



Karbon Fiber Takviyeli Elyaf Kumaşlarla Güçlendirilen Betonarme Kolonların Eş Merkezli Yükler ve Tek Doğrultulu Eğilme Yüklemeleri Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi

Yaşar ERBAŞ¹ , Mehmet BARAN² , Ömer MERCİMEK^{3*} , Özgür ANIL⁴ 

¹Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Bartın, Türkiye

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

³Ankara Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

⁴Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Betonarme Kolon,
Güçlendirme,
FTEK,
Eş merkezli
yükleme,
Dış Merkezli
yükleme.

Özet

Betonarme kolonlar, yapının yaşlanması, çevresel etkiler, deprem vb. gibi durumlardan dolayı güçlendirilmesi ya da onarılması gereken en önemli yapısal elemanlardan biridir. Bir yapı elemanının güçlendirilmesine karar verildiğinde, bu elemanın hangi etkilere maruz kaldıklarını tespit etmek oldukça önem arz etmektedir. Betonarme kolonlar genellikle eş merkezli yüklemelere maruz kalsalar da özellikle kenar kolonlar dış merkezli olarak yüklemelere de maruz kalarak eksenel eğilme momentleri tesiri altında eksenel yük taşımaya çalışmaktadır. Bu çalışma kapsamında eş merkezli ve dış merkezli olarak yüklenen betonarme kolonların karbon fiber takviyeli elyaf kumaş (KFTEK) şeritler ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 6 adet büyük ölçekli deney elemanı üretilmiştir. Bu deney elemanlarından 2 adeti referans olarak seçilmiştir. Diğer 4 adet deney elemanı ise KFTEK şeritler ile güçlendirilmiştir. Yükleme tipi (eş ve dış merkezli) ve ankraj kullanımını çalışmada incelenmesi planlanan değişkenler olarak belirlenmiştir. Şerit genişliği ve aralığı sabit tutulmuştur. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda deney elemanlarının maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, sünekliği ve enerji tüketim kapasitesi hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

*e-posta: omercimek@ybu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için:

Ömer MERCİMEK; Yaşar ERBAŞ; Mehmet BARAN; Ozgur ANIL, "Karbon Fiber Takviyeli Elyaf Kumaşlarla Güçlendirilen Betonarme Kolonların Eş Merkezli ve Tek Doğrultulu Eğilme Yüklemeleri Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 5, s 1, ss. 91-103

How to cite this article:

Ömer MERCİMEK; Yaşar ERBAŞ; Mehmet BARAN; Ozgur ANIL, "Experimental Investigation of Behavior of Reinforced Concrete Columns Strengthening with Carbon Fiber Reinforced Polymer Under Axial Loadings and Uniaxial Bending Loadings", Bayburt University Journal of Science, vol. 5, no 1, pp. 91-103

Experimental Investigation of Behavior of Reinforced Concrete Columns Strengthening with Carbon Fiber Reinforced Polymer Under Axial Loadings and Uniaxial Bending Loadings

Keywords:

Reinforced Concrete Column, Strengthening, CFRP, Concentric loading, Eccentric loading.

Abstract

Reinforced concrete columns are one of the most important structural members that need to be strengthened or repaired against circumstances such as aging, environmental effects, earthquake, etc. It is significant to determine the factors which may affect these structural members before strengthening phase. Although reinforced concrete columns are often subjected to concentric loads, especially the side columns of the structure which exposed to eccentric axial loads carry axial loads under the adverse effect of axial bending moments. In this study, it is aimed to investigate the behavior of the concentrically and eccentrically axially loaded reinforced concrete columns strengthened with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) strips experimentally. Pursuant to this goal, 6 large-scale test members were fabricated. Two of these members were chosen as unstrengthened reference test members. The remaining 4 test elements were strengthened with CFRP strips. Loading type (concentric and eccentric) and anchor usage were selected as variables. The strip width and spacing were kept constant. As a result of the experimental study, the ultimate load carrying capacity, initial stiffness, ductility and energy dissipation capacity of the test members were calculated and the results were compared.

1 GİRİŞ

Betonarme kolonlar yapıda dikey taşıyıcı unsur olduklarından yapının yaşlanması, çevresel etkiler, deprem vb. gibi durumlardan dolayı güçlendirilmesi ya da onarılması gereken en önemli yapısal elemanların başında gelmektedirler. Geçmişte betonarme kolonlar birçok farklı yöntem ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme yöntemlerinin temel amacı uygulandıkları yapısal sistem veya elemanların taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim kapasitesi gibi performansları ile ilgili özelliklerini iyileştirmesinin yanı sıra kullanılan malzemelerin sürdürülebilir ve maliyet olarak etkin olmaları gerekliliği yürütülen çalışmalarda araştırmacıları zaman içerisinde aşamalı olarak modern teknolojik özelliklere sahip yapısal malzemelerin kullanımına yönlendirmiştir. Öncelikle, betonarme kolonlara mevcut yapıda bulunan malzeme dayanımından daha yüksek dayanıma sahip donatılı betonarme bir katman eklenerek uygulanan mantolama güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir [1-6]. Daha sonra betonarme katman ile mantolama yerine betonarme kolonların çelik şerit, levha vb. elemanlarla güçlendirilmesi ön plana çıkmıştır [7-9].

