

BETONA YAPIŞTIRILMIŞ ANKRAJLI LİFLİ POLİMER LEVHALARIN ARAŞTIRILMASI

M. Emin KARA¹, Kıvanç BAYAT²

¹Aksaray Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Aksaray,

²Milli Savunma Bakanlığı, İnşaat Emlak ve Nato Güvenlik Yatırımları Daire Bşk., Ankara

eminkara@aksaray.edu.tr

(Geliş/Received: 14.12.2010; Kabul/Accepted: 07.02.2011)

ÖZET

Son yıllarda Lifli Polimer (LP) levhalar betonarme yapıların onarım veya güçlendirilmesi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton, tuğla v.b. üzerine yapıştırılan LP levhaların incelendiği çok sayıda araştırma olmasına rağmen, şeritlerin uç kısımlarında kullanılan ankrajlarla ilgili yeterli bilgi birikimi bulunmamaktadır. Özellikle tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve türü yapılarda, güçlendirme için kullanılan diyagonal şeritlerin kolon ve kiriş elemanlarına bağlantıları önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada LP levhaların betona bağlanmasında literatürde de yer bulan fan ankraj ve doğrudan ankraj kullanılmış ve birbirine göre üstünlükleri ve sakıncaları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada incelenen değişkenler LP levhanın uçlarındaki ankraj çeşitleri ve ankraj sayısıdır. Araştırmada sabit moment bölgesinde çentiği olan ve bu bölgede çekme donatısı olmayan betonarme kirişler kullanılmıştır. Araştırma sonucunda fan ankrajın ilave bir önlem almadan sayısının artırılmasının sakıncalı olduğu ancak doğrudan ankrajın sayısının artırılmasının davranış ve dayanımı olumlu etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lifli Polimer, Ankraj, Güçlendirme.

AN INVESTIGATION OF ANCHORAGED CARBON FIBER REINFORCED POLYMERS BONDED TO CONCRETE

ABSTRACT

Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP) is used for strengthening or retrofitting of RC structures frequently at last decades. Although there are studies about the stress distribution between CFRP plates and concrete, there are very limited amount of studies about the behaviours of anchorages that are applied to ends of CFRP plates used for connection. Connecting diagonal strips of CFRP to columns and beams of masonry infilled RC frames is a significant problem. In this study, two different anchoring techniques namely fan and standard type that are found in its place at literature are compared with their pros and cons. Type and the number of anchorages are the main investigated parameters. RC beams without any tension reinforcement that are manufactured with a notch at the constant moment region are used in this study. As a result, increase in the number of fan type anchorages should be kept limited, if any other precautions did not took in to account. But increase in the number of standard anchorages are improved the strength and behaviour positively.

Key Words: Carbon Fibre, Anchorage, Strengthening.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusunda araştırmalar ülkemizde ve dünyada güncelliğini korumaktadır. Betonarme yapıların deprem etkisine karşı onarımı veya güçlendirilmesi uygulamaları eleman düzeyinde (kolon, kiriş, perde) ve sistem düzeyinde (betonarme çerçeve) olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Sistem

düzeyinde yapılan çalışmalarda hasar alma ihtimali yüksek olan veya hasar almış çerçeve türü yapıların güvenli hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla çerçeve gözüne betonarme dolgu duvarı ilave edilmesi, çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda çelik levhalar yapıştırılması sıkça kullanılan yöntemlerdir. Betonarme yapıların onarım ve güçlendirme uygulamalarıyla ilgili yapılan araştırmalarda elde edilen ortak sonuç, onarım veya güçlendirme

uygulanmasının başarısının, yapılan uygulama ile mevcut yapı arasındaki bağlantı detayına bağlı olduğudur. Son yıllarda ise lifli polimer levhalar, yüksek malzeme dayanımı, uygulanmasının kolay ve hızlı olması ve malzemenin kesit kalınlığının çok ince olması gibi üstünlükleri nedeniyle tercih edilen malzemeler olmuşlardır. Çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda ilave edilen LP levhalar deprem kuvvetleri sonucunda oluşan, tekrarlanan eksenel çekme ve basınç kuvvetlerinin etkisinde kalmaktadırlar. Ancak LP levhaların geometrileri gereği basınç kuvveti taşıma kapasiteleri ihmal edilmekte, malzeme çekme kuvveti taşıyabilmektedirler.

Konuyla ilgili literatürde bulunan çalışmalarda beton, çelik veya tuğla yüzeylere yapıştırılmış lifli polimerler levhalara eksenleri doğrultusunda çekme testi uygulanmıştır. Yüzeyle yapıştırılan LP levhalarda oluşan gerilme dağılımı, etkili olan yapıştırma boyu ve yapıştırma genişliği araştırılmıştır [1-3]. Az sayıda çalışmