KESMEDE YETERSİZ BETONARME KİRİŞLERİN CFRP İLE DAYANIM VE SÜNEKLİĞİNİN ARTIRILMASI

Özgür ANIL[1], Sinan ALTIN[2] M. Emin KARA[3], Yağmur KOPRAMAN[4], Çelebi MERTOĞLU[5]

[2]Doç. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Maltepe, Ankara, Türkiye, 06570
[1]Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Maltepe, Ankara, Türkiye, 06570
[3]Yrd. Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh Böl., Aksaray, Türkiye
[4]Arş. Gör., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Maltepe, Ankara, Türkiye, 06570
[5]Y.L. Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Maltepe, Ankara, Türkiye, 06570

ÖZET:

Bu çalışmada CFRP şeritler ile güçlendirilmiş kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin kesme dayanımlarındaki ve süneklik düzeylerindeki artışın incelendiği deneysel bir çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Çalışmada hedeflenen amaç kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişleri sünek eğilme davranışı sergileyecek düzeye çıkartmaktır. Deneysel çalışma kapsamında T kesitli, ½ ölçekli, 7 adet basit mesnetli kiriş deney elemanı üretilmiştir. Bir deney elemanı güçlendirilmeden referans elemanı olarak test edilmiş, kalan 6 adet deney elemanı U şeklinde ankrajlı ve ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilmiştir. Çalışmada üç farklı CFRP şerit aralığı seçilmiştir (s_f=125 mm, 150 mm, 200 mm). CFRP şeritlerin uçlarındaki ankrajların betonarme kirişlerin kesme kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında kesme kapasitelerinin artış gösterdiği, ancak sünek eğilme davranışı sergileyecek düzeye çıkamadıkları görülmüştür. Deney elemanları CFRP şeritlerin beton kiriş yüzeyinden soyulması ile gevrek kesme kırılması sergileyerek göçmüşlerdir. Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında kesme dayanımı önemli oranlarda artmış ve süneklik düzeyi de artarak deney elemanları sünek eğilme davranışı sergilemişlerdir. Ankrajsız ve ankrajlı CFRP şeritlerden ölçülen birim deformasyon değerleri karşılaştırıldığında ankrajlı CFRP şeritlerle güçlendirilen deney elemanlarında değerlerin %44 daha büyük olduğu gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Betonarme kiriş, Kesme güçlendirmesi, CFRP şerit, Ankraj

1. GİRİŞ

CFRP son 10 yıl içerisinde ağırlığının hafif olması, uygulama kolaylığı, çevre etkilerine ve korozyona karşı dayanıklılığı, uygulandığı yapı elemanının şeklini değiştirmemesi ve ticari olarak çok farklı çeşit ile şekillerde bulunabilmesi gibi nedenlerden dolayı güçlendirme alanında geniş kullanım alanı bulmuştur. FRP elemanların dışardan uygulanması ile kolon, kiriş, döşeme, duvar, tünel, baca ve silolar gibi birçok çeşit betonarme eleman ya da yapının güçlendirilmesine yönelik çalışmalar literatürde yer almıştır [1-10].

Betonarme kirişlerin tüm kapasitelerini sergilemesi ve süneklik düzeyinin yükselmesi için eğilme davranışının baskın olduğu ve kesme kırılmasından kaçınılan bir tasarım yapılması gerektiği bilinmektedir. Kesme kırılması ani olarak meydana gelen gevrek bir kırılma modudur. Yapılarda bulunan bir çok betonarme kiriş mevcut durumları ile kesme dayanımları yetersiz olup, kesme kırılması riski altındadır. Bu kirişlerin güçlendirilmesi gereklidir. Kesme dayanımı yetersizliğinin birçok nedeni olup, yetersiz kesme donatısı miktarı, korozyon gibi nedenlerden dolayı donatı miktarındaki ve dayanımındaki azalım, kirişlerdeki yükleme değerinin artması ya da yapım ve detaylandırma hataları olarak sayılabilir. Bu gibi durumlarda dıştan yapıştırılan CFRP şeritlerin kesme kapasitesini artırdığı birçok çalışmada incelenmiş ve görülmüştür [1-10]. İncelenen çalışmalarda güçlendirilen kiriş elemanının davranış ve kapasitesini etkileyen en önemli parametrelerin CFRP şerit yapıştırma şekli ve