Fiber takviyeli elyaf kumaş (FTEK), çelik ile kıyaslandığında yüksek mukavemet ve ağırlıklarına oranla dayanımlarının yanı sıra üstün korozyon direnci avantajlarından dolayı beton elemanların basınç, eğilme ve kesme davranışlarını iyileştirmek için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır [10-27]. Bunların en önemlileri ise betonun FTEK ile sargılanmasının incelendiği çalışmalardır. 2013 yılına kadar 88 farklı eksenel gerilme-gerinim modeli oluşturulmuştur. Bu modeller Ozbakkaloglu vd. (2013) [28] tarafından karşılaştırılarak incelenmiştir. Vincent ve Ozbakkaoglu (2013) [29], yürüttükleri çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonların 1 – 6 katmanlı karbon FTEK tüp ve FTEK şeritler ile sargılanmasının betonun mekanik özellikleri üzerine etkisini 55 adet silindirik deney elemanı ile incelemişlerdir. Elde edilen deneysel sonuçlara göre FTEK tüp ve FTEK şeritlerin başarılarının birbirine oldukça yakın olduğu vurgulanmıştır. Vincent ve Ozbakkaoglu'nun (2013) [29] çalışmasında ve Ozbakkaloglu vd. (2013) [28] tarafından incelenen 88 eksenel gerilme-gerinim modelinin kurulmasında, toplamda 3000'den fazla deney elemanı ile yürütülen çalışmaların %90'ından fazlasında tam sargılama kullanılmıştır. Şeritlerle kısmi sargılama konusunda oldukça kısıtlı sayıda çalışma mevcuttur [26, 27, 30-35]. Park vd. (2008) [31], FTEK ile kısmi sargılamanın, daha az FTEK malzemesi gerektireceğini ve tam sargı FTEK'e göre daha kolay ve hızlı uygulanabileceğini savunmuştur. Ayrıca, etriye aralığı yetersiz olan mevcut betonarme kolonlar için boyuna donatıların yerel burkulması etkin bir şekilde sınırlandırılabilirdiğinden seyrek etriyelerin arasına kısmi FTEK sarılmasıyla kolonların performansının iyileştirildiği araştırmacılar tarafında vurgulanmıştır [26, 27, 34]. Bununla birlikte, mevcut betonarme kolonların hasar almış kısmına kısmi FTEK sarılması tüm kolon boyunca FTEK sarılmasına gerek kalmadan kolonların nihai yük taşıma kapasitelerini önemli ölçüde artırmıştır [36]. Saadatmanesh vd. (1994) [37] tarafından karbon

ve cam kompozit şeritlerle güçlendirilmiş beton kolonlar üzerinde yürütülen analitik çalışmalar bu güçlendirme yönteminin sismik olarak yetersiz beton kolonların mukavemetini ve sünekliliğini etkin bir şekilde artırmak için kullanılabileceğini göstermiştir.

Geçmişte gerçekleştirilen çalışmaların birçoğu anlaşılacağı üzere eksenel yüklü beton ve betonarme kolonlar üzerine olmuştur. Hadi (2006a) [38] ise yürüttüğü çalışmada FTEK şeritler ile sargılanmış dokuz adet yüksek dayanımlı beton kolonu dış merkezli ve eş merkezli yük altında test etmiştir. Deneysel sonuçlar üzerinde gerçekleştirilen farklı dış merkezlikler ve farklı sargılama malzemeler arasındaki karşılaştırmalardan önemli bulgular elde etmiştir. Öyle ki, FTEK kompozit ile gerçekleştirilen sargılama beton kolonun gücünü önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, deneye dış merkezli yük dâhil edildiğinde büyük ölçüde mukavemet kaybı gözlemlenmiştir. Eksantrik yük altındaki sargılanmış bir kolonun maksimum yük taşıma kapasitesinin doğrudan eksantrikliğin büyüklüğü ile ilişkili olduğu tespit edilmiş ve daha büyük bir eksantriklik daha küçük bir maksimum yük taşıma kapasitesiyle sonuçlanmıştır. Ancak bir diğer önemli tasarım kriteri olan yanal sehim ile dış merkezlik arasında doğrudan bir ilişkisi kurulamamıştır. Bunların yanı sıra sargılanmış kolonların göçme olmaksızın büyük deformasyonlar yapabileceği gözlemlenmiştir. Ayrıca, hem eş merkezli hem de dış merkezli yük altında gerçekleştirilen deneylerde FTEK şeritlerle sarılı kolonların, cam FTEK sargılı ve sargısız betonarme kolonlara kıyasla daha yüksek yük taşıma kapasitesine ve sünekliliğe sahip olduğu görülmüştür. Yine, Hadi (2006b) [39] tarafından yürütülen çalışmada FTEK ile sarılı ve dış merkezli olarak yüklenmiş altı beton kolonu test edilmiştir. Deney sonuçları, FTEK ile sargılamanın beton kolonları güçlendirmede iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Sadeghian vd. (2010) [40], dış merkezli yükleme altında FTEK şeritlerle güçlendirilmiş betonarme dikdörtgen kolonların davranışını incelemek amacıyla guseli yedi adet büyük ölçekli (200 x 300 x 2700 mm) deney elemanı hazırlamış ve bu kolonları göçmeye kadar dış merkezli yüklemeye maruz bırakmışlardır. FTEK kalınlığı, fiber lif yönü ve dış merkezlik gibi parametreler dikkate alınmıştır. Bu parametrelerin yük-deplasman ve moment-eğrilik davranışları üzerindeki etkileri ile boyuna ve yanal şekil değiştirmelerin deney elemanlarının basınç ve çekme yüzeyleri üzerindeki değişimi incelenmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının güçlendirilmemiş deney elemanları ile benzer yük-deplasman eğrilerine sahip olduğu vurgulanmıştır. Tüm eğrilerin ilk kısmı çekme donatılarının akma noktasına kadar yaklaşık olarak doğrusal oluşmuştur. FTEK'nin eksenel sekant rijitliği ve akma dayanımı iyileşmiştir. Akma noktasından sonra FTEK'ler etkin bir şekilde çalışmış, bu nedenle tüm eğrilerin plastik bölgesinde sınırlı rijitlik azalması gerçekleşmiştir.

