

KESME YÖNÜNDEN YETERSİZ DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERİN CFRP İLE GÜÇLENDİRİLEREK KESME KAPASİTELERİNİN ARTTIRILMASI

^{1*}Hanifi TOKGÖZ ²Behçet DÜNDAR

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu İnşaat Teknolojisi Programı, Osmaniye, TÜRKİYE

Özet- Bu çalışmada betonarme kirişlerin eğilme etkisi sebebiyle çekme gerilmelerinin meydana geldiği alt yüzeylerde ve kesme gerilmelerinin meydana geldiği L/4 mesafedeki yan yüzeylerde CFRP tekstilleri ile güçlendirme amacıyla sarılma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, 9 adet betonarme kiriş deney elemanı üretilmiştir. Güçlendirilen betonarme kirişlerin yük-deplasman davranışı, sünekliği ve enerji tüketim kapasiteleri araştırılmıştır. Kesme yönünden yetersiz olarak üretilen 3'er adet kiriş kesme bölgelerine 90° ve 45°'lik açılarla CFRP tekstilleri yapıştırılmıştır. Güçlendirme sonrasında kirişlerde %60 kesme kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. 45°'lik ve 90°'lik CFRP uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Betonarme kiriş, Güçlendirme, CFRP

INCREASING THE SHEARING CAPACITY OF THE RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE BEAMS WHICH ARE INSUFFICIENT IN SHEARING BY STRENGTHENING WITH CFRP

Abstract- In this study, reinforcement concrete beam bending due to tensile stress that occur below the surface and cutting stresses occurred L/4 from side surface CFRP textile and strengthen the wound was made. Experimental study, nine pieces of reinforcement concrete beams produced experimental elements. Load-displacement behavior of reinforced concrete beams, ductility capacity and energy consumption were investigated. As insufficient in terms of shear beam shear zones produced 3 x 90° and 45° angle of CFRP been bonded textile. %60 cut in strengthening the capacity of the beams was observed to increase. 45° and 90° is no significant difference between the applications of CFRP are determined.

Key Words- Reinforced concrete Beams, Strengthening, CFRP

* hanifi@gazi.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda büyük bir hızla artan Türkiye'nin genel nüfusu ve insanların bir kısmının şehirlerde yaşama isteği sonucu meydana gelen göç, ciddi bir şekilde yapı ihtiyacına sebep olmuştur. Bu temel ihtiyaç için, yapıların tasarımı ve inşası yapılırken, bir takım hususlara çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Gereken itinanın gösterilmemesi durumunda çeşitli düzensizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yapının istenilen performansı gösterebilmesi için düzensizliğinin giderilmesi gerekir.

Etriye aralıklarının proje esaslarında olduğu gibi yapılmaması, boyuna ana donatının yeterince konmaması, taşıyıcı donatıların gereği gibi ankre edilmemesi, donatı aralıklarına gerektiği gibi özen gösterilmemesi, taşıyıcı olmayan bölme duvarların ve bacaların devrilmesi, beton sınıfının istenen değerde olmaması güçlendirmenin yapılmasına neden olabilecek önemli sebepler içinde sayılabilir [1].

Betonarmeyi oluşturan eğilme etkisindeki elemanlar, genelde eğilmeye ek olarak kesme kuvveti de taşımak durumundadır. Betonun kesme dayanımı oldukça yüksek olduğundan, betonarme elemanlarda kesme kırılmasına pek rastlanmaz. Buna karşın, kesme ve normal gerilmelerin neden olduğu asal çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımının düşük olması nedeniyle önemli sorunlar doğurur. Kirişlerde çekme gerilmeleri boyuna donatı tarafından karşılanırken, etriyeler kesme gerilmelerini almaktadır [2].

Kesme dayanımını olumsuz yönde etkileyen birçok faktör vardır. Bu etkenler hesapta yapılan hatalar, kesme donatısının hatalı detaylandırılması, yapım hataları, zayıf işçilik, kesme donatısı çeliğinin alanının yüksek sıcaklık, yüksek nem, zemin tuzluluğu gibi kötü çevre şartları nedeniyle korozyona uğraması olarak sayılabilir [3].

FRP ile güçlendirme, hızlı ve kolay uygulanabilir olması, yüksek dayanıma, dayanıklılığa, düşük özağırlığa sahip olması, mimaride değişiklik gerektirmemesi ve yapının yük dağılımına etki etmemesi gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir [4].

Kiriş güçlendirmede malzeme olarak CFRP kullanılmıştır. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Mekaniği laboratuvarında tabii ortamda 150x250x2200 mm ebatlarında, C20 betonu ve S420 inşaat çeliği kullanılarak 9 adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir. Üretilen dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin, 3 kontrol numunesi, 3 tane deney numunesinin eğilme bölgesine ve CFRP'nin 45° açıyla kesme bölgesine, 3 tanesi de eğilme bölgesine ve CFRP'nin 90° açıyla kesme bölgesine sarılmasıyla yapılmıştır.

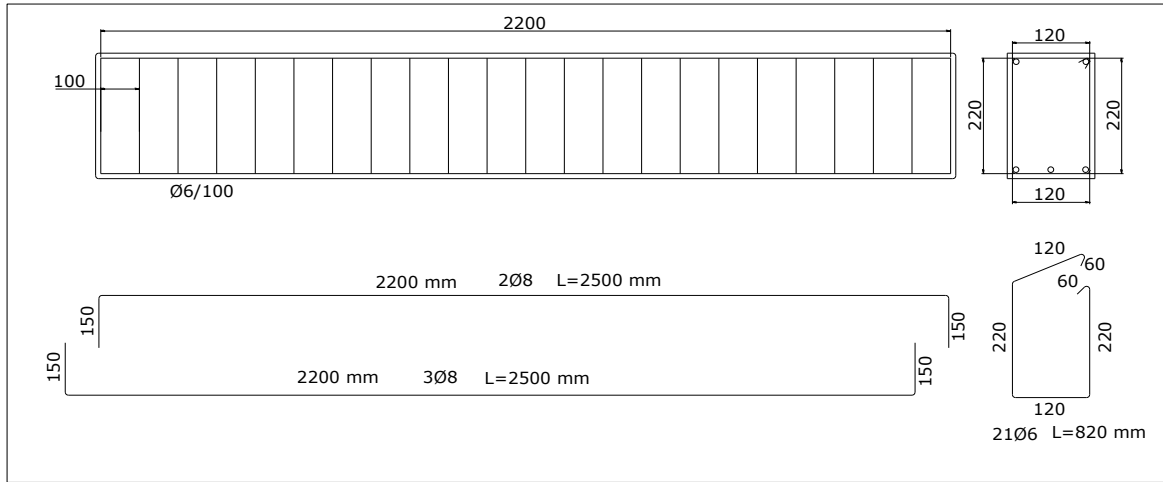
Bu çalışmanın amacı kesme kapasitesi yetersiz olan betonarme kirişlerin kesme kapasitesini arttırmaya yönelik bir güçlendirme tekniği olarak uygulamada yaygın bir biçimde kullanılan, kirişlerin kesme bölgesinin CFRP ile kaplanması yönteminin, kiriş davranış ve dayanımı üzerindeki etkilerinin deneysel araştırılması, çeşitli değişkenlere bağlı olarak elde edilecek sonuçlarla sağlıklı bir hesap yönteminin geliştirilmesi ve uygulama ilkelerinin belirlenmesidir.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Kullanılan donatının ve betonun özelliği (Characteristics of the reinforcement and concrete used)

C20 betonu ve S420 inşaat çeliği kullanılarak, 150x250x2200 mm boyutlarında 9 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Bütün numunelerde her bir kiriş için 100 mm aralıklarla 21 adet etriye yerleştirilmiştir. Kiriş numunelerinde düz donatı olarak 8 mm'lik nervürlü ve etriye olarak 6

mm'lik inşaat çeliği kullanılmıştır. Kiriş boyunca yapılan etriye sıkıştırılması Şekil 1'de gösterilmiştir. Bütün kiriş numunelerin betonları aynı anda dökülmüştür. Kullanılan beton hazır beton santralinden alınmış beton sınıfı C20 kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney kirişlerinin donatı detayları (Reinforcement details of the test beams)

2.2. Kullanılan CFRP'nin özelliği (Characteristics of the CFRP used)

Güçlendirmede CFRP şeritler için MBRACE®FIBER C1-30 karbon lifli dokuma malzemesi kullanılmıştır. MBRACE®FIBER, MBRACE®FRP (lifli polimer) sistemi içinde yer alan karbon, cam veya aramid esaslı, tek yönlü, lifli polimer kumaş (FRP) malzemelerdir. Tek doğrultuluda ve lifli polimer olan fiber 0,50x50 m rulo şeklindeki CFRP'nin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CFRP malzemesinin özellikleri (Characteristics of the CFRP material)

Özellikler	MBRACE®FIBER C1-30
Elastisite Modülü (N/mm ²)	240,000
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	3800
Tasarım Kesit Kalınlığı (mm)	0,176
Toplam Ağırlık (g/m ²)	330
Kopmada Uzama (%)	1,55
Genişlik (mm)	300/600

2.3. Kullanılan epoksi harcının özelliği (Characteristics of the epoxy mortar used)

Kirişin yüzeylerine uygulanacak CFRP şeritlerinin kiriş numunelerine yapıştırılmasında MBT-MBRACE®ADESIVO (SATURANT) marka yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırma sistemi için özel olarak geliştirilmiş, iki bileşenli, solventsiz, yüksek dayanımlı, epoksi esaslı özel yapıştırıcı kullanılmıştır. A ve B iki bileşenli MBRACE® SATURANT isimli epoksinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

2.4. Yöntem (Method)

Deney numuneleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Mekanik Laboratuvarında 150x250x2200 mm ölçülerinde 9 adet kiriş C20 betonu ve S420 inşaat çeliği kullanılarak üretilmiştir. Deney kirişlerine CFRP tekstilleri kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Aynı boyutlarda, aynı donatılı kirişlere CFRP tekstiller dıştan epoksi ile yapıştırılmıştır. Yapılan güçlendirme deneyi için, 3 kiriş kontrol numunesi ve 6 CFRP ile

güçlendirilmiş olmak üzere toplam 9 kiriş üretilmiştir. Kirişin alt bölgesi ve her iki yandan U şeklinde, kesme çatlaklarının olacağını düşünülen kesme bölgesi 500 mm eninde güçlendirilmiştir. Tüm kirişlerin bir yan yüzeyine, 45° ve 30°'lik açılarla 2 adet ve basınç bölgesine ise 1 adet Displacement Transducer ve orta alt yüzeyine 1 adet LVDT bağlanmıştır. Dört noktadan yükleme yapılan deney elemanlarında mesnetler arası 2000 mm olarak ayarlanmıştır. Deney sırasında yük, deplasman ve çatlak değerleri ölçülmüştür. Kontrol numuneleri ile 90° ve 45°'lik açılarla yapıştırılan CFRP ile güçlendirilen numunelerden elde edilen ölçümler arasında karşılaştırılmıştır. Kiriş numunelerinin isimleri, güçlendirme malzemeleri ve yapıştırma şekli aşağıdaki Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Epoksi harcının özellikleri (Characteristics of the epoxy mortar)

MBRACE® SATURANT Bileşen A ve B Malzemenin Teknik Özelliği	Epoksi Reçine Epoksi Sertleştirici
Renk	Mavi
Karışım Yoğunluğu	1,02 ± 0,024 kg/litre
Viskozite	1500 - 2500 mPa.s
Basınç Dayanımı (7 gün) (TS EN 196)	> 60 N/ mm ²
Eğilme Dayanımı (7 gün) (TS EN 196)	> 50 N/ mm ²
Yapışma Dayanımı (Betona) (7 gün)	> 3,0 N/ mm ²
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5°C +30°C
Kullanma Süresi	30 dak.
Yeniden Kaplanabilme Süresi	Min. 48 saat / Maks. 7 gün
Tam Kurlenme Süresi	7 gün

Tablo 3. Kiriş numunelerinin sembol ve isimleri (Symbols and names of the beam samples)

Kiriş Numunelerini Sembolleri	Güçlendirme Malzemesi ve Şekli
K01- K02- K03	Güçlendirme Yapılmayan Kontrol Numunesi
KE01- KE02- KE03	45°'lik açıyla uygulanan CFRP'li Kiriş Numunesi
KD01- KD02 -KD03	90°'lik açıyla uygulanan CFRP'li Kiriş Numunesi

2.4.1. Kirişlerin taşıma gücü (Bearing capacity of the beams)

Eğilme altındaki bir kiriş için gerekli taşıma gücü hesabını yapmadan önce bu tür elamanların yük altındaki davranışının bilinmesinde büyük yarar vardır. Kirişin çekme bölgesindeki ilk çatlaklar en dış çekme lifindeki birim uzamanın, betonun çekmedeki uzama sınırına ulaşması ile meydana gelir. Çatlama momentlerinin donatısız bir kirişin kırılma momentine eşit olduğu varsayılır [2].

CFRP ile kesme ve eğilmeye karşı güçlendirilmiş eğilme deneylerinde, yük sehim ve gerilmeler ölçülmüştür. Bütün numunelerde dayanım artışı sağladığı tespit edilmiştir [5].

2.4.2. Kirişlerde süneklik oranları (Ductility ratios in beams)

Süneklik oranı yük deplasman ilişkisinden bulunmuştur. Bu yük deplasman eğrisinin Monolitik elaman dayanımının %85 inden geçen yatay doğrunun kestiği noktadaki deformasyon bulunmuştur. Bu değer aynı elamanın akma deformasyonuna bölünerek hesaplanan değer olarak tanımlanmıştır [6].

2.4.3. Kirişlerde enerji tüketimi (Energy consumption of beams)

Yapılan deneysel çalışmada CFRP şeritlerle güçlendirme tekniğinin deney elemanlarının enerji tüketimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kirişlerde enerji tüketme kapasitesi hesabında yük- yer

değiştirme eğrilerinden yararlanılmaktadır. Eğri altında kalan alan hesabı enerji tüketimini vermektedir [7].

2.4.4. Kirişlerin güçlendirilmesi (Reinforcement of the beams)

Lifli Polimer ile kiriş güçlendirilmesi kiriş sünekliğinin ve kesme dayanımının artırılmasında tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılmalıdır. Lifli Polimer sargısı kirişlerde köşelerin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanacaktır. Lifli Polimer ile yapılan sargılmalarda sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. Lifli Polimer uygulaması üretici firma tarafından önerilen yöntem olarak gerçekleştirilmelidir[8].

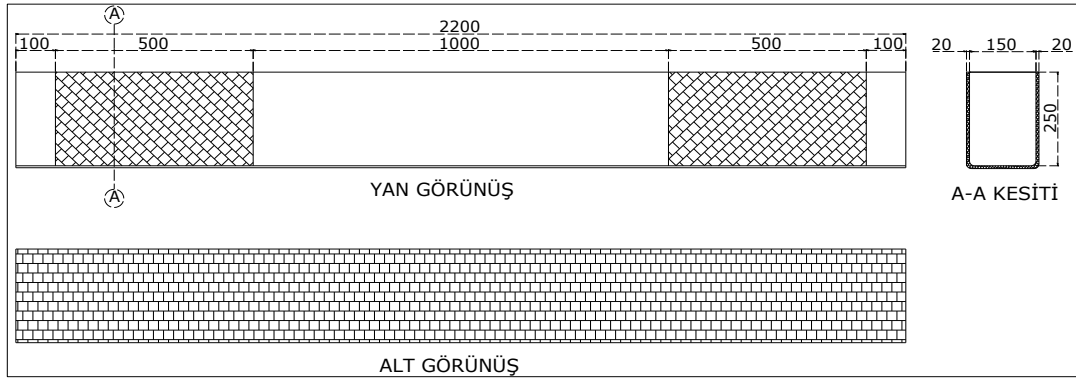
Deneysel çalışmada ilk olarak tüm kiriş numuneleri alt tarafında iki köşesi boydan 30 mm yarıçap ile yuvarlatılmıştır. Yuvarlatma sonrası yüzeyde hareketli parçacık kalmayacak şekilde su ile yıkanmış ayrıca temiz bir bez parçası ile silinmiştir. İlk üç numune kontrol numunesi olarak ayrılmıştır. Diğer 6 numunenin kesme bölgesinde güçlendirme yapılmıştır. Kesme bölgelerinin güçlendirilmesinde CFRP tekstillerinin iki farklı açıda uygulaması yapılmıştır. Birincisi CFRP'nin 45° ve 90°lik açıyla kesme bölgesi sarılmıştır. Kiriş her iki yanı, köşeden 100 mm içeride olmak kaydıyla yan yüzeyi 500 mm boyunda çizilerek güçlendirme bölgesi belirlenmiştir. Epoksi tekstillerin yapıştırılacağı işaretli bölgeye ilk kat için 1,8 kg/m², ölçüsünde epoksi sürülmüştür. 6 kiriş numunesine CFRP tekstilleri altta hava kalmayacak şekilde yapıştırılmıştır. Bir gün sonra CFRP üstü 0,9 kg/m² miktar epoksi ile kapatılmıştır. Bir hafta sonra çatlak tespiti yapmakta kullanılacak olan birim deformasyon ölçerler tespit edilen yerlere epoksi ile yapıştırılmıştır.

2.4.5. CFRP'nin kirişlere yapıştırılması (Bonding CFRP to the beams)

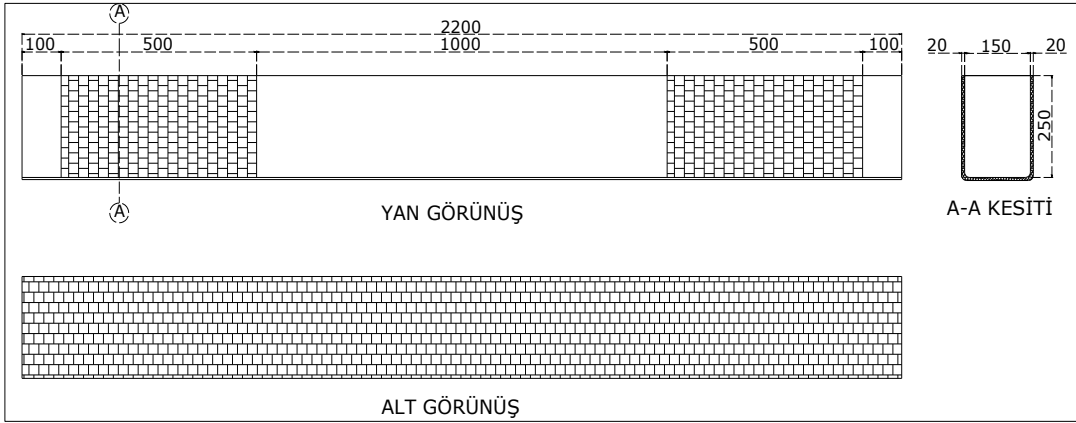
Kirişlerin kesme kapasitelerinin artırılmasında, lif doğrultusu, miktarı ve uygulanan yüzey alanı gibi özellikleri etkilidir. Kesme yetersizliği olan basit mesnetli dikdörtgen betonarme kirişlerin kesme performanslarını ve çatlak türlerini, CFRP dokuma açısının kesme kapasitesine etki ettiği sonucuna varılmıştır [9].