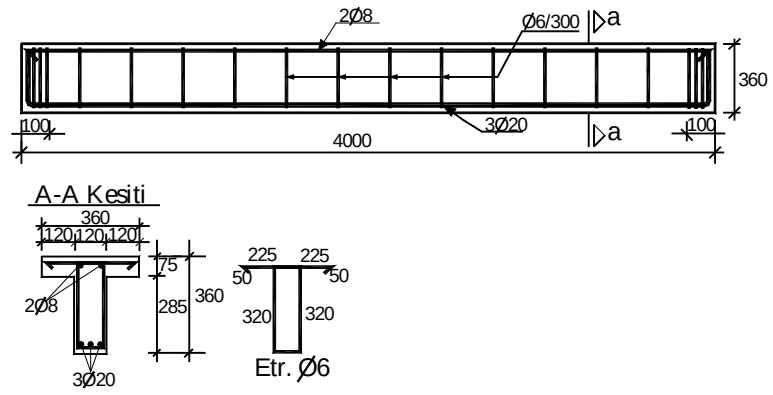
aralığının olduğu belirlenmiştir. Bunun harisicinde CFRP şerit genişliği, katman sayısı, yapıştırma açısı da incelenen diğer değişkenler arasında öne çıkmaktadır [11-19].

Güçlendirme amacıyla yapıştırılan CFRP şeritlerin göçme modlarının kirişin davranışı, dayanımı, rijitliği ve süneklik performansı üzerinde son derece etkili olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan deneysel çalışmalar incelendiğinde betonarme elemanların yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler için üç temel göçme mekanizması olduğu görülmüştür. Gözlenen göçme mekanizmaları, CFRP şeridin beton yüzeyden soyulması, CFRP şerit ve beton yüzey arasındaki epoksinin kayma dayanımının aşılması ve CFRP şeridin kopması olarak sayılabilir. CFRP şeritlerin eksenel çekme kapasitesinin çok yüksek olmasından dolayı kopması çok nadir gözlenen ve istenilen bir mekanizmadır. Bu göçme mekanizmasının görülmesi CFRP şeridin tüm dayanımından yararlanıldığı ve güçlendirmenin amacına ulaştığını gösteren önemli bir belirtidir. Genelikle CFRP şerit kopma dayanımına ulaşmadan çok daha önce CFRP şeridin beton kabuk ile birlikte yüzeyden soyulması ya da epoksinin kayma dayanımının aşılması göçme mekanizmaları çok daha önceden meydana gelmektedir. CFRP şeritler ile güçlendirilen betonarme kirişlerde en çok gözlemlenen göçme mekanizması CFRP şerit ile birlikte beton kabuğunun yüzeyden soyulmasıdır. Bu göçme biçimi betonarme kirişlerin istenilen dayanım ve süneklik düzeyine ulaşmasına engel olmakta ve kirişler çekme donatısı akma kapasitesine ulaşmadan çok daha önceki dayanım düzeylerinde göçmektedir. Araştırmacılar CFRP şerit uçlarında uygulanabilecek ankraj detaylarının bu göçme mekanizmasını engeleyeceği ve dayanım ile süneklik düzeyinde artış sağlayacağını belirtmişlerdir. Ancak bu konudaki araştırmalar son derece sınırlı sayıdadır [18].

Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlenmiştir. Bu çalışmada T kesitli kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişler U şeklinde CFRP şeritler ile sargılanarak güçlendirilmiş ve monotonik dört nokta yüklemesi altında test edilmiştir. Çalışmada üç farklı CFRP şerit aralığı seçilmiştir (s_f=125 mm, 150 mm ve 200 mm). CFRP şeritlerin uç bölümlerinde yine CFRP'den imal edilen fan tipi ankrajlar kullanılmıştır. Ankrajların kirişlerin dayanımı, davranışı ve süneklik düzeyi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

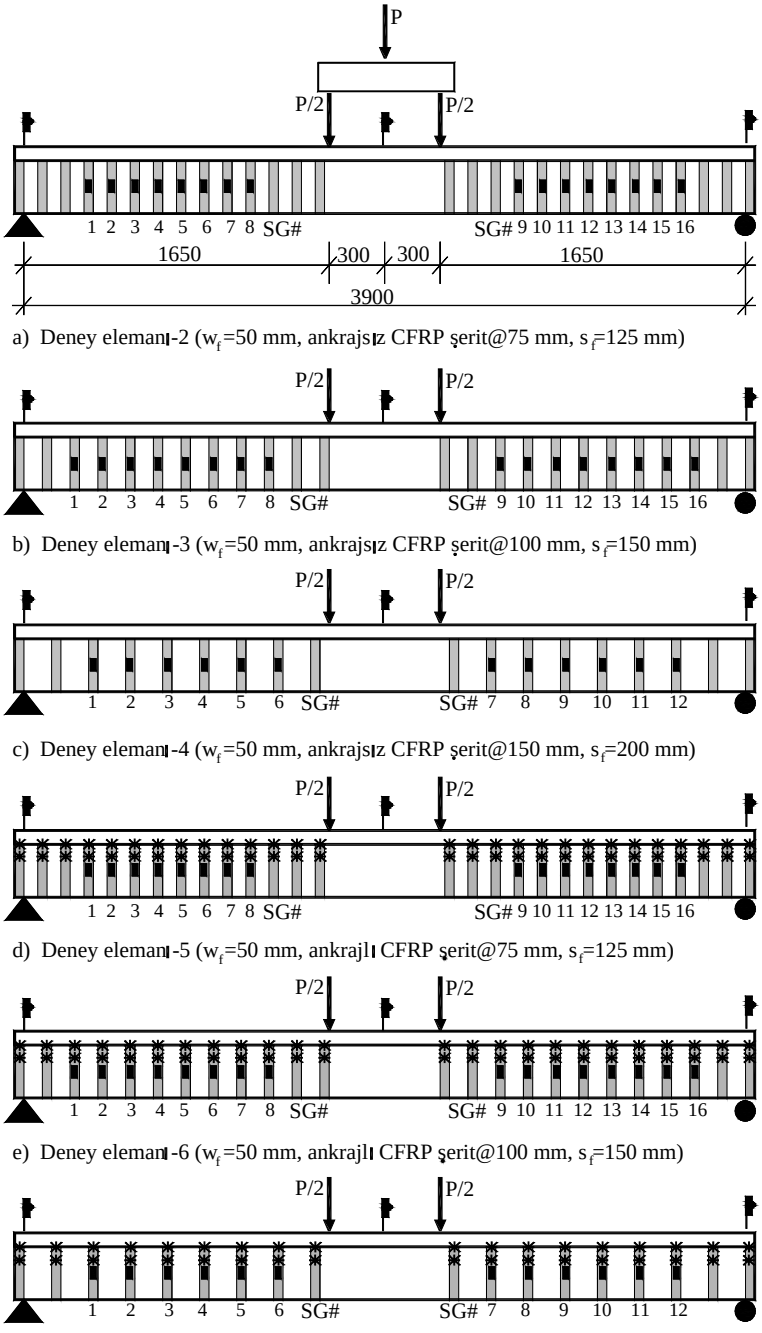
Deneysel programda yedi adet ½ geometrik ölçekli T kesitli betonarme kiriş test edilmiştir. Kirişlerin boyutları ve donatı detayı Şekil 1'de verilmiştir. Deney elemanlarının mesnetler arası açıklığı 3900 mm olup, kiriş kesit boyutları, çekme donatısı ve kesme donatısı detayı özdeştir. Kesme dayanımı yetersiz kiriş deney elemanları 50 mm genişliğinde 930 mm uzunluğunda CFRP şeritlerin U şeklinde kiriş etrafına sarılması ile güçlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan CFRP malzemesi taşıyıcı lifleri tek doğrultuludur. Çalışmada incelenen değişkenler CFRP şeritler arasındaki mesafe ve şerit uçlarında CFRP fan tip ankraj uygulamasının yapılıp yapılmaması olarak sayılabilir.



Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 1. Deney elemanlarının geomerik boyutları ve donatı detayı

Deney elemanı-1 güçlendirilmeden test edilen referans elemanı ve kalan altı deney elemanı ise çeşitli CFRP şerit düzenlemeleri güçlendirilen deney elemanlarıdır. Deney elemanlarında güçlendirme için kullanılan CFRP şerit yerleşimi ve detayları Şekil 2'de sunulmuştur. Deney elemanlarının özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.



a) Deney elemanı-2 (w_f=50 mm, ankrajsız CFRP şerit@75 mm, s_f=125 mm)

b) Deney elemanı-3 (w_f=50 mm, ankrajsız CFRP şerit@100 mm, s_f=150 mm)

c) Deney elemanı-4 (w_f=50 mm, ankrajsız CFRP şerit@150 mm, s_f=200 mm)

d) Deney elemanı-5 (w_f=50 mm, ankrajlı CFRP şerit@75 mm, s_f=125 mm)

e) Deney elemanı-6 (w_f=50 mm, ankrajlı CFRP şerit@100 mm, s_f=150 mm)

f) Deney elemanı-7 (w_f=50 mm, ankrajlı CFRP şerit@150 mm, s_f=200 mm)

Açıklama : ✱ CFRP ankraj
▮ Birim Deformaston ölçer (SG)
LVDT Elektronik deformasyon ölçer

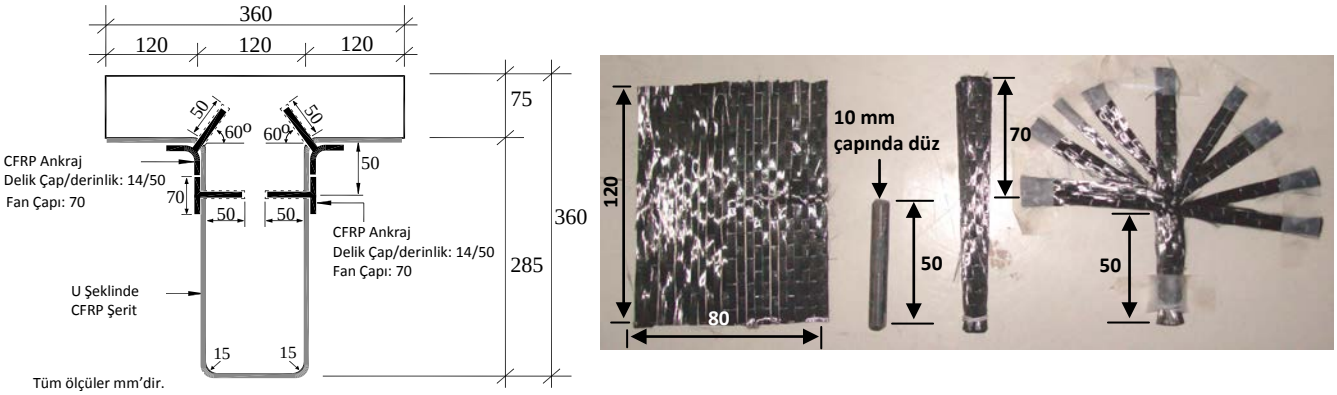
Tüm ölçüler mm'dir.

Şekil 2. Deney elemanlarına uygulanan güçlendirme detayı

Tablo 1. Deney elemanlarının özelikleri

Deney Elemanı No	f_C (MPa)	Kesme Donatısı Oranı ρ_w Çap/Aralık (mm)	CFRP Şerit Özellikleri		
			Genişlik w_f (mm)	Aralık s_f (mm)	Ankraj
1 (Referans)	25.0	0.00056 and 6 / 300	Güçlendirilmemiş referans elemanı		
2 (Güçlendirilmiş)	25.2		50	125	Yok
3 (Güçlendirilmiş)	24.9		50	150	
4 (Güçlendirilmiş)	24.8		50	200	
5 (Güçlendirilmiş)	24.8		50	125	Var
6 (Güçlendirilmiş)	25.0		50	150	
7(Güçlendirilmiş)	24.9		50	200	

Deney elemanı-2, 3, ve 4'de fan tipi CFRP ankrajı uygulanmamış, Deney elemanı-5,6 ve 7'de ise uygulanmıştır. CFRP şerit uçlarında betonarme kiriş gövdesi ve tablası ara kesitinde iki adet ankraj uygulanmıştır. Uygulanan CFRP ankrajların detayları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Fan tipi CFRP ankraj detayı

Deney elemanlarında ankraj delikleri açıldıktan ve CFRP şeritlerin yapıştırılacağı yüzeyde mekanik taşlama aracı ile gerekli düzeltme ve pürüzlendirme işlemi yapıldıktan sonra basınçlı hava ile ankraj delikleri ve yapışma yüzeyleri temizlenmiştir. Daha sonra yüzeye epoksi sürülerek CFRP şeritler yapıştırıldıktan sonra ankraj deliklerine enjektör ile epoksi doldurulmuş ve ankrajlar yerleştirilerek fan şeklinde uç kısımları açılıp CFRP şerit yüzeyine yapıştırılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan CFRP ve epoksinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. CFRP (Sika Wrap 160-C) ve epoksinin (Sikadur 330) özellikleri

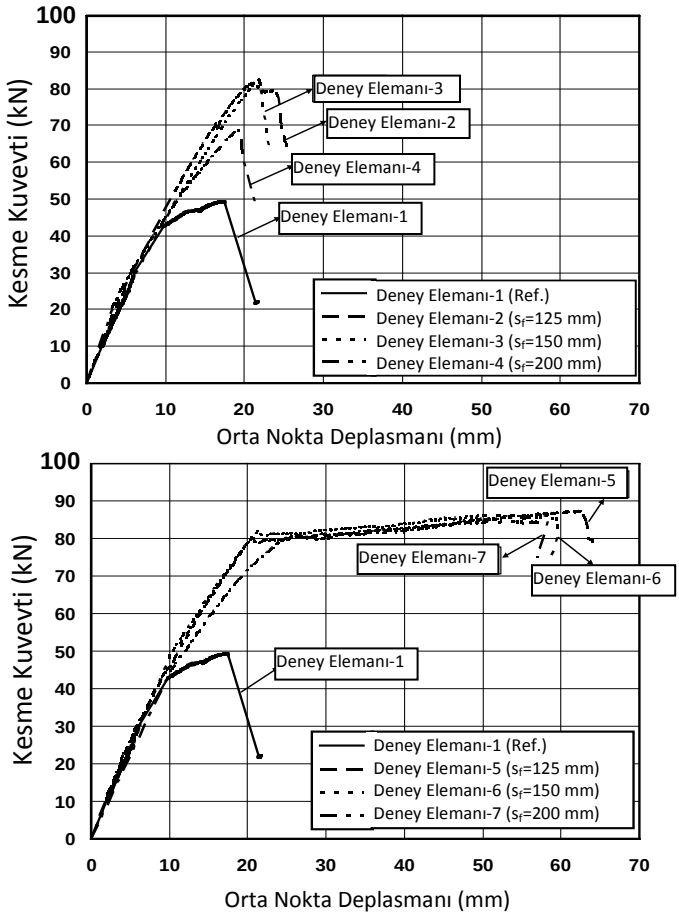
CFRP şerit	**Açıklama***
Kalınlık (mm)	0.12
Çekme Dayanımı (MPa)	4100
Elastik Modül (MPa)	231000
Masimum Kopma Birim Şekil Değiştirmesi (%)	1.7 %
Epoksi	**Açıklama***
Çekme Dayanımı (MPa)	30
Elastik Modül (MPa)	3800

*Bu değerler üretici firma tarafından sağlanmıştır.

Deney düzeneği ve ölçüm aletlerinin yerleşimi ile ilgili detaylar Şekil 2'de verilmiştir. Deney elemanlarının hepsi dört nokta yükleme ile test edilmiş olup a/d oranı 5'dir. Deney elemanlarına yükleme monotonik olarak göçme meydana gelene kadar artırılarak uygulanmıştır. Yükleme 600 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile uygulanıp 400 kN kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Kiriş orta nokta deplasmanı ve mesnet çökmesi değerleri elektronik deplasman ölçerler ile ölçülmüştür. Ayrıca CFRP şeritlerden birim deformasyon ölçümleri taşıyıcı lifleri doğrultusunda alınmıştır. CFRP şeritlerden alınan birim deformasyon ölçümlerinin yerleri ve numaraları Şekil 2'de verilmiştir. Birim deformasyon ölçerler CFRP şeritlerin orta noktalarına sağ ve sol kiriş kesme açıklığına simetrik olacak şekilde yerleştirilmiştir.

2. DENEY SONUÇLARI

Deney elemanlarının kesme kuvveti-orta nokta deplasmanı grafikleri Şekil 4'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde 40 kN kesme kuvveti düzeyine kadar tüm deney elemanlarının yaklaşık aynı deplasmanı yaparak aynı rijtlikle ulaştığı görülmektedir. Bu yük düzeyinden sonra deney elemanlarında kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır. Deney elemanlarının maksimum kesme kuvveti kapasiteleri CFRP şerit aralığına ve şerit uçlarında ankraj uygulaması yaılıp yapılmadığına göre değişim göstermektedir. Şekil 4'den görüldüğü gibi CFRP şerit uçlarında ankraj kullanılmayan Deney elemanı-2, 3 ve 4'de eğilme davranışı meydana gelmemiştir. Şerit uçlarında ankraj uygulaması eğilme davranışının gelişmesini sağlamış, kesme çatlaklarının oluşumunu sınırlandırmış ve deney elemanları çok daha fazla deplasan yapmıştır. Ankraj uygulaması kirişlerin süneklik düzeyini önemli ölçüde artırmıştır. Deney sonuçları Tablo 3'de sunulmuştur.



Şekil 4. Deney elemanlarının Kesme kuvveti-orta nokta deplasmanı grafikleri

Tablo 3. Deney sonuçları

Deney El. No #	Kesme Kuvveti (kN)		Deplasman (mm)		Akmada Rijitlik (kN/mm)	Deplasman Süneklik Oranı	Göçme Modu
	Akmada	Maksimum	Akmada	Maksimum			
1	----	49.51	----	17.19	----	----	Shear
2	82.55	82.55	21.83	21.83	3.78	1.00	Shear
3	81.99	81.99	21.46	21.46	3.82	1.00	Shear
4	----	69.04	----	19.20	----	----	Shear
5	80.15	87.68	20.72	62.78	3.87	3.03	Flexure
6	81.81	86.31	21.48	59.43	3.81	2.77	Flexure
7	80.97	85.63	26.64	58.35	3.04	2.19	Flexure

Deney elemanı-1 49.52 kN yük düzeyinde 17.19 mm deplasman yaparak göçmüştür. Deney elemanı sol kesme açıklığında meydana gelen kesme çatlağının genişlemesi ile gevrek kesme kırılması sergileyerek göçmüştür. Deney elemanı-2, 3, ve 4 CFRP şeritlerin yüzeyden soyulması sonucunda gevrek kesme kırılması sergileyerek göçmüşlerdir. CFRP şeritler ile güçlendirilmiş Deney elemanı-2 ve 3'de kesme kuvveti kapasitesi çekme donatısının akma düzeyine kadar artmıştır. Deney elemanı-2 için ölçülen kesme kuvveti kapasitesi 82.55 kN, Deney elemanı-3 içinse 81.99 kN değerine ulaşmıştır. Deney elemanı 2 ve 3'ün ortalama kesme kuvveti kapasitesi referans deney elemanında %66 daha fazladır. 200 mm CFRP şerit aralıklı Deney elemanı-4 referans deney elemanından %39 daha fazla kesme kuvveti taşıyarak 69.04 kN yük değerinde kesme kırılması sergileyerek göçmüştür.

Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen Deney elemanı-5, 6 ve 7 sünek eğilme davranışı sergileyerek çekme donatıları akma kapasitesine ulaşmıştır. Üç deney elemanı da betonun maksimum basınç bölgesinde ezilmesi sonucunda göçmüşlerdir. CFRP şeritler arasındaki mesafenin azalması oluşan kesme çatlağı sayısını azaltmıştır. Deney elemanı 5 ve 6'da meydana gelen kesme çatlaklarının sayısı ve genişlikleri Deney elemanı-7'ye göre daha azdır. Bu yüzden Deney elemanı-7 Deney elemanı 5 ve 6'ya oranla %26 daha fazla orta nokta deplasmanı yaparak akma noktasına ulaşmıştır.

Ankajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında kesme çatlaklarının birinin çok daha fazla genişlemesi ve deney elemanının göçmesine neden olmasından dolayı ölçülen CFRP şerit birim deformasyonu değerleri arasında farklılık oluşmuş ve kesme çatlağının genişlediği bölümde artış çok daha fazla meydana gelmiştir. Ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ortalaması 0.0039 mm/mm olup, bu değer ACI Committee Report (0.0040 mm/mm) tarafından önerilen değerden %3 daha küçüktür. Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında kesme çatlaklarının yayılımı tüm kiriş kesme açıklıklarında daha uniform olmasından dolayı ölçülen CFRP şerit birim deformasyon değerleri de birbirine çok daha fazla yakındır. Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değeri 0.0056 mm/mm olup ACI Committee Report tarafından önerilen değerden %40 daha büyük olduğu gözlenmiştir. Ankrajlar CFRP şeritlerin yüzeyden soyulmasını engellemiş ve kirişlerin çekme donatısı akma dayanımına ulaşana kadar göçmelerini geciktirmiştir. Ayrıca kesme kuvveti kapasitelerini artırmıştır.

Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları Tablo 3'de verilmiştir. Ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanları için bir süneklik oranından bahsetmek mümkün değildir. Bu deney elemanları eğilme davranışı sergilemeden kesme kırılması sonucunda göçmüşlerdir. Deney elemanı 2 ve 3 için deney elemanları hemen akma kapasitelerine ulaştıktan sonra göçtükleri için süneklik oranı 1.00 olarak verilmiş ve Deney elemanı-4 içinse süneklik oranı hesaplanmamıştır. Ankrajlı deney elemanlarında önemli oranlarda süneklik değerleri elde edilmiştir. Deney elemanı-5, 6 ve 7 için hesaplanan süneklik oranları 3.03 ile 2.19

değerleri arasında değişim göstermektedir. Ankrajlı CFRP şeritli deney elemanlarında şerit aralığı arttıkça deplasman süneklik oranının azalmakta olduğu görülmüştür.

