fiber, Reinforced concrete column, Retrofitting, Experimental damage investigation.

¹ Yrd.Doç.Dr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir,

² Yrd.Doç.Dr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir,

³ Yrd.Doç.Dr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir,

⁴ Arş.Gör.Dr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir,

⁵ Arş.Gör., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir,

⁶ Yüksek Lisans Öğr., Balıkesir Üniversitesi İnşaat Müh.Bl., Balıkesir, gorenaykut@gmail.com

ayavas@balikesir.edu.tr

kturker@balikesir.edu.tr

mterzi@balikesir.edu.tr

hasgul@balikesir.edu.tr

tbirol@balikesir.edu.tr

GİRİŞ

Son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmeler ile ultra yüksek dayanımlı ve çelik lif takviyeli betonlar yeni bir kompozit yapı malzemesi olarak ortaya çıkmaya başlamış ve çeşitli mühendislik uygulamalarındaki kullanımları yaygınlaşmıştır. Maksimum sıklık oranına sahip içyapı, ince ve yüksek mukavemetli agrega ve çok düşük su/bağlayıcı oranı ile üretilen bu betonlarda 100–150 MPa basınç dayanımlarına ulaşılabilen ve özel kür koşulları ile bu dayanımlar daha da arttırılabilmektedir. Bu betonlara çelik, sentetik, bazalt vb. lifler takviye edilerek basınç ve eğilme etkisi altında oldukça sünek bir davranış elde edilmekte ve bunlar Ultra Yüksek Dayanımlı Lifli Beton (UYDLB) veya Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton (UYPLB) olarak adlandırılmaktadır (Uchida vd., 2006; Yazıcı, 2006; Naaman, 2007; Wang vd., 2012). UYDLB'a göre oldukça düşük dayanıma sahip geleneksel betonlarda lif kullanımı, betonun durabilite özelliklerini iyileştirmekte, ancak boşluklu içyapı ve düşük dayanım nedeniyle çelik liflerin betonla aderansını azaltmaktadır. Bu nedenle, geleneksel betonlarda liflerin enerji yutma kapasitesi ve eğilme/çekme sünekliğindeki katkısı (performansı) etkin olarak kullanılamamaktadır.

Kullanılan liflerin çatlakları sınırlaması sayesinde çevre koşullarına karşı durabilitesi çok yüksek ve tekrarlı yükler altında da büyük enerji yutma kapasitesine sahip yapı elemanları üretilebilmektedir. UYDLB bu özellikleri nedeniyle çevre koşullarına maruz betonarme köprü, viyadük, iskele, liman vb. yapıların onarım ve koruma amaçlı takviyesinde yaygın kullanım alanı bulmaktadır (SAMARIS, 2005; Moreillon ve Menétrey, 2013; Guingot vd., 2013). UYDLB'lar ince içyapıya sahip olmaları nedeniyle standart panmikserde üretilebilmekte ve akışkanlaştırıcı katkıları sayesinde kendiliğinden yerleşen özellikte olmaktadır. Ayrıca, basınç dayanımının yüksek olması nedeniyle narin prefabrike betonarme eleman üretiminde de kullanılmaktadır (Hegger ve Bertram, 2008; Perry ve Seibert, 2013). UYDLB'un basınç dayanımının yanında karışımda kullanılan lifler sayesinde kesme dayanımının da yüksek olması, yapısal elemanlarda kullanımını cazip hale getirmektedir. UYDLB ile üretilen betonarme kirişler üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yüksek oranda çekme donatısına sahip kirişlerde oldukça sünek davranışlar elde edilebildiği ve kesme donatısının önemli ölçüde azaltılabildiği görülmüştür (Dancygier ve Savir, 2006; Hegger ve Bertram, 2008; Stürwlad, 2010; Dinh vd., 2011; Kamal vd., 2014).

UYDLB'un diğer bir kullanım alanı da yapısal eleman güçlendirmesidir. UYDLB'un donatı ve geleneksel betonlarla aderansının çok iyi olması mevcut elemanların güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesine olanak vermektedir. Ayrıca basınç altında yüksek sünekliğe sahip olması, tersinir deprem yükleri altındaki elemanların güçlendirilmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle yapısal eleman güçlendirmesinde UYDLB'un kullanımı ile ilgili çalışmalar artmaya başlamıştır (Wang ve Lee, 2007; Farhat vd., 2007; Massicotte vd., 2013; Moreillon ve Menétrey, 2013; Tayeh vd., 2013).

Bu çalışmada, hasar görmüş betonarme kolon elemanların güçlendirilmesinde Ultra Yüksek Dayanımlı Lifli Betonun (UYDLB) kullanılabilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda kurulan deney düzeneği kullanılarak, sargı donatıları farklı iki kolon elemanın tersinir yatay yükler altındaki testleri yapılmıştır. Yapılan güçlendirmenin yatay yük taşıma kapasitesi, yerdeğiştirme sünekliği ve hasar düzeyi bakımından davranışa olan etkileri değerlendirilmiştir.