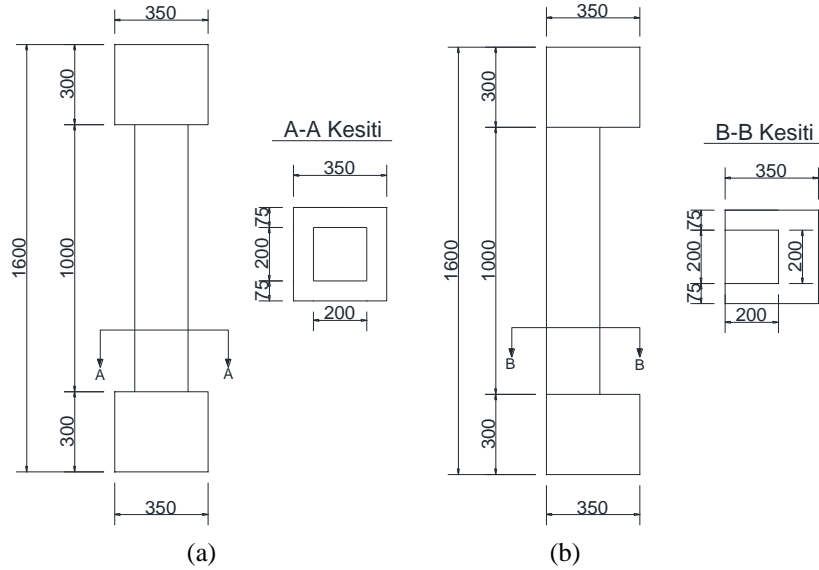
Gerçekleştirilen literatür çalışması sonucunda hem eş merkezli hem de dış merkezli yüklemenin değişken olduğu çalışma sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra betonarme kolonların kısmi yani şeritlerle güçlendirmesine ait çalışma sayısının da yetersiz olduğu, araştırmacıların genellikle kolon tümünü sargıladığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak ankraj kullanımının da sınırlı olduğu düşünülerek, yükleme tipi (eş merkezli ve dış merkezli) ve ankraj varlığının değişkenler olduğu bir deneysel çalışma planlanmıştır. Bu kapsamda 2 adet referans olmak üzere, 4 adet betonarme kolon FTEK şeritlerle sarılmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarından ikisi ankrajlı diğer ikisi ise ankrajsızdır. Ankraj olarak fan tipi ankraj kullanılmıştır. Eş merkezli ve dış merkezli olarak gerçekleştirilen eksenel yüklemeler sonucunda deney elemanlarının maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, sünekliliği ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

2 DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney elemanları ve malzeme

Yürütülen deneysel çalışma kapsamında boyutları Şekil 1'de gösterilen, kare kesitli büyük ölçekli betonarme kolon deney elemanları tasarlanmış ve üretilmiştir. Betonarme kolon deney elemanları C25 sınıfı beton basınç dayanımına sahip ve yetersiz sargı donatılı olarak tasarlanmıştır. Betonarme kolon deney elemanlarında boyuna donatı olarak 10 mm çapında nervürlü inşaat donatısı kullanılmıştır. Kare kesitli betonarme kolonlarda kolon kesiti köşelerinde 4 adet boyuna donatı kullanılmış olup, sargılama donatısı olarak 4 mm çapında düz inşaat donatısı kullanılmıştır. Deney elemanlarında sargılama donatısı olarak kullanılan standart etriye donatısının aralığı 200 mm'dir. Donatı detayları Şekil 2'de verilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında 2 adeti onarım uygulanmamış referans test elemanı olmak üzere toplamda 6 adet kare kesitli betonarme kolon deney elemanı üretilmiş ve monotonik artan konsantrik eş merkezli ve dış merkezli eksenel yükleme etkisi altında göçme gerçekleşene kadar test edilmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler, yükleme tipi ile şerit bindirme bölgelerinde FTEK fan tipi ankraj kullanılıp kullanılmamasıdır. Deney elemanlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Deney elemanı-1 ve Deney elemanı-2 sırasıyla eş merkezli ve dış merkezli eksenel yüklemeler altında test edilmiş referans deney elemanlarıdır. Deney elemanı-3'te ve 4'te 50 mm genişliğindeki FTEK şeritler 119 mm aralıkla kolon etrafına tek kat olarak sarılmıştır. Deney elemanı 4 ankrajlı olarak

güçlendirilmiştir. Deney elemanı-5'te ve 6'da aynı uygulamaya ek olarak FTEK şerit birleşim bölgesinde bir adet FTEK fan tipi ankraj kullanılmıştır. Çelik donatının mekanik özellikleri Tablo 2'de, karbon FTEK ve epoksi malzeme özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

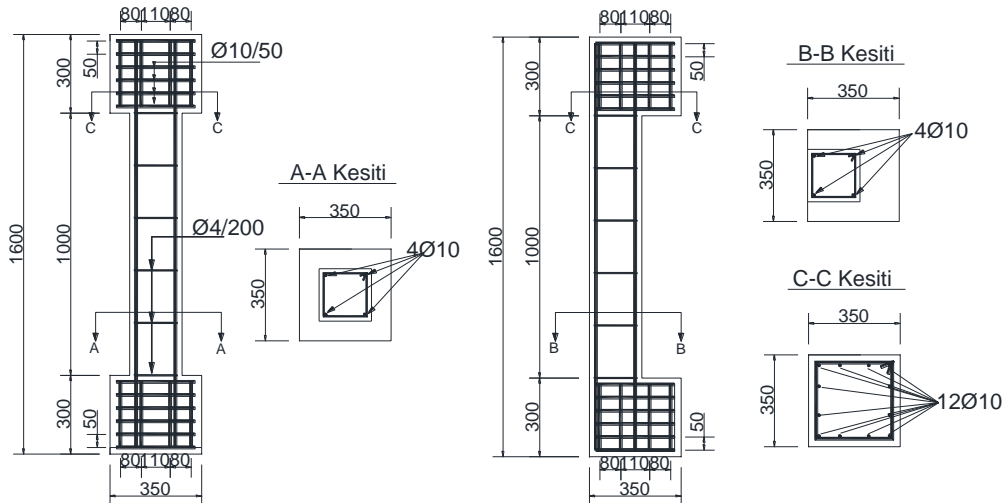


Şekil 1. (a) eş merkezli yükleme ve (b) dış merkezli yükleme için deney elemanlarının boyutları

Kare kesitli betonarme kolon deney elemanlarının Şekil 3'te gösterildiği gibi üretilmesi tamamlandıktan sonra, hedeflenen beton basınç dayanımlarına ulaşması için deney elemanları ilk bir hafta kür ortamında tutulmuştur. Bu aşamadan sonra FTEK şeritler ile geliştirilen onarım detaylarının kolonlara uygulanması aşamasında gelinmiştir. Deneysel çalışmada Sika (C) firmasının ürünleri olan karbon takviyeli elyaf kumaş (FTEK) ve önerilen özel çift bileşenli epoksi malzemeleri kullanılmıştır. Bu malzemelerin üretici firmadan temin edilen özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Uygulanan onarım yönteminin detayları Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney El. #	Beton Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Yükleme Tipi	FTEK Şerit Geniliği (mm)	FTEK Şeritler Arasındaki Boşluk (mm)	Ankraj Kullanımı	
1	25	Eş merkezli	50	119	Yok	
2		Dış merkezli				Güçlendirme uygulanmayan referans deney elemanları
3		Eş merkezli			Yok	
4		Dış merkezli				
5		Eş merkezli			Yok	
6		Dış merkezli				Var