Altı adet kiriş numunesinin eğilmede çekme bölgelerine işaretli alana epoksi sürülmüştür. 170x2200 mm ölçüsünde kiriş köşelerinden 100 mm içeride 500x700 mm ve 250x500 mm boyutlarında, eğilmede çekme bölgelerinde güçlendirme yapılan altı numunenin üçüne 45°, üçüne de 90°lik açıyla CFRP yapıştırılmıştır. Eldiven ile gerginleştirilen tekstil altında hava kalmaması için bastırılmıştır. Güçlendirme tekstillerin üstü epoksi ile kapatıldıktan sonra malzemenin iyice kurumaması sağlanmıştır. Laboratuvar ortamında kirişler 10 gün bekletilerek deneye hazır hale getirilmiştir. Kiriş numunelerinin CFRP ile sarılması Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

∴ Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması∴.



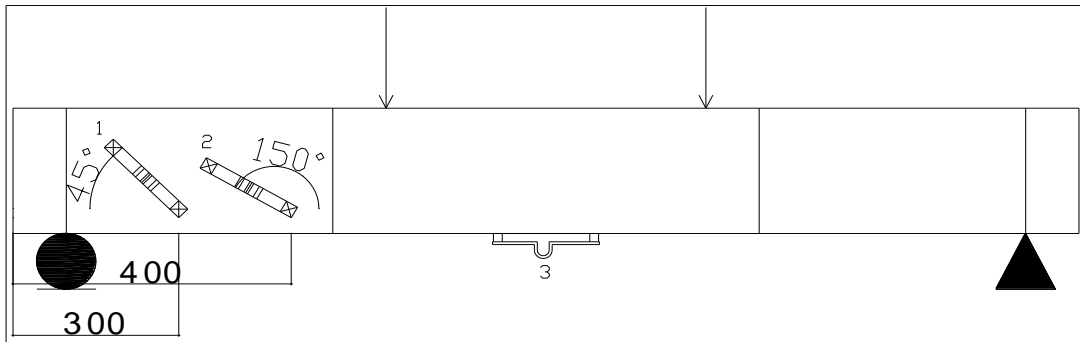
Şekil 2. 45°'lik açıyla uygulanan CFRP'li Kiriş (Beam with CFRP applied with an angle of 45°)



Şekil 3. 90°'lik eğimde uygulanan CFRP'li Kiriş (Beam with CFRP applied with an angle of 90°)

2.4.6. Birim deformasyon ölçerlerin montajı (Mounting the strain gauge)

Kirişlerdeki çatlakları ölçmek için çene aralığı 150 mm olan birim deformasyon ölçerler kullanılmıştır. Deneyde birim deformasyon ölçerlerin yerleştirilmesi için, plate montaj aparatları kullanılmıştır. Montaj aparatları epoksi yapıştırıcı ile kiriş numunelerine yapıştırılmıştır. Birim deformasyon ölçerler üretilen kiriş numunelerinin kirişin alt bölgesine ve kesme bölgesinde 45° ve 30°'lik açılarla yerleştirilmiştir. Çatlakların ölçülmesi için toplam 3 kanal veri kaydediciye bağlanmıştır. Kirişe etkiyen yükün ölçülmesi için yük hücresi yükleme cihazının üst kısmına yerleştirilmiştir. Şekil 4'de gösterilen birim deformasyon ölçerlerin hepsi deformasyonları 0,001 mm hassasiyetle ölçebilecektir.

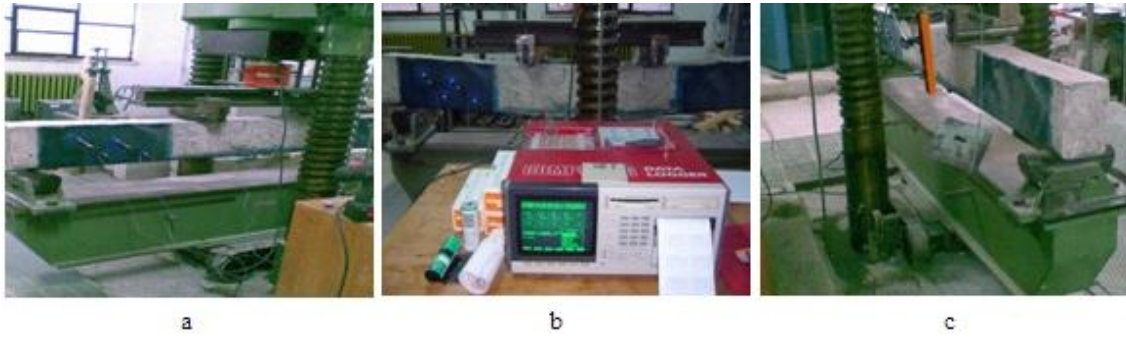


Şekil 4. Yer değiştirme ölçerlerin kirişlere yapıştırma planı (Plan of bonding displacement transducers to the beams)

2.4.7. Deney düzeni (Testing system)

Deneyisel çalışmada kullanılan cihazın raylar üzerinde hareket eden araba üstünde iki mesnet aparatı vardır. Bu mesnetler arası 2000 mm ve bir tanesi sabit olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük değerlerinin okunması için yükleme cihazına yük halkası yerleştirilmiştir. Veri kaydediciye bağlanarak değerler kaydedilmiştir.