BETONARME KOLON ELEMANLAR İÇİN TEST PROGRAMI

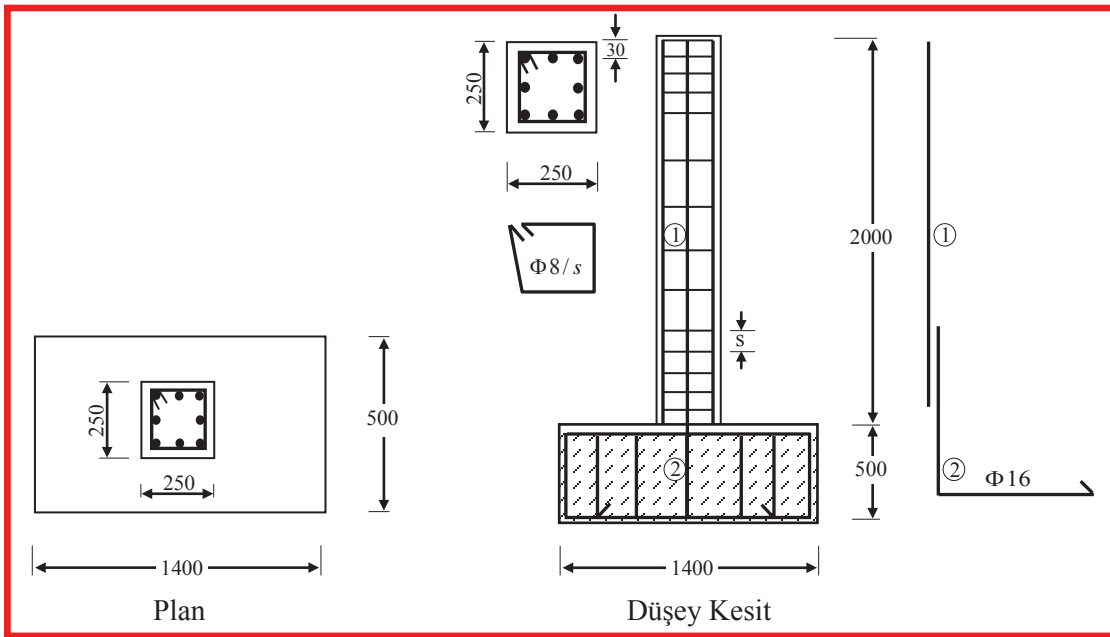
Çalışmada ilk olarak, iki adet betonarme kolon elemanın sabit düşey yük ve tersinir yatay yükler altındaki davranışı deneysel olarak belirlenmiştir. Deney sonrasında kolon elemanlarda hasarın en yoğun olduğu plastik mafsallık bölgesinde, donatılarla tam aderans sağlanabilmesi amacıyla paspayı ve donatıların çevresindeki göbek betonunun bir kısmı kaldırılmıştır. Daha sonra bu bölgeye enkesit boyutlarını sağlayacak şekilde kendiliğinden yerleşen UYDLB uygulaması yapılmıştır. Hasar bölgesi güçlendirilen bu elemanlar için test protokolü tekrarlanmış ve kolon elemanların güçlendirmesinde UYDLB'un kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır.

Kolon Elemanların Özellikleri

Çalışmada incelemek üzere, temele rijit olarak bağlanmış iki adet betonarme kolon elemanın ilk olarak temel dökümleri gerçekleştirilmiş, daha sonra temelden çıkan filizlere kolon boyuna donatıları bağlanarak kolon dökümleri yapılmıştır. Test numunelerin beton basınç dayanımları, donatı miktarları ve mekanik özellikleri Tablo 1’de, enkesit boyutları ve donatı detayları Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin Donatı ve Beton özellikleri

Kolon	Boyuna donatı				Enine donatı aralığı (s) (cm)	Beton basınç dayanımı (MPa)
	Miktarı	Oranı (%)	Akma dayanımı (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)		
1	8 Φ 16	2.5	445	525	10	14
2	8 Φ 16	2.5	465	565	20	14



Şekil 1. Kolon elemanların boyutları ve donatı detayları

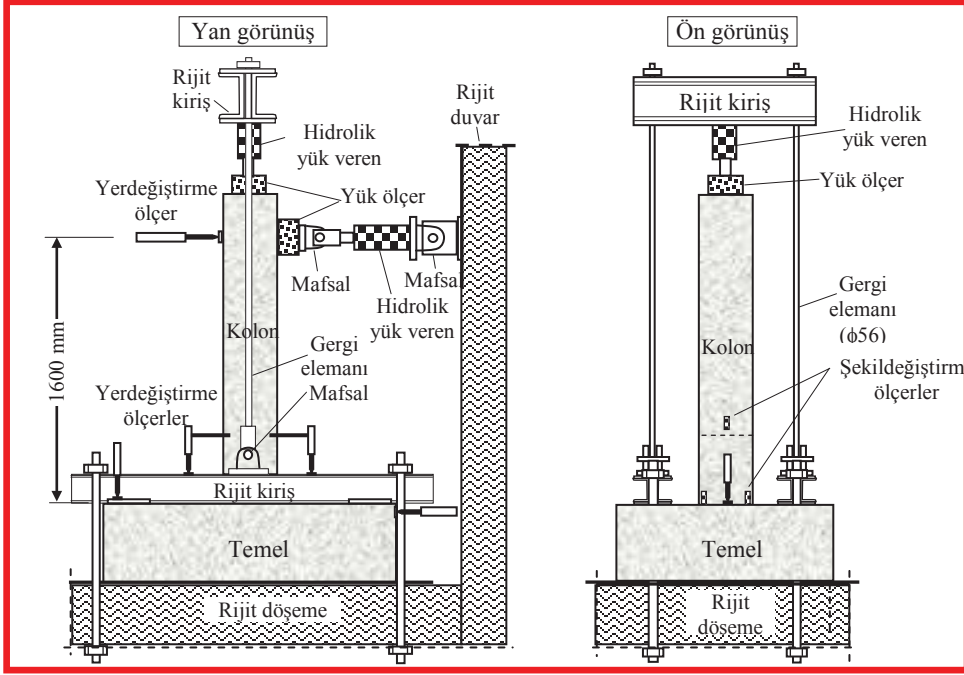
Deney Düzenegi ve Yükleme Özellikleri

Sabit eksenel yük altındaki kolonların tersinir yatay yükler altındaki davranışını incelemek amacıyla Balıkesir Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda kurulan deney düzenegi Şekil 2–3’de gösterilmiştir. Kolon temeli çelik kuşaklar ve dört adet bulon aracılığı ile rijit reaksiyon döşemesine bağlanmıştır. Yatay yük, iki ucu mafsallı ve 300 kN kapasiteli bir hidrolik yük veren (actuator) aracılığı ile rijit düşey reaksiyon duvarından uygulanmıştır. Düşey yük ise, rijit bir kirişe yerleştirilen 1000 kN kapasiteli bir hidrolik yük veren ve iki gergi elemanı aracılığı ile uygulanmıştır (Şekil 2).