Şekil 2. Donatı detayları

Tablo 2. Çelik donatının mekanik özellikleri

Çap (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Dayanımı (MPa)	Tipi
4	395	457	Düz
10	489	575	Nervürlü

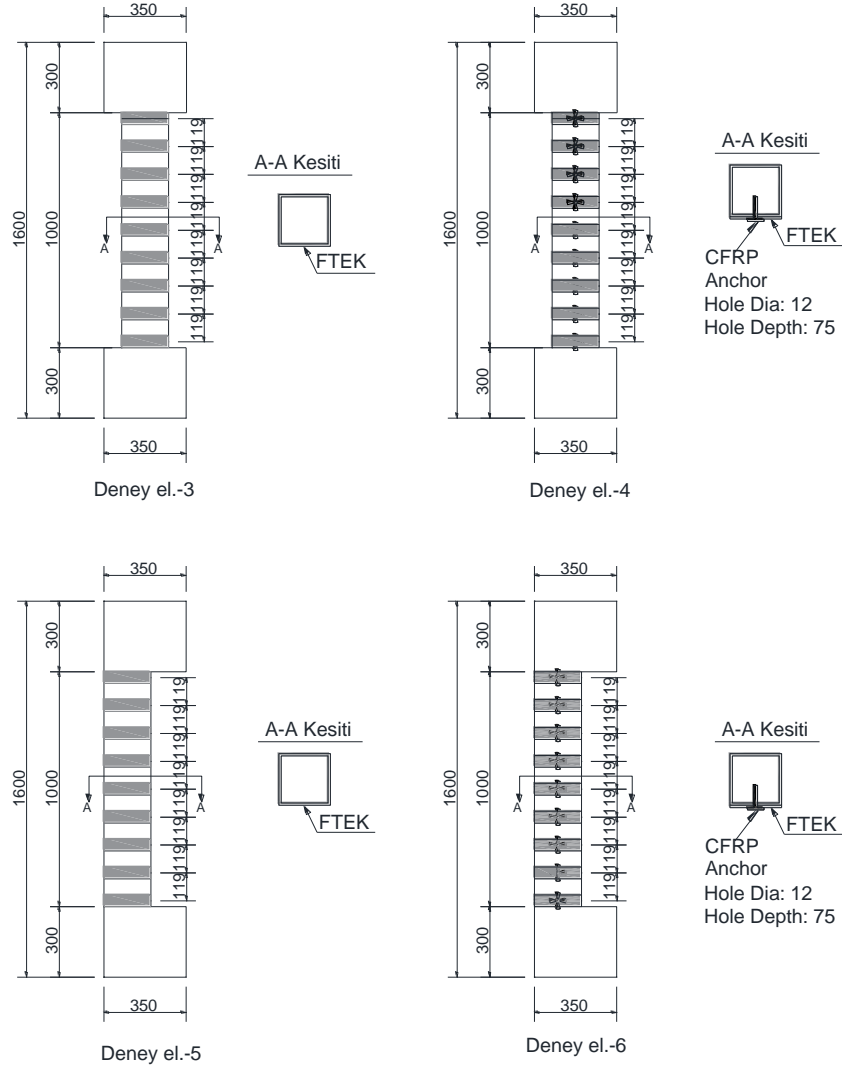
Tablo 3. Karbon TEK ve epoksi malzemelerinin özellikleri

Karbon TEK malzemesinin özellikleri	
Özellik	Değer
Ağırlık	230 gr/m ²
Kalınlık	0.12 mm
Çekme dayanımı	4100 MPa
Elastisite modülü	231 GPa
Kopma uzaması	1.7%
Birim hacim ağırlık	1.75–2.00 (g/cm ³)
Epoksi malzemesinin özellikleri	
Özellik	Değer
Birim hacim ağırlık	1.31 kg/lt
Karışım oranı	White/Grey Compound =4/1
Uygulama sıcaklığı	Min +10oC, mac +35oC
Çekme dayanımı	30 MPa
Elastisite modülü	3800 MPa

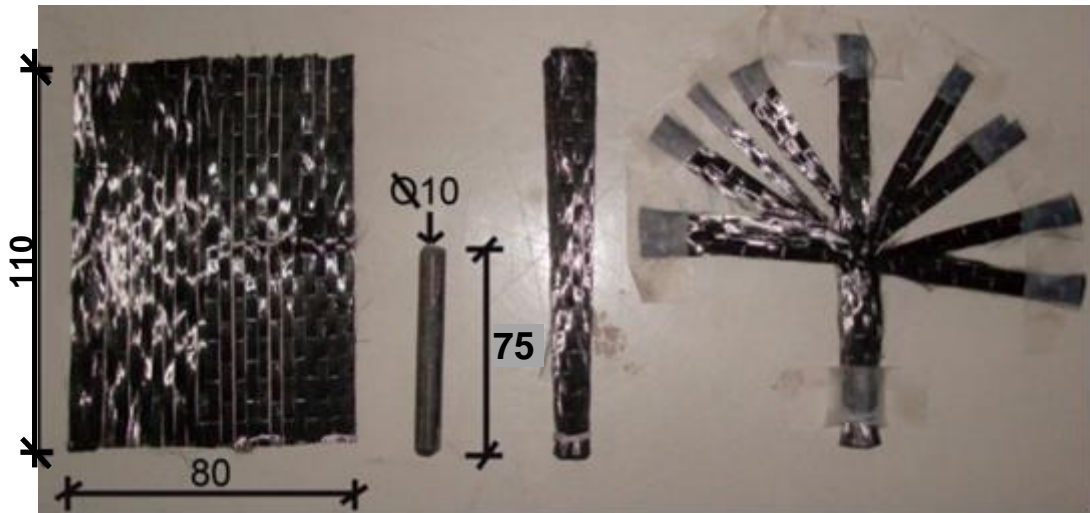


Şekil 3. Deney elemanlarının üretilmesi ve kürlenmesi

Deney elemanlarına ankraj uygulama işleminde güçlendirme çalışmalarında yaygın olarak tercih edilen FTEK fan tipi ankraj seçilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan fan ankrajları 75 mm uzunluğunda ve 10 mm çapındaki donatıya 110 mm genişliğinde ve 80 mm uzunluğunda FTEK şerit sarılarak üretilmiştir. FTEK ankrajlarda donatının dışında kalan 45 mm'lik kısım 10 mm genişliğinde 9 adet parçaya fan olarak yapıştırılacak şekilde ayrılmıştır. Ankraj uygulaması yapılması için 12 mm çapında ve 75 mm derinliğinde delikler açılmıştır. Çalışmada kullanılan FTEK fan tipi ankrajın özellikleri ve geometrik boyutları **Şekil 5**'te verilmiştir.



Şekil 4. Deneysel elemanlarının güçlendirme detayları



Şekil 5. Fan tipi ankraj detayları (ölçüler mm'dir)

2.2 Deneysel ve ölçüm düzeneği

Çalışmanın yürütüldüğü deneysel ve ölçüm düzeneği ile ilgili detaylar Şekil 6'da verilmiştir. Deneysel düzeneği 3000 kN aksiyel yük uygulayabilecek kapasiteye sahip bir sistemdir. Konsantrik aksiyel yük betonarme kolon deneysel elemanlarına motor kontrollü hidrolik sistem ile uygulanmıştır. Yüklemenin gerçekleştirildiği hidrolik sistemde

motor vasıtasıyla yükleme hızı ayarlanmış ve sabit tutulmuştur. Çalışmada yükleme hızı 1 kN/s olarak belirlenmiştir. Deney elemanları monotonik olarak atılan eksenel yükleme etkisi altında göçme meydana gelene kadar yüklenmiş ve deneyler eksenel yük-deplasman grafiği çizdirilerek takip edilmiştir. Betonarme deney elemanlarına uygulanan eksenel yük 3000 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Uygulanan eksenel yük etkisi ile betonarme kolonlarda meydana gelen eksenel deplasman değerleri ise deney düzeneğine yerleştirilen 2 adet 100 mm kapasiteli Linear variable differential transformer (LVDT) ile ölçülmüştür. Yük-deplasman grafikleri her iki eksenel deplasman değerinin ortalaması alınarak çizilmiştir. Tüm veriler bir veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılarak değerlendirilmiştir.

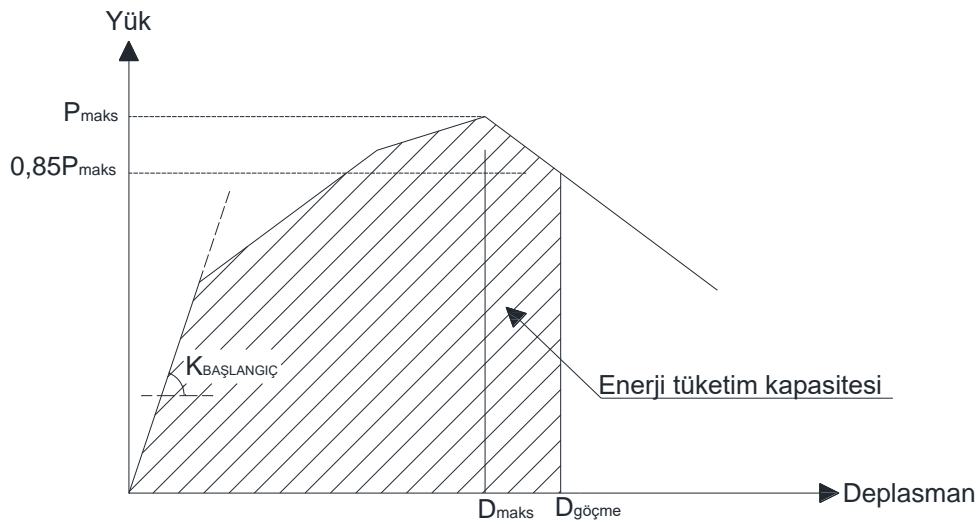
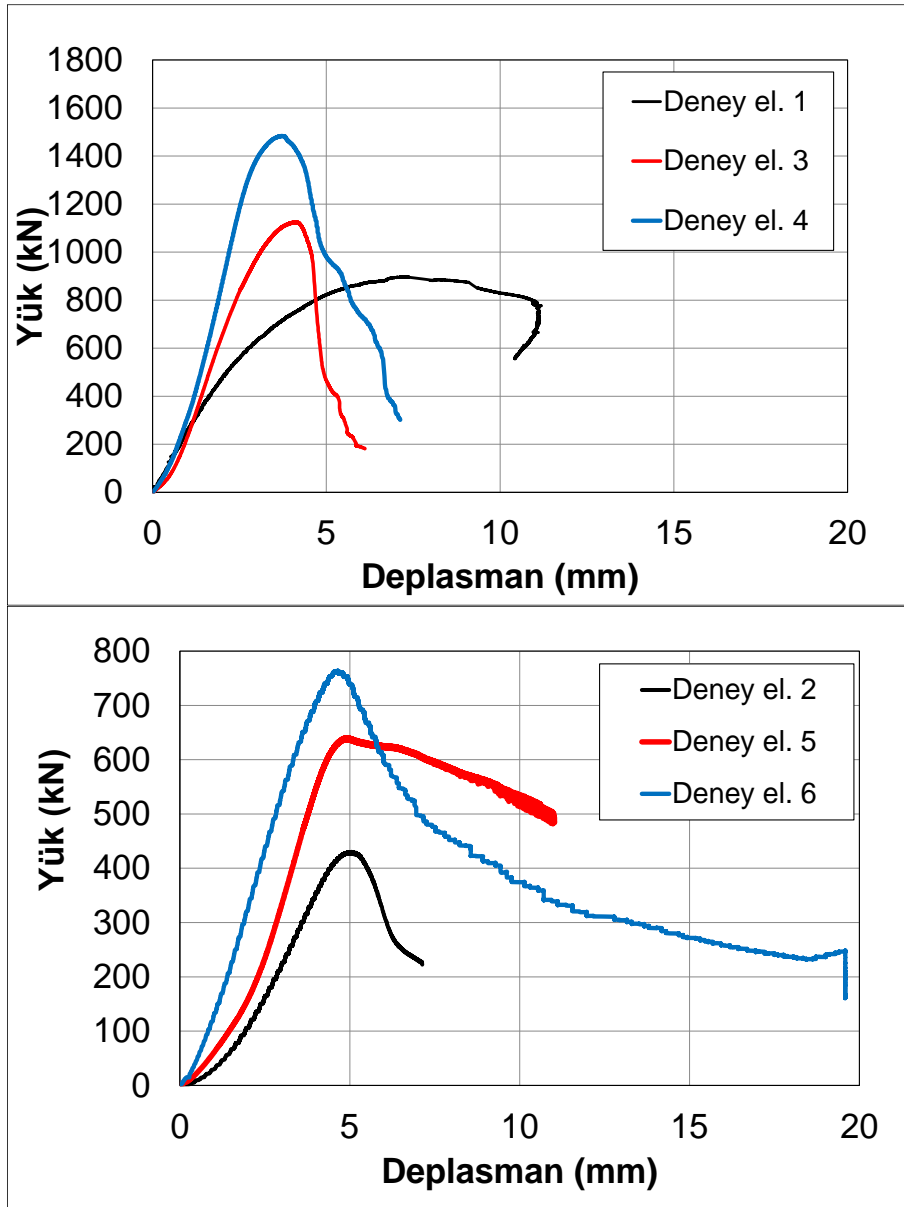