Deney numunelerine mesnetler arası 666 mm olacak şekilde dört noktalı yükleme yapılmıştır. Cihazın üst tarafına mıknatıslı ve üzerine yer değiştirme ölçerin bağlanacağı aparat yerleştirilmiştir. Kiriş numune üstüne çatlak tespiti için hep aynı yerlere daha önceden çizilen yerlere sökölüp takılabilen birim deformasyon ölçerler 3 noktaya bağlanmıştır. Yükleme cihazı yanındaki masa üzerine yerleştirilen veri toplama sistemi ile değerler beş saniye ara ile kaydedilmiştir. Veri toplama sistemi 3 adet çatlak, 1 adet deplasman, 1 adet yük değerlerini kayda almıştır. Toplam 4 kanaldan her beş saniyede bir kayıt alınmıştır. Şekil 5'te Deney düzeneği, Veri kaydedici ve yer değiştirme ölçerin fotoğrafları bulunmaktadır. Kiriş numuneler üzerinde önceden belirlenmiş 3 bölgeden çatlak değişimleri izlenmiştir. Hassasiyeti 0.01mm olan deplasman ölçer kirişin tam ortasına yerleştirilmiştir. Kayıt boyunca veri kaydedici dijital ekranından izlenmiştir. Her yeni kayıt öncesi bütün kanallardaki başlangıç değerleri sıfırlanarak deneye başlanmıştır.



Şekil 5. a- Deney düzeneği (Testing system) b- Veri Kaydedici (Data logger) c- Yer değiştirme ölçer (Displacement Transducer)

Yükleme deney elemanına hidrolik pres ile kiriş açıklığının üst kısmından iki noktadan uygulanmıştır. Kirişin oturduğu açıklık 2000 mm'dir. Üstten yük uygulama açıklığı 666 mm olarak ayarlanmıştır. (a/d) oranının çok büyük olduğu durumlarda (yaklaşık olarak, $a/d > 7$) kiriş eğilmedeki taşıma gücüne erişebilecektir. Bu tür bir kirişte eğik çatlamlar oluşamayacağından, kırılma üzerinde kesme kuvvetinin etkisi olmayacaktır. (a/d) oranı daha küçük kirişlerde (yaklaşık olarak $1,5 < a/d < 3$), eğik çekme çatlaklarının noktasal yükün oluşturduğu yerel basınç gerilmeleri engel olur [2].

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Deneyisel Bulgular (Experimental findings)

Deneyler esnasında davranış ve dayanımda istenen değişiklikler çok dikkatli bir şekilde gözlenmiş ve bütün ayrıntılarıyla sunulmuştur. Deneylerden elde edilen gözlemler. Deplesman değerleri, çatlak yükü değerleri, enerji tüketme değerleri açıklanmaya çalışılmıştır.

3.2. Deplasman Değerleri (Displacement values)

Bütün kirişlerin aynı yerden deplasman ölçümü alınmıştır. Yükleme başlamadan veri kaydediciye bağlı kanallar sıfırlanmıştır. Deplasman değerleri deney sonuna kadar beş saniye aralıkla kaydedilmiştir. Deney numunelerinin maksimum yük düzeyindeki deplasman değerleri aşağıda yorumlanması için Tablo 4’de sunulmuştur. Deplasmanlar güçlendirme malzemesi etkinliğini kaybettikten sonra artmıştır.

Tablo 4. Kiriş numunelerin en fazla yük karşısındaki deplasman değerleri (Displacement values of the beam samples in the presence of maximum load)

Kiriş numuneleri	En büyük yük (kN)	Deplasman (mm)
K01	45,99	4,75
K02	45,60	4,05
K03	45,92	4,28
KE01	67,69	6,51
KE02	66,65	7,15
KE03	65,56	6,12
KD01	75,64	5,76
KD02	76,44	6,45
KD03	79,19	8,17