Düzenekte yatay ve düşey yük vermek üzere iki adet hidrolik yük veren ve bunların bulunduğu noktalarda yük ölçerler (load cells) bulunmaktadır. Kolon elemanların yatay yerdeğiştirmelerini ölçmek amacıyla yatay yükün uygulandığı seviyede potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir (Şekil 2). Yatay yükün uygulandığı doğrultudaki kolon eğriliğini belirlemek amacıyla temel yüzünden itibaren 12cm yüksekliğinde ve heriki yüze birer adet Potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir (Şekil 2). UYDLB ile güçlendirilen elemanlardaki şekildeğiştirmeleri belirlemek amacıyla kolonun iki yüzüne şekildeğiştirme ölçerler (strain gauges) yerleştirilmiştir. Şekildeğiştirme ölçerlerin dört tanesi güçlendirme bölgesine, bir tanesi güçlendirme bölgesinin üstündeki mevcut betona uygulanmıştır (Şekil 2). Ayrıca deney esnasında temel hareketlerini kontrol etmek amacıyla temelin farklı noktalarındaki yerdeğiştirmeleri de izlenmiştir. Deney düzeneginin iki farklı konumdan görünümü

Şekil 3’de verilmiştir. Testler süresince kolon elemanlardaki yük, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmeler 24 kanallı veri toplama cihazı ile kaydedilmiştir.

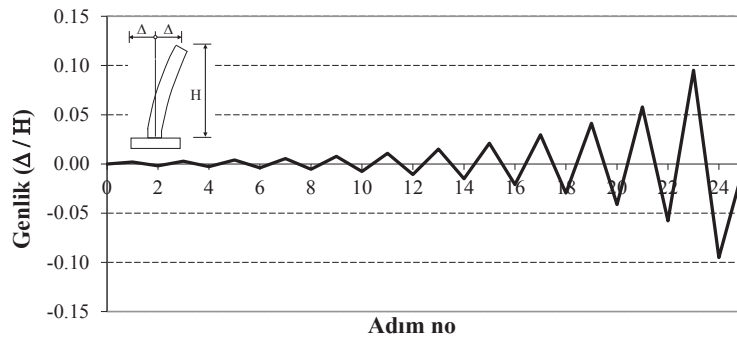
Deneylerde kolonlara sabit düşey yük altında tersinir olarak artan statik yatay yük uygulanmıştır. Kolon elemanlara $N/A_c \cdot f_{ck} = 0.25$ olacak şekilde 219 kN’luk sabit düşey yük, tersinir artan yatay yüklemeye için ise Şekil 4’de verilen yerdeğiştirme protokolü uygulanmıştır. Buna göre her bir genlik için iki yönde birer yüklemeye yapılmıştır. Minimum genlikte 0.003’lük görelî öteleme oranı (Δ/H), maksimum genlikte ise güçlendirilmemiş kolonlara 0.062’lik görelî öteleme oranı (Δ/H), güçlendirilmiş kolonlara ise 0.093’lük görelî öteleme oranı uygulanmıştır.



Şekil 2. Şematik deney düzeneği



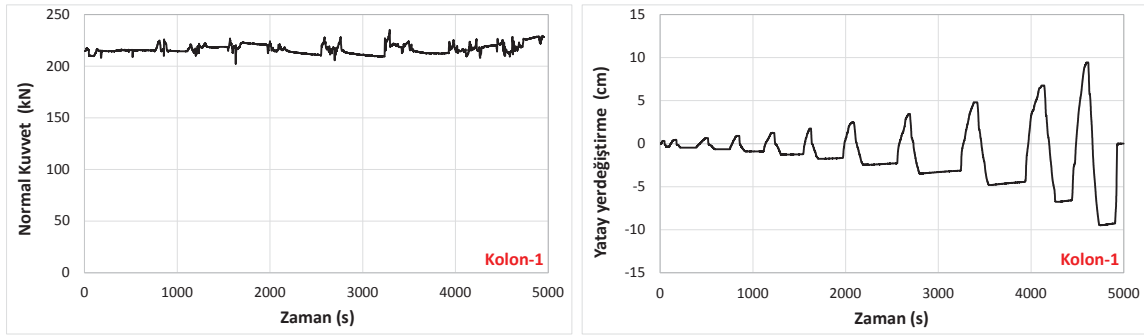
Şekil 3. Deney düzeneğine ait görüntüler



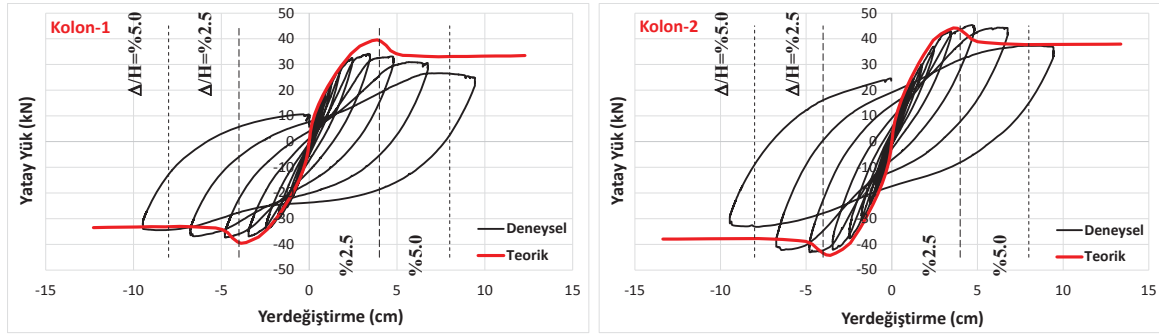
Şekil 4. Kolon elemanlar için uygulanan yüklemeye protokolü

Kolon Elemanların Tersinir Yükler Altındaki Davranışları

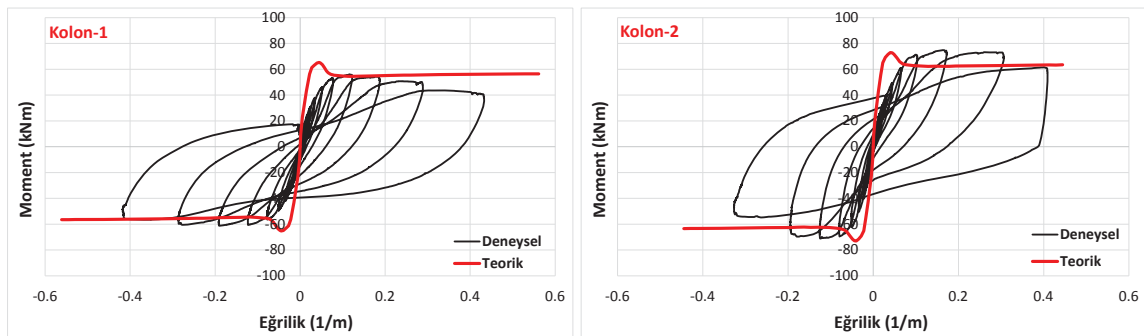
Çalışmanın ilk bölümünde, farklı sargı donatısı yerleşimine sahip betonarme kolonlara (Kolon-1 ve Kolon-2) öngörülen yerdeğiştirme protokolü uygulanmış ve *yatay yük–yerdeğiştirme* histeresis davranışları belirlenmiştir. Deneyler sırasında uygulanan sabit düşey yükün ve artan yatay yerdeğiştirmenin zamanla değişimi örnek olarak Kolon-1 için Şekil 5’de verilmiştir. Yük ölçerden okunan yatay yük değerleri, düşey yükün yatay bileşeninin etkisine bağlı olarak azaltılmıştır. Tersinir yatay yükler altında deneylerden elde edilen *yatay yük–yerdeğiştirme* histeresis grafikleri ve *CUMBIA* (Montejo ve Kowalsky, 2007) bilgisayar programı yardımıyla belirlenen teorik *yatay yük–yerdeğiştirme* bağıntıları Şekil 6’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Kolonun temel birleşiminden itibaren 12cm’lik bölge için belirlenen ortalama eğriliklerin moment ile değişimleri ve teorik olarak belirlenen *moment–eğrilik* bağıntıları her iki kolon eleman için Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 5. Kolon-1’de deney süresince düşey yük ve yatay yerdeğiştirmenin değişimi



Şekil 6. Kolon elemanların tersinir yatay yük altındaki deneysel ve teorik davranışları



Şekil 7. Deneysel ve teorik olarak elde edilen moment–eğrilik davranışları

Şekil 6–7’den görüleceği üzere, teorik olarak öngörülen *yatay yük–yerdeğiştirme* ve *moment–eğrilik* davranışlarının deney sonuçları ile oldukça uyumludur. Her iki kolonda da %2.5’luk öteleme değerlerinde plastik mafsallardaki çatlakların genellikle kılcal düzeyde kaldığı, ancak kolon ile temel yüzü arasında oluşan soğuk derzde açılmanın olduğu gözlemlenmiştir. Basınç bölgesinde ise önemli

bir hasar oluşmamıştır. Bu öteleme değerinde kolonların yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma gözlenmemiştir (Şekil 6).

%3'lük görelî öteleme değerlerinden sonra kabuk betonundaki ezilmeler nedeniyle her iki kolonda da önemli dayanım azalmaları görülmüştür (Şekil 6). %4 öteleme değerinden sonra sargı donatısı yetersiz olan Kolon-2'de çok daha hızlı bir dayanım azalması gözlenmiş ve %5.5 öteleme değerlerine ulaşıldığında her iki kolonda dayanım azalmaları kapasitenin %20'lerine ulaştığından göbek betonuna ve boyuna donatıya daha fazla zarar vermemek amacıyla deney sonlandırılmıştır (Şekil 8). Bu aşamada kolon boyuna donatılarında akma sınırı aşılmış, ancak pekleşme bölgesine geçilmemiş ve herhangi bir burkulma oluşmamıştır.



Şekil 8. Kolon-2'de farklı öteleme değerleri için çekme ve basınç bölgesi hasarları

Kolon Elemanların UYDLB ile Güçlendirilmesi

Çalışmanın bu bölümünde, tersinir yatay yükler altında hasar görmüş betonarme kolonların kendiliğinden yerleşen ultra yüksek dayanımlı ve çelik lifli beton (UYDLB) ile güçlendirme uygulamasına yer verilmiştir.

UYDLB'a ait Malzeme Özellikleri ve Betonun Hazırlanması

Çalışmada, en az 120 MPa basınç dayanımına sahip, kendiliğinden yerleşen ve aynı zamanda homojen lif içeriğine sahip UYPLB üretilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla kullanılan malzemeler ağırlıkça çimentoya oranlanarak Tablo 2'de verilmiştir. Beton için gerekli malzemeler karışım oranlarına göre tartıldıktan sonra bağlayıcı maddeler (çimento, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu) ve agregalar (kuvars) 56 dm³ kapasiteli standart bir panmikserde kuru olarak karıştırılmaktadır (Şekil 9). Daha sonra karışıma gerekli su ve akışkanlaştırıcı katkı ilave edilerek plastik kıvam elde edilinceye kadar karıştırılmakta ve son olarak çelik lifler eklenmektedir. Kullanılan çelik life ait karakteristik değerler Tablo 3'de verilmiştir.

Hazırlanan beton karışımlarının yerleşebilirliğini ve vizkositesi ölçmek amacıyla ASTM C1611M-14 (2014) esas alınarak yayılma (Slump flow) ve T⁵⁰⁰ testleri yapılmıştır (Şekil 10). Yayılma testleri lifsiz beton için ve standart yayılma konisi kullanılarak yapılmıştır. Betonun kendinden yerleşebilirliğini gösteren yayılma testinde hazırlanan karışımın 75cm yayıldığı, viskoziteyi belirleyen T⁵⁰⁰ testinde ise betonun 50cm çapındaki alana 3.3sn'de yayıldığı görülmüştür.

Beton karışımları için 100x100x100mm boyutlarında küp numuneler alınmış ve bir gün sonra kalıptan çıkarılarak 20±2°C sıcaklığındaki kür havuzunda bekletilmiştir. Kolon elemanlar için hazırlanan UYDLB'a ait basınç dayanımları (28 günlük) 130 MPa, elastisite modülü 47.5 GPa olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. UYDLB için Karışımında Kullanılan Malzemelerin Ağırlıkça Çimentoya Oranları

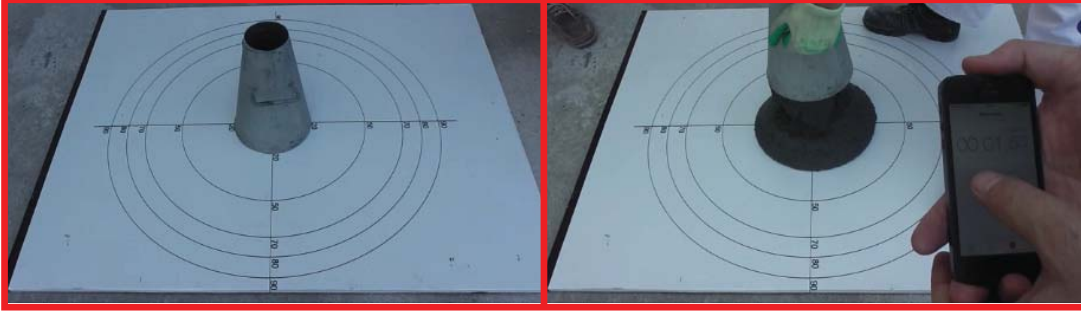
Malzeme	Bağlayıcılar			Kuvars (0-0.8mm)	Kuvars (1-3mm)	Süper Akışkanlaştırıcı katkı	Su/Bağlayıcı
	Çimento	Silis Dumanı	Yüksek Fırın Cürufu				
Ağırlıkça oran	1.00	0.20	0.40	0.77	0.77	0.028	0.18

Tablo 3. Çelik Life ait Karakteristik Değerler

Çelik Lif	Hacimce oran (%)	Çapı (mm)	Boyu (mm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)
Micro-OL6/016	2.5	0.16	6	7.17	2250



Şekil 9. UYDLB'un hazırlanması aşamaları



Şekil 10. UYDLB karşımı için yapılan yayılma ve T⁵⁰⁰ testleri

UYDLB'un Kolonlara Uygulanması

Kolon elemanların temel üstünden itibaren 35cm'lik bölgede, donatılarla tam aderans sağlanabilmesi amacıyla paspayı ve donatıların çevresindeki göbek betonunun bir kısmı kaldırılmıştır. Daha sonra, kolon elemanlar için enkesit boyutlarını sağlayacak şekilde çelik kalıp hazırlanmış ve UYDLB karışımı dışarıdan dökülerek hasarlı bölge güçlendirilmiştir. (Şekil 11). UYDLB ince içyapıya sahip olması ve kendiliğinden yerleşen özellikte olması sayesinde hazırlanan kalıba kolaylıkla yerleştirilmiştir. Bununla birlikte, güçlendirilen kolonlar için kalıplar açıldıktan sonra mevcut beton ile UYDLB arasında herhangi bir boşluk gözlenmemiştir (Şekil 11).

Güçlendirilmiş Kolon Elemanların Davranışlarının Belirlenmesi

Bu bölümde, UYDLB ile güçlendirilen kolon elemanlar için daha önce uygulanan test protokolü tekrarlanmış elemanların davranışı belirlenmiştir (Şekil 12).

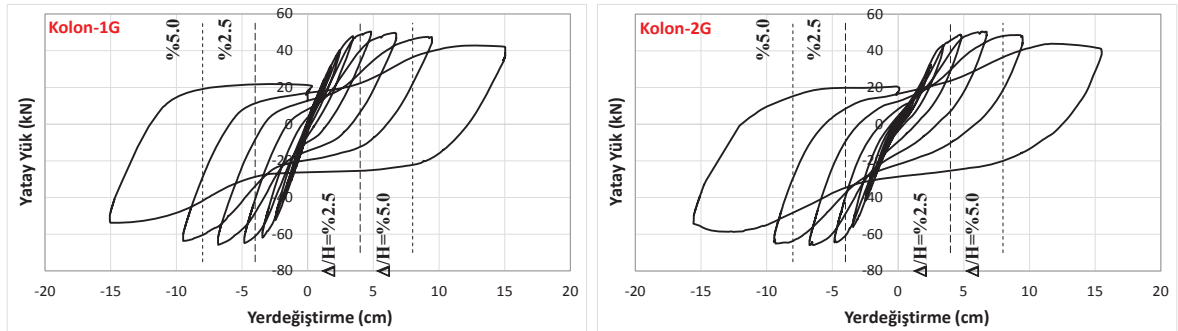
İki farklı sargı donatısı yerleşimine sahip betonarme kolonlara (Kolon-1 ve Kolon-2) ait *yatay yük-yerdeğiştirme* histeresis davranışları Şekil 13'de verilmiştir. Her iki kolonda da güçlendirme öncesindeki kalıcı hasarlar nedeniyle tersinir yatay yük davranışları simetrik olarak elde edilememiştir (Şekil 13). Kolon-2 için güçlendirilmiş bölgedeki betonda ve bunun üzerindeki mevcut betonda ölçülen şekildeğiştirme değerlerinin deney süresince değişimleri Şekil 14'de verilmiştir.