Şekil 6. Deney ve ölçüm düzeneği

3 DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen yük-deplasman grafikleri çalışma kapsamında incelenen değişkenlere göre gruplanarak Şekil 7’de verilmiştir. Yük deplasman grafikleri kullanılarak deney elemanlarının davranış ve performansının yorumlanması ve karşılaştırılması için maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi gibi değerler hesaplanmıştır. Karşılaştırmalar ve yorumlar deneysel programda yer alan değişkenler dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 4’te verilmiştir.

Maksimum taşıma gücü kapasiteleri yük-deplasman grafiklerinde ulaşılan maksimum yük değeri okunarak elde edilmiştir. Maksimum taşıma gücü değerlerindeki deplasman, akma deplasman değeri olarak kabul edilmiştir. Bu değer daha sonra deplasman süneklik oranlarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Deplasman süneklik oranları göçme anındaki deplasman değerinin akma deplasman değerine oranlanması ile hesaplanmıştır. Göçme noktası olarak, maksimum taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra %15 yük kaybının meydana gelerek taşıma gücünün 85%'ine düştüğü nokta seçilmiştir. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik değerleri yük-deplasman grafiklerinin başlangıç bölgesindeki rijitliğin değişime uğramadığı ilk bölümünün eğimi hesaplanarak elde edilmiştir. Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesi değerleri yük-deplasman grafiklerinin altındaki alan hesaplanarak elde edilmiştir. Enerji tüketim kapasiteleri eksenel yük-deplasman grafiklerinin göçme noktasına kadar olan kısımları kullanılarak hesaplanmıştır. Enerji tüketim kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan göçme noktası deplasman süneklik oranlarını hesaplamak için kullanılan göçme noktası ile aynı noktadır. Hesaplarda kullanılan noktalar ve yaklaşımlar Şekil 8'deki tipik eksenel yük-deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



Tablo 4. Deneysel sonuçlar

Deney elemanı	Maksimum yük taşıma kapasitesi (kN)	En büyük yükteki deplasman (mm)	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Deplasman süneklik oranı	Enerji tüketim kapasitesi (kN-mm)
1	896,89	7,37	211,83	1,52	6572
2	430,35	5,05	70,39	1,14	1674
3	1125,06	4,16	244,49	1,11	5857
7	1483,76	3,70	258,57	1,22	7991
11	640,36	4,85	118,75	1,97	6156
15	764,03	4,66	151,25	1,54	7424

Referans deney elemanı-1 ve deney elemanı-2 sırasıyla eş merkezli ve dış merkezli olarak aksel yüklerle maruz bırakılmıştır. Dış merkezli yüklemeye maruz kalan deney elemanı-2'nin maksimum yük taşıma kapasitesi, en büyük yükteki deplasman, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerleri deney elemanı-1'e göre sırasıyla %52, %31, %66, %25 ve %75 daha azdır.

Deney elemanı-3 ankrajsız olarak güçlendirilmiş ve eş merkezli aksel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney elemanı-3'ün maksimum yük taşıma kapasitesi deney elemanı-1'in 1,25 katıdır. Deney elemanı-3'ün en büyük yükteki deplasman, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerleri ise deney elemanı-1'e göre sırasıyla %44, %27 ve %11 daha azdır. Başlangıç rijitliği değeri ise referans deney elemanına göre %15 daha fazladır. Deney elemanı-4 ise ankrajlı olarak güçlendirilmiş ve eş merkezli aksel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney elemanı-4'ün maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi referans deney elemanı-1'e göre sırasıyla %65, %22 ve %22 daha fazladır. En büyük yükteki deplasman ve deplasman süneklik oranında ise yine sırasıyla %50 ve %20 azalma meydana gelmiştir.

Deney elemanı-5 ankrajsız olarak güçlendirilmiş ve dış merkezli aksel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney elemanı-5'in referans deney elemanı-2'ye göre yalnızca en büyük yükteki deplasman oranı %4 azalış göstermiştir. Diğer değerler olan maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerleri sırasıyla %49, %69, %73 ve %268 artış göstermiştir. Deney elemanı-6 ise ankrajlı olarak güçlendirilmiş ve dış merkezli aksel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney elemanı-6'nın maksimum yük taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi değerleri referans deney elemanı-2'ye göre sırasıyla %78, %115, %35 ve %343 daha fazladır. Deney elemanı-6'nın referans deney elemanı-2'ye göre yalnızca en büyük yükteki deplasman oranı %8 oranında azalış göstermiştir.