3. SONUÇLAR

Yürütülen deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında CFRP şeritler kirişlerin kesme kapasitelerini artırmış ancak kesme kırılması ile göçmelerine engel olamamıştır. Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında ise kesme kapsitesinin artmasının yanısıra deney elemanlarının sünek eğilme kırılması sergileyerek göçmesi sağlanmıştır.
- Ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında göçme CFRP şeritlerin yüzeyden soyulması ile gerçekleşmiştir. Ankrajsız CFRP şeritler deney elemanlarının deplasman yapabilme kapasitesini artıramamış ve kesme kırılmasından göçmelerine engel olamamıştır.
- Ankrajlı CFRP şeritler deney elemanlarının kesme kapasitelerinin yanısıra deplasman yapabilme kapasitelerini de önemli oranlarda artırmış ve genel davranışı olumlu yönde etkilemiştir.
- Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen Deney elemanı-5, 6 ve 7 için hesaplanan süneklik oranları 3.03 ile 2.19 değerleri arasında değişim göstermektedir. Ankrajlı CFRP şeritli deney elemanlarında şerit aralığı arttıkça deplasman süneklik oranının azalmakta olduğu görülmüştür.
- Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değeri 0.0056 mm/mm olup ACI Committee Report tarafından önerilen değerden %40 daha büyük olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] Ritchie P, Thomas D, Lu L, Connelley G. (1991). External Reinforcement of Concrete Beams Using Fiber Reinforced Plastics. ACI Structural Journal. 88(4):490-500.
[2] Sharif A, Al-Sulaimani G, Basunbul I, Baluch M, Ghaleb B. (1994). Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Plates. ACI Structural Journal. 91(2):160-8.
[3] Chajes MJ, Januska TF, Mertz DR, Thomson TA, Finch WW. (1995). Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Externally Applied Composite Fabrics. ACI Structural Journal. 92(3):295-303.
[4] Sato Y, Ueda T, Kakuta Y, Tanaka T. (1996). Shear Reinforcing Effect of Carbon Fiber Sheet Attached to Side of Reinforced Concrete Beams. Advanced Composite Materials in Bridges and Structures. MM El-Badry ed. 621-7.
[5] Arduini M, Nanni A, DiTommaso A, Focacci F. (1997). Shear Response of Continuous RC Beams Strengthened with Carbon FRP Sheets. In: Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Proceedings of the Third Symposium, Japan. 1:459-66.
[6] Ehsani M, Saadatmanesh H, Al-Saidy A. (1997). Shear Behavior of URM Retrofitted with FRP Overlays. Journal of Composites for Construction. 1(1):17-25.
[7] Norris T, Saadatmanesh H, Ehsani M. (1997). Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets. Journal of Structural Engineering. 123(7): 903-11.
[8] Khalifa A, Gold W, Nanni A, Abel-Aziz M. (1998). Contribution of Externally Bonded FRP to the Shear Capacity of RC Flexural Members. Journal of Composites in Construction. 2(4):195-203.
[9] Triantafillou TC. (1998). Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Epoxy-Bonded FRP Composites. ACI Structural Journal. 95(2):107-15.
[10] Khalifa A, Alkhrdaji T, Nanni A, Lansburg A. (1999). Anchorage of Surface Mounted FRP Reinforcement. Concrete Int., ACI Structural Journal. 21(1):49-54.
[11] Swamy RN, Mukhopadhyaya P, Lynsdale CJ. (1999). Strengthening for Shear of RC Beams by External Plate Bonding. Journal of Structural Engineering. 77(12):19-30.

[12] Taljsten B, Elfgren L. (2000). Strengthening Concrete Beams for Shear Using CFRP Materials: Evaluation of Different Application Methods. Composites: Part B. 33:87-96.
[13] Kachlakev D, McCurry CC. (2000). Behavior of Full Scale Reinforced Concrete Beams Retrofitted for Shear and Flexural With FRP Laminates. Composites: Part B. 31:445-52.
[14] Li. A, Diagana C, Delmas Y. (2001). CFRP Contribution to Shear Capacity of Strengthened RC Beams. Engineering Structures. 23:1212-20.
[15] Khalifa A, Nanni A. (2002). Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRP Composites. Construction and Building Materials. 16:135-46.
[16] Taljsten B. (2003). Strengthening Concrete Beams for Shear with CFRP Sheets. Construction and Building Materials. 17:15-26.
[17] Diagana C, Li A, Gedalia B, Dlemas Y. (2003). Shear Strengthening Effectiveness with CFF Strips. Engineering Structures. 25:507-16.
[18] Khalifa A, Nanni A. (2000). Improving Shear Capacity of Existing RC T-section Beams Using CFRP Composites. Cement and Concrete Composites. 22:165-74.
[19] ACI Committee 440. (1996). State-of-the-art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute, Detroit, Michigan. 68 pp.