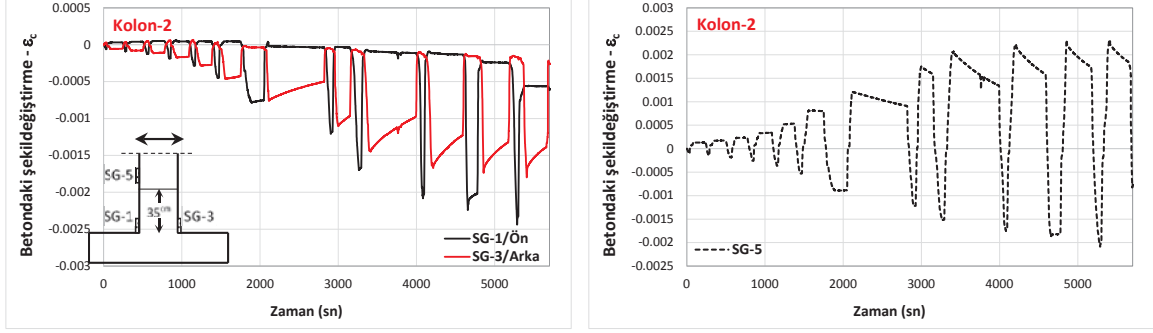
Şekil 11. Hasar görmüş kolon eleman için UYDLB ile güçlendirme uygulaması



Şekil 12. UYDLB ile güçlendirilmiş Kolon-1'in yatay yük altındaki testi



Şekil 13. Güçlendirilmiş kolon elemanların tersinir yatay yük altındaki davranışları



Şekil 14. Kolon-2 için beton şekildeğişimlerinin deney süresince değişimleri

Yapılan güçlendirme sonrasında her iki kolonda %2.5'lük görelî öteleme değerlerinde UYDLB ile güçlendirilen 35cm'lik bölgenin çok daha rijit olması nedeniyle hem çekme hem de basınç altında herhangi bir hasar oluşmadığı gözlenmiştir (Şekil 15). Buna karşın, güçlendirme yapılan bölgenin üzerinde kılcal çekme çatlaklarının oluştuğu, temel ile kolon alt ucu arasında oluşan soğuk derzde önemli dönmenin oluştuğu görülmüştür (Şekil 15). Bu öteleme değerinde kolonların yatay yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma gözlenmemiştir (Şekil 13).

Şekil 13-15'den görüleceği üzere, %5.5 öteleme değerlerine kadar hasarlar benzer şekilde ilerlemiş, her iki kolonda da önemli bir dayanım azalması oluşmamıştır. UYDLB'da ve üst bölgedeki mevcut betonda belirlenen birim kısalmalar sınır değerleri aşmadığı için basınç bölgesinde herhangi bir ezilme oluşmamıştır. Güçlendirme bölgesindeki betonda çekme şekildeğişimlerinin oluşmamasından da anlaşılacağı üzere, 35cm'lik bölge çok rijit davranarak tüm dönmenin soğuk derzde oluşmasına sebep olmuştur. %5.5 öteleme değerlerinde dahi UYDLB ile mevcut beton arasında önemli bir ayrışma oluşmadığı görülmüştür.

UYDLB'un sargı donatısı yetersizliğini iyileştirmedeki etkisini gözleyebilmek amacıyla güçlendirilmiş kolon elemanlar yaklaşık %9 görelî öteleme değerine kadar izlenmiştir. Bu öteleme değerinde dahi her iki kolon hasarının ve dayanım azalmasının çok yakın olduğu gözlenmiştir. Buna göre, UYDLB ile yapılan güçlendirme uygulamasının sargı yetersizliğinin yarattığı olumsuz etkileri karşılayabildiği söylenebilmektedir. %9'luk öteleme değerlerine ulaşıldığında ise, temel betonunda çekme ve basınç olumsuz etkileri oluşmaya başlamıştır.



Şekil 15. Güçlendirme sonrası Kolon-1 ve Kolon-2'de oluşan hasarlar ($\Delta/H=0.025$ için)

KOLON ELEMANLARA AİT SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

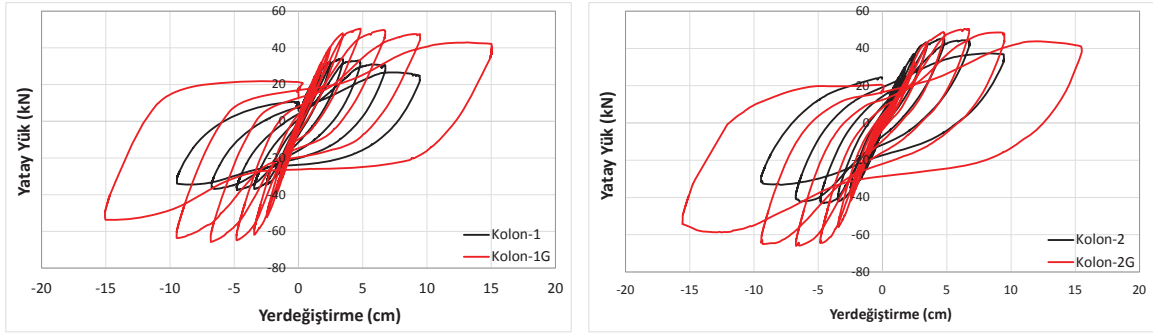
Bu bölümde incelenen kolon elemanların güçlendirme öncesi ve sonrası davranışları deneysel olarak elde edilen verilere dayanarak değerlendirilmiştir.