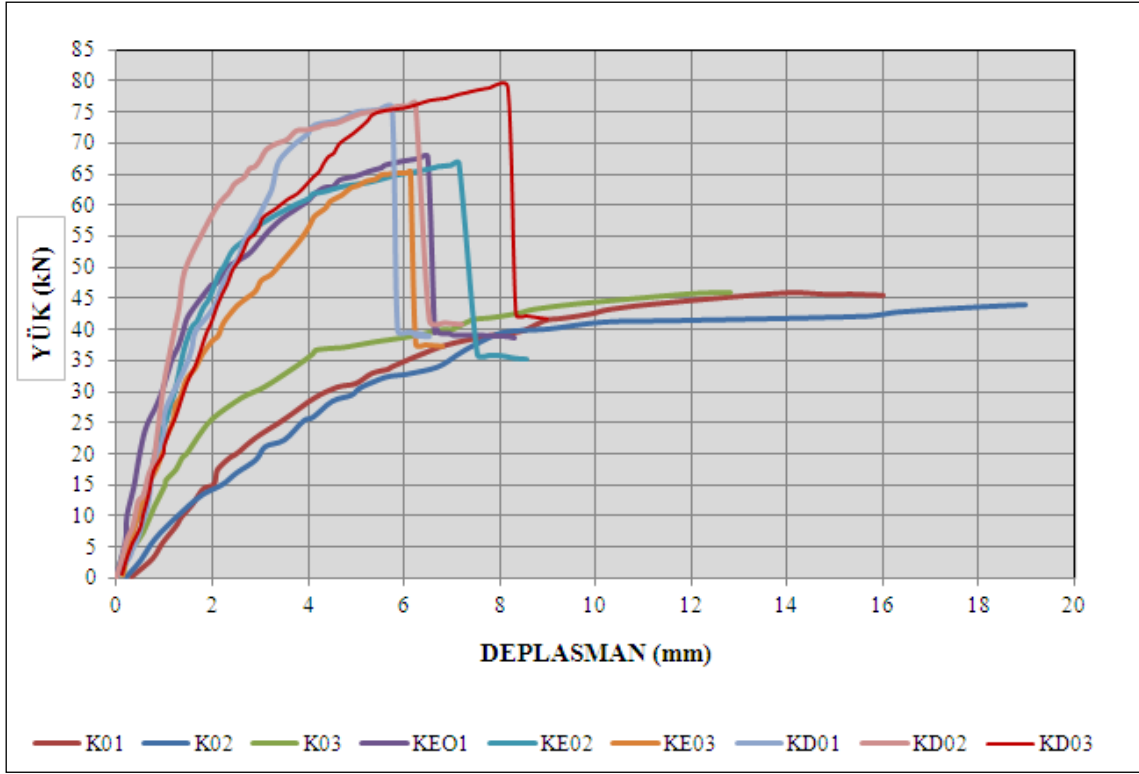
Tablo 4’e göre KE numunelerinde kirişlerin dayanım artışı %50 olurken %50 deplasman azalması, KD numunelerinde ise kirişlerin dayanım artışı %70 olurken %50 deplasman azalması olmuştur.

3.3. Çatlak Yükü Değerleri (Cracks load values)

Betonarme elemanların genel olarak kesme dayanımı karşısındaki davranışı karmaşıktır. Kesme kapasitesini etkileyen yük etkileri, güçlendirme türü, malzeme, çatlakların varlığı gibi parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler içerisinde yer alan çatlak oluşum şekilleri kesme dayanımı hakkında bilgi vermektedir[10]. Bu bağlamda, kirişlerin kesme bölgesinin bir yüzüne toplam 2 adet birim deformasyon ölçer 45° ve 30° açıyla yerleştirilmiştir. Birim deformasyon ölçerler meydana gelen çatlakların hangi yük değerlerinde oluştuğunun yorumlanması için Şekil 6’ da gösterilmiştir. Deney numunelerine yerleştirilen strengeler, 45° lik açıyla koyulan deformasyon ölçer (S1), 30° lik açıyla koyulan deformasyon ölçer (S2) ve kirişin orta alt bölgesine koyulan deformasyon ölçer (S3) şeklinde adlandırılmıştır. Kiriş numunelerin en fazla yüke karşı kesme çatlakları değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Kiriş numunelerin en fazla yüke karşı kesme çatlakları (Shear cracks of the beam samples in the presence of maximum load)

Kiriş Numuneleri	En büyük yük (kN)	S1 (mm)	S2(mm)
K01	45,99	0,019	0,014
K02	45,60	0,017	0,010
K03	45,90	0,081	0,007
KE01	67,69	0,001	0,035
KE02	66,65	0,002	0,054
KE03	65,56	0,007	0,042
KD01	75,64	0,018	0,019
KD02	76,44	0,020	0,117
KD03	79,19	0,032	0,106



Şekil 6. Yük-deplasman grafiği (Load-Displacement graph)

Kontrol numunelerinde kesme çatlakları, ortalama S2'de 2,6 mm, S3'de 0,19 mm olmuştur. CFRP'li numunelerin S2 numarasında %99 çatlak azalması olurken, S3 kanalında %240 çatlaklar artmıştır. Kesme etkisinin S1 numaralı bölgeye kaydığı anlaşılmaktadır. CFRP'li güçlendirme ile dayanım artışı yaklaşık %55'dir. Bu bölgedeki iyileşmelerin kiriş rijitliğini artırdığı söylenebilir.

3.4. Enerji Tüketme Değerleri (Energy consumption values)

Kirişlerdeki tüketilen enerji akma ve göçme noktaları bulunarak hesaplanmıştır. Bütün kirişler için elde edilen grafikler ve üzerinden hesaplanan alanlar Tablo 6'da sunulmuştur. Betonarme kirişlerde kontrol numunelerine göre CFRP'lerde %29 göçme azalmasına karşılık %14,5 enerji tüketimi artmıştır.