Şekil 9. Referans deney elemanlarının hasar dağılımı

Referans deney elemanlarına ait hasar dağılımı Şekil 9'da, güçlendirilmiş deney elemanlarına ait hasar dağılımı ise Şekil 10'da gösterilmiştir. Deney elemanı eş merkezli aksel yüklemeye maruz kaldığı için öncelikle kabuk betonun ezilme ve dökülmesinin ardından donatılarda meydana gelen burkulma sonucunda göçmeye maruz kalırken, deney elemanı-2 dış merkezli aksel yüklemeye bağlı olarak çekme bölgesinde eğilme çatlaklarının oluşmasının ardından, donatıların kopması sonucunda göçmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanları içerisinde eş

merkezli aksenal yüklemeye maruz kalanlar, referans deney elemanına göre daha az deplasmanda daha büyük yüklerle ulaşmıştır. Ankrajlı olan deney elemanı-4'te şeritlerde kopma gözlemlenmiştir. Dış merkezli aksenal yüke maruz bırakılan deney elemanı-5'in şeritlerinde sıyrılma görülürken, ankrajlı olan deney elemanı-6'da bu davranış engellenmiştir ve daha büyük yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır.



Şekil 10. Güçlendirilmiş deney elemanlarında meydana gelen hasar dağılımı

4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, FTEK ile güçlendirilen büyük ölçekli betonarme kolonların deneysel davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için, yükleme tipi (eş merkezli ve dış merkezli) ve ankrajın varlığının değişkenler olduğu deneysel bir çalışma yürütülmüştür. 2 adeti referans olmak üzere, 4 adet betonarme kolon FTEK şeritlerle sarılmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarından ikisi ankrajlı ikisi ise ankrajsızdır. Ankraj olarak fan tipi ankraj kullanılmıştır. Eş merkezli ve dış merkezli olarak gerçekleştirilen aksenal yüklemeler sonucunda, deney elemanlarının maksimum taşıma kapasitesi, başlangıç rijitliği, sünekliği ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Dış merkezli aksenal yükleme deney elemanlarının maksimum yük taşıma ve enerji tüketim kapasitesini önemli derecede azaltmıştır.
- FTEK şeritlerle güçlendirilen deney elemanlarının maksimum yük taşıma kapasitesi referans deney elemanlarına göre 1,25 – 1,77 kat arasında daha büyüktür.
- Eş merkezli aksenal yüklemeye maruz bırakılan ve FTEK şeritlerle güçlendirilen deney elemanlarının enerji tüketim kapasitelerindeki artış sınırlı kalırken, dış merkezli olarak yüklenen deney elemanların enerji tüketim kapasitesi yaklaşık 3,5 kata kadar artmıştır.
- Güçlendirilmiş deney elemanlarının tamamının en büyük yükteki deplasman miktarı azalırken, başlangıç rijitliği değerleri artmıştır.
- Eş merkezli aksenal yüklemeye maruz bırakılan ve FTEK şeritlerle güçlendirilen deney elemanlarının deplasman süneklik oranları azalırken, dış merkezli olarak yüklenen deney elemanların deplasman süneklik oranı %72'ye kadar artış göstermiştir.

Yazar Katkıları

Ömer MERCİMEK: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Veri İyileştirme, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Proje yönetimi

Yaşar ERBAŞ: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Materyaller / Kaynaklar, Veri İyileştirme, Yazım - Özgün Taslak, Yazım - Değerlendirme & Düzenleme, Görselleştirme, Proje yönetimi, Finansman temini

Mehmet BARAN: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Süpervizyon, Finansman temini

Ozgur ANIL: Kavramlaştırma, Metodoloji, Doğrulama, Veri analizi, Araştırma, Materyaller / Kaynaklar, Süpervizyon

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] M. Rodriguez, R. Park, “Seismic load tests on reinforced concrete columns strengthened by jacketing”, *ACI Structural Journal*, vol. 91(2), p.p. 150–159. 1994.
- [2] D. R. Stoppenhagen, J. O. Jirsa, L. A. Wyllie, “Seismic repair and strengthening of a severely damaged concrete frame”, *ACI Structural Journal*, vol. 92(2), p.p. 177–187. 1995.
- [3] E. S. Júlio, F. Branco, V. D. Silva, “Structural Rehabilitation of Columns using Reinforced Concrete Jacketing”, *Progress in Structural Engineering and Materials*, vol. 5(1), p.p. 29-37. 2003.
- [4] N. B. S. Júlio., Fernando, A. B. Branco., Vítor, D. Silva. “Reinforced Concrete Jacketing—Interface Influence on Monotonic Loading Response”, *ACI Structural Journal*, vol. 102(2), p.p. 252-257. 2005.
- [5] E. S. Júlio, F. Branco, V. D. Silva, “Concrete-to-Concrete Bond Strength—Influence of the Roughness of the Substrate Surface”, *Construction and Building Materials*, vol. 18(9), p.p. 675-681. 2004.
- [6] L. L. Chung, L. Y. Wu, K. H. Lien, “Experimental study on retrofit of school buildings by adding sandwich columns to partition brick walls”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.40, p.p. 1417-1434. 2011.
- [7] Y. H. Chai, M. J. N. Priestley, F. Seible, “Analytical model for steel jacketed Reinforced Concrete circular bridge columns”, *ASCE Journal of Structural Engineering*, vol.120(8), p.p. 2358–76. 1994.
- [8] C. Mahrenholtz, P. C. Lin, A. C. Wu, K. C. Tsai, S. J. Hwang, R. Y. Lin, M. Y. Bhayusukma, “Retrofit of reinforced concrete frames with buckling-restrained braces”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.44, p.p. 59-78. 2015.
- [9] J. Shafaei, A. Hosseini, M. S. Marefat, J. M. Ingham, “Rehabilitation of earthquake damaged external RC beam-column joints by joint enlargement using prestressed steel angles”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.46, p.p. 291-316. 2017.
- [10] A. Herwig, M. Motavalli, “Axial behavior of square Reinforced Concrete columns strengthened with lightweight concrete elements and unbonded GFRP wrapping”, *ASCE Journal of Composites for Construction*, vol.16, p.p. 747–52. 2016.
- [11] Y. M. Hu, T. Yu, J. G. Teng, “FRP confined circular concrete filled thin steel tubes under axial compression”, *ASCE Journal of Composites for Construction*, vol.15(15), 850–60. 2011.
- [12] A. Parvin, A. Brighton, “Fiber Reinforced Polymer composites strengthening of concrete column under various loading conditions”, *Polymers*, vol. 6, p.p. 1040–56. Brighton,
- [13] K. Olivova, J. Bilcik, “Strengthening of concrete columns with FTEK”, *Slovak Journal of Civil Engineering*, vol.1, p.p. 1–9. 2009.
- [14] J. A. O. Barros, R. K. Varma, M. Sena-Cruz, A. F. M. Azevedo, “Near surface mounted FRP strips for the flexural strengthening of RC columns—experimental and numerical research”, *Engineering Structures*, vol. 30(12), p.p. 3412–25. 2008.