İki farklı sargı donatısı yerleşimine sahip betonarme kolon eleman (Kolon-1 ve Kolon-2) için *yatay yük–yerdeğiştirme* histeresis davranışları Şekil 16’da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. UYDLB ile güçlendirme sonucunda her iki kolonun yatay yük taşıma kapasitelerinde sargı donatısı oranına bağlı olarak %15 ile %50 arasında bir artış görülmüştür (Şekil 16).

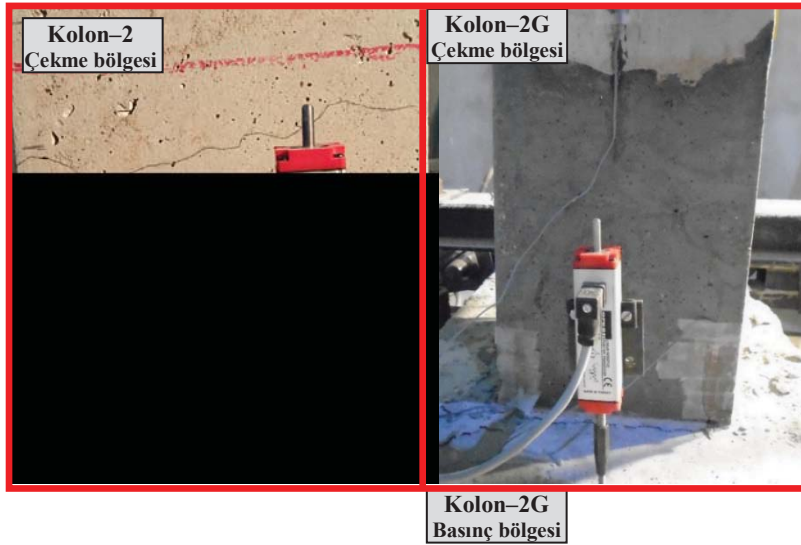
Güçlendirilme öncesi kolonlarda yaklaşık %3 görelî öteleme değeri sonrasında yatay yük taşıma kapasitesinde dayanım azalmaları başlarken, güçlendirilmiş kolonlarda %5.5 öteleme değerlerine kadar önemli bir dayanım azalması görülmemiştir. Buna göre UYDLB ile yapılan güçlendirmenin sünekliği de arttırdığı söylenebilir (Şekil 16).

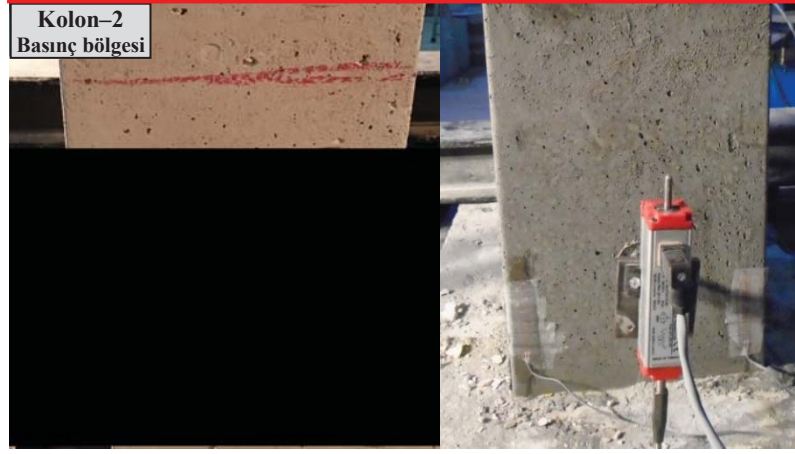
Yüksek öteleme değerlerinde, güçlendirilme öncesi kolonlarda kabuk betonunda dökülmeler ve sargı donatısı yetersiz olan kolonda önemli dayanım azalmaları gözlenirken, güçlendirilmiş elemanların her ikisinde de basınç hasarı oluşmamış önemli bir dayanım azalması gözlenmemiştir.

Güçlendirme öncesi kolonlarda %2.5 görelî öteleme değerlerinde çekme etkisi altında soğuk derzde ayrılma ve plastik mafsallarda kırılma çatlakları gözlenirken, güçlendirilmiş elemanlarda sadece soğuk derzde ayrılma gözlenmiştir (Şekil 17). Bu öteleme değeri için, basınç etkisi altında güçlendirme öncesi ve sonrası benzer davranış gözlenmiştir (Şekil 17). %3’lük öteleme değerleri aşıldığında güçlendirme öncesi kolonda önemli basınç hasarları gözlenirken, güçlendirilen kolonlarda herhangi bir basınç hasarı oluşmamıştır (Şekil 18).



Şekil 16. Güçlendirme öncesi ve sonrası kolon elemanların yatay yük altındaki davranışları





Şekil 17. Güçlendirme öncesi ve sonrası Kolon-2’deki hasar durumu ($\Delta/H=\%2.5$ için)



Şekil 18. Güçlendirme öncesi ve sonrası Kolon-2’deki hasar durumu ($\Delta/H=\%5.0$ için)

SONUÇ

Çalışmada, betonarme kolon elemanların güçlendirilmesinde Ultra Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Betonun (UYDLB) kullanılabilirliği ve davranışa olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bunun için, iki farklı sargı donatısı yerleşimine sahip dikdörtgen enkesitli betonarme kolona sabit düşey yük ve tersinir artan yatay yük protokolü uygulanmış, *yatay yük–yerdeğiştirme* ve *moment–eğrilik* davranışları deneysel ve teorik olarak belirlenmiştir. Daha sonra, kolon elemanlarda hasarın olduğu bölgede paspayı ve donatıların çevresindeki göbek betonunun bir kısmı kaldırılmıştır. Bu bölgeye enkesit boyutlarını sağlayacak şekilde kendiliğinden yerleşen UYDLB uygulaması yapılmıştır. Güçlendirilen bu elemanlar için test protokolü tekrarlanmış ve güçlendirme öncesi davranış ile karşılaştırılmıştır.