Tablo 6. Kirişlerin enerji tüketme kapasiteleri (Energy consumption capacities of the beams)

Kiriş numuneler	En yüksek yük (kN)	Sehim (mm)	Enerji tüketme kapasitesi (Joule)
K01	67,326	68,44	1918,29
K02	67,620	68,03	2756,88
K03	63,994	76,57	1659,56
KE01	97,873	39,14	1592,41
KE02	93,394	28,56	1811,86
KE03	90,091	34,65	1499,42
KD01	108,486	43,39	1888,56
KD02	96,716	29,57	1554,53
KD03	100,209	40,08	1764,95

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Güçlendirilen kirişler artan yükler etkisi ile gevrek kesme kırılması şeklinde göçmeye ulaşmıştır. Bütün kirişlerde göçme, eğilme gerilmesinin en fazla olduğu tahmin edilen orta noktadan olmuştur. 90° açıyla uygulanan CFRP ile güçlendirilen deney elemanları kontrol deney elemanlarına göre ortalama %60 daha fazla yük taşımışlardır. Bu oran 45° ile güçlendirilen elemanlarda %50 de kalmıştır.

Kirişlerdeki en fazla çatlama, kirişin 500 mm içe doğru birinci kesme bölgesine 45° ile yerleştirilen 150 mm boyundaki birim deformasyon ölçer kullanılarak ölçülebilmektedir. Kesme bölgelerinde kontrol numunelerinde 0.55 mm çatlama olmasına karşın, aynı yerde KE grubunda 0.29, KD grubunda 0.16 mm olarak gerçekleşmiştir.

Kirişlerin eğilme çekme gerilmelerin en fazla olduğu kiriş alt ortasından ölçülen çatlak değerleri ise kontrol numunelerde 9.3 mm iken KD kirişlerde 0.25 mm, KE kirişlerde 0.74 mm olarak gerçekleştiği görülmüştür. Kirişlerin deplasman değerleri kontrol numunelerde 51.77 mm, KE 27.25 mm, KD 32.07 mm olarak gerçekleşmiştir.

CFRP ile güçlendirilmiş bütün kirişlerde kırılmalar liflerin parça, parça kopmasıyla başlamıştır. Bir kısım numuneler betonun dağılmasıyla kopmuştur. Bazıları da epoksi altından yada üstünden tabaka halinde ayrılmıştır. Numunelerin en başarılı güçlendirmeleri dayanımı en yüksek olan kirişler olarak düşünürsek, bu numunelerde ani kırılmalar olduğu gözlenmiştir. Tekstiller tek, tek atmayarak daha büyük parçalar halinde kopmuş ve ayrılmalar betondan olmuştur. Güçlendirme işlemi sonunda inşaat teknolojisinin uygulanması yönünden genel olarak şu sonuçlar elde edilmiştir.

1. Tüm numunelere yapılan köşe yuvarlatmasının başarılı olduğu,
2. Epoksinin CFRP tekstillerinin altına ve üstüne uygulanan miktarın fazla olması halinde ayrılmaları engelleyebileceği,
3. Kirişlerin kırılma yerlerine alttan (1/3 orta kısmına) takviye güçlendirme CFRP yapıştırılmasının dayanımı arttıracacağı,
4. Güçlendirme malzemelerinin her iki yandan kiriş boyunca (ilk ayrılmalar buradan başlamıştır) uçlarının epoksi ile çok iyi örtülmesinin faydalı olacağı,
5. Gevrek kırılma sonrası çok fazla yükün ani olarak donatıya bindiği düşünülürse donatı ile güçlendirme malzemesi arasında oran oluşturularak güçlendirme yapılmasının faydalı olacağı, düşünülmüştür.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Önal, M., (2002). *Hasar Görmüş Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Mantolama Yöntemiyle Onarımı Üzerine Deneyel Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2]. Ersoy, U. ve Özcebe, G., (2001). Betonarme Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, *Evrin Yayınevi*, Ankara, 459-640.
- [3]. Keles, M., (2005). *Betonarme Kirişlerde Açılı CFRP Şeritlerin Kesmeye Katkısı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [4]. Peker, Ö.,(2005). *Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5]. Kachlakev, D. and Mccury, D.D., (2000). Behavior Of Full-Scale Reinforced Concrete Beams Ratrofitted For Shear And Flexural With Frp Laminates, *Composites Part B: Engineering*, 31(6-7), 445-452.

- [6]. Önal, M., Tokgöz, H. ve Koçak, A., (2005). The Experimental study of Repaired Beams Using 3-Surfaced Adhesively Bonded Steel Plates, *Journal of Engineering and Natural Sciences (Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi)* Sigma 2005/1, 96-102.
- [7]. Atımtay, E., (2000). Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Betonarme Yapılar 2, *Bizim Büro Basımevi*, Ankara, 40-70.
- [8]. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007). *Bayındırlık Bakanlığı*.
- [9]. Khalifa, A. and Nanni, A., (2002). Rehabilitation Of Rectangular Simply Supported RC Beams With Shear Deficiencies Using CFRP Composites, *Construction and Building Materials*, 16 (3), 135-146.
- [10]. Wegian, F.M. and Abdalla, H.A. Abdalla. (2005). Shear Capacity Of Concrete Beams Reinforced with Fiber Reinforced Polymers, *Composite Structures*, 71, 130–138.