- [15] D. L. Lorenzis, A. Nanni, L. A. Tegola, “Strengthening of Reinforced Concrete structures with Near Surface Mounted FRP Rods”, *International Meeting on Composite Materials PLAST 2000*.
- [16] G. Ze-Jun, J. C. Michael, C. Tsu-Wei, Y. C. P. David, “The retrofitting of reinforced concrete column-to-beam connections”, *Composites Science and Technology*, vol. 58(8), p.p. 1297-1305. 1998.
- [17] S. A. Sheikh, “Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers”, *Engineering Structures*, vol. 24(7), p.p. 869-879. 2002.
- [18] M. A. ElGawady, P. Lestuzzi, M. Badoux, “Shear strength of URM walls retrofitted using FRP”, *Engineering Structures*, vol. 28(12), p.p. 1658-1670. 2006.
- [19] H. Wei, Z. Wu, X. Guo, F. Yi, “Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns confined with FTEK”, *Engineering Structures*, vol. 31(10), p.p. 2495-2505. 2009.
- [20] W. W. Chen, Y. K. Yeh, S. J. Hwang, C. H. Lu, C. C. Chen, “Out-of-plane seismic behavior and FTEK retrofitting of RC frames infilled with brick walls”, *Engineering Structures*, vol. 34, p.p. 213-224. 2012.
- [21] Y. T. Obaidat, G. Abu-Farsakh, A. M. Ashteyat, “Retrofitting of partially damaged reinforced concrete beam-column joints using various plate-configurations of FTEK under cyclic loading”, *Construction and Building Materials*, vol. 198, p.p. 313-322. 2019.
- [22] L. Lam, J. G. Teng, “Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete”. *Construction and building materials*, vol. 17(6-7), p.p. 471-489. 2003a
- [23] L. Lam, J. G. Teng, “Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns”, *Journal of reinforced plastics and composites*, vol. 22(13), p.p. 1149-1186. 2003b.
- [24] R. A. Hawileh, W. Nawaz, J. A. Abdalla, E. I. Saqan, “Effect of flexural FTEK sheets on shear resistance of reinforced concrete beams”. *Composite Structures*, vol. 122, p.p. 468-476. 2015.
- [25] W. Nawaz, R. A. Hawileh, E. I. Saqan, J. A. Abdalla, “Effect of longitudinal carbon fiber-reinforced polymer plates on shear strength of reinforced concrete beams”, *ACI Structural Journal*, vol. 113(3). 2016.
- [26] R. Ghoroubi, Ö. Mercimek, A. Özdemir, Ö. Anil, “Experimental investigation of damaged square short RC columns with low slenderness retrofitted by FTEK strips under axial load”, *Structures*, vol. 28, p.p. 170-180. 2020.
- [27] Ö. Mercimek, R. Ghoroubi, Ö. Anil, C. Çakmak, A. Özdemir, Y. Koprman, “Strength, ductility, and energy dissipation capacity of RC column strengthened with FTEK strip under axial load”, *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, p.p. 1-19. 2020.
- [28] T. Ozbakkaloglu, J. C. Lim, T. Vincent, “FRP-confined concrete in circular sections: Review and assessment of stress-strain models”. *Engineering Structures*, vol. 49, p.p. 1068-1088. 2013.
- [29] T. Vincent, T. Ozbakkaloglu, “Influence of concrete strength and confinement method on axial compressive behavior of FRP confined high-and ultra high-strength concrete”, *Composites Part B: Engineering*, vol. 50, p.p. 413-428. 2013.
- [30] J. A. Barros, D. R. Ferreira, “Assessing the efficiency of FTEK discrete confinement systems for concrete cylinders”, *Journal of Composites for Construction*, vol. 12(2), p.p. 134-148. 2008.
- [31] T. W., Park, U. J., Na, L., Chung, M. Q. Feng, “Compressive behavior of concrete cylinders confined by narrow strips of FTEK with spacing”. *Composites Part B: Engineering*, vol. 39(7-8), p.p. 1093-1103. 2008.
- [32] G. Campione, L. La Mendola, A. Monaco, A. Valenza, V. Fiore, “Behavior in compression of concrete cylinders externally wrapped with basalt fibers”, *Composites Part B: Engineering*, vol. 69, p.p. 576-586. 2015.
- [33] T. M. Pham, M. N. Hadi, J. Youssef, “Optimized FRP wrapping schemes for circular concrete columns under axial compression”, *Journal of Composites for Construction*, vol.19(6), 04015015. 2015.
- [34] G. G., Rousakis Triantafyllou, T. C., A. I. Karabinis, “Axially loaded reinforced concrete columns with a square section partially confined by light GFRP straps”, *Journal of Composites for Construction*, vol.19(1), 04014035. 2015.
- [35] A. Saljoughian, D. Mostofinejad, “Axial-flexural interaction in square RC columns confined by intermittent FTEK wraps”. *Composites Part B: Engineering*, vol. 89, pp. 85-95. 2016.
- [36] H. Wei, Z. Wu, X. Guo, F. Yi, “Experimental study on partially deteriorated strength concrete columns

- confined with FTEK”, *Engineering Structures*, vol. 31(10), p.p. 2495-2505. 2009.
- [37] H. Saadatmanesh, M. R. Ehsani, M. W. Li, Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps. *Structural Journal*, vol. 91(4), p.p. 434-447. 1994.
- [38] M. N. Hadi, “Comparative study of eccentrically loaded FRP wrapped columns.” *Composite structures*, vol. 74(2), p.p. 127-135. 2006a.
- [39] M. N. S. Hadi, “Behaviour of FRP wrapped normal strength concrete columns under eccentric loading.” *Composite structures*, vol.72(4), p.p. 503-511. 2006b
- [40] P. F. Marques, C. Chastre, “Performance analysis of load–strain models for circular columns confined with FRP composites. ” *Composite Structures*, vol. 94(11), p.p. 3115-3131. 2012.