UYDLB ile yapılan güçlendirme sonucunda hasar görmüş numunenin yük taşıma kapasitesinde ve sünekliğinde ilk haline göre önemli bir artış sağlanmıştır. Aynı öteleme değerleri için güçlendirme sonrasında, ilk duruma göre hasarların azaldığı gözlenmiştir. Güçlendirme öncesi kolonlarda dayanım azalmalarının başladığı %3 görelî öteleme değeri, yapılan güçlendirme ile %5.5 oranına yükselmiştir. Sargısı yeterli olan kolon ile sargı yetersizliği bulunan kolonun güçlendirme sonrası davranışı çok benzer elde edilmiştir. Buna göre, çalışmada uygulanan güçlendirme yönteminin çelik lifli betonun sargı yetersizliğini karşılamada etkili olduğu söylenebilmektedir. Çalışmada kullanılan UYDLB, ince içyapısı ve kendiliğinden yerleşen özelliği sayesinde güçlendirmede kolaylıkla uygulanmış ve hasarlı kolon boşluksuz bir şekilde hasar öncesi boyutlarına getirilebilmiştir. Ayrıca mevcut beton ile çok iyi aderans sağlamıştır.

Bu güçlendirme yönteminin pratikteki uygulamalarda etkin olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, çalışmada uygulanan güçlendirmenin çok yüksek kapasiteli

olduğu, bu nedenle hasarın kolon alt ucundaki soğuk derze ve belirli ölçüde güçlendirme üstündeki bölgeye taşındığı gözlenmiştir. Uygulanan UYDLB kalınlığının azaltılması ve lif içeriğinde yapılacak değişiklikler ile hasarların plastik mafsal bölgesinde toplanabileceği ve böylece UYDLB'un enerji yutma kapasitesinden daha etkin olarak yararlanılabileceği düşünölmektedir. Bu kapsamda farklı uygulama alternatifleri üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan Ultra Yüksek Dayanımlı Lifli Betonun geliştirilmesine 113M432 nolu proje kapsamında destek sağlayan TÜBİTAK'a, çelik liflerin teminindeki katkıları dolayısıyla BEKAERT firmasına ve akışkanlaştırıcıların teminindeki katkıları dolayısıyla BASF firmasına teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR

- ASTM C1611 / C1611M-14 (2014) Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Dancygier AN and Savir Z (2006) "Flexural behavior of HSFRC with low reinforcement ratios", *Engineering Structures*, 28(11):1503-1512
- Dinh H, Parra-Montesinos G, Wight J (2011) "Shear strength model for steel fiber reinforced concrete beams without stirrup reinforcement", *Journal of Structural Engineering*, 137(10):1039-1051
- Farhat F, Nicolaidis D, Kanellopoulos A, Karihaloo B (2007) "High performance fiber-reinforced cementitious composite (CARDIFRC)-Performance and application to retrofitting", *Engineering Fracture Mechanics*, 74(1-2):151-167
- Guingot L, Dekhil D, Soulier P (2013) "Strengthening of hydraulic structures with UHPC", *RILEM-Fib-AFGC International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC 2013*, Marseille, France, 1-3 October, 137-146
- Hegger J and Bertram G (2008) Shear Carrying Capacity of Ultra-High Performance Concrete Beams, Taylor Made Concrete Structures-Walraven & Stoelhorst (eds), Taylor & Francis Group, London, 341-347
- Kamal MM, Safan MN, Etman ZA, Salama RA (2014) "Behavior and strength of beams cast with ultra high strength concrete containing different types of fibers", *HBRC Journal*, 10(1):55-63
- Massicotte B, Dagenais MA, Lagier F (2013) "Performance of UHPFRC jackets for the seismic strengthening of bridge piers", *RILEM-Fib-AFGC International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC 2013*, Marseille, France, 1-3 October, 89-98
- Montejo LA and Kowalsky MJ (2007) "CUMBIA-Set of codes for the analysis of reinforced concrete members", *Technical Report No: IS-07-01*, CFL, North Carolina State University, Raleigh, NC.
- Moreillon L and Menétrey P (2013) "Rehabilitation and strengthening of existing RC structures with UHPFRC: Various applications", *RILEM-Fib-AFGC International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC 2013*, Marseille, France, 1-3 October, 127-136
- Naaman, AE (2007) "High performance fiber reinforced cement composites: Classification and applications", *CBM-CI International Workshop*, Karachi, Pakistan, 389-401
- Perry VH and Seibert PJ (2013) "Fifteen years of UHPC construction experience in precast bridges in North America", *RILEM-Fib-AFGC International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC 2013*, Marseille, France, 1-3 October, 229-238
- SAMARIS (2005) "Full scale application of UHPFRC for the rehabilitation of bridges - from the lab to the field", *European project 5th FWP/SAMARIS - Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructures*, Report D22, WP 14: HPRCC
- Stürwald S (2010) "Bending behaviour of UHPFRC combined with rebars", *8th fib PhD Symposium in Kgs, Lyngby*, Denmark, 20-23 June
- Tayeh BA, Abu Bakar BH, Megat Johari MAM, Voo YL (2013) "Utilization of ultra-high performance fibre concrete (UHPFC) for rehabilitation - A review", *Procedia Engineering*, 54:525-538
- Uchida Y, Niwa J, Tanaka Y, Katagiri M, Fischer G, Li V (2006) "Recommendations for design and construction of ultra high strength fibre reinforced concrete structures", *Concrete Committee of Japan Society of Civil Engineers*, 343-351
- Wang C, Yang C, Liu F, Wan C, Pu X (2012) "Preparation of ultra-high performance concrete with common technology and materials", *Cement & Concrete Composites*, 34(4):538-544
- Wang YC and Lee MG (2007) "Ultra-high strength steel fiber reinforced concrete for strengthening of RC frames", *Journal of Marine Science and Technology*, 15(3):210-218
- Yazıcı H (2006) "The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures", *Building and Environment*, 42(5):2083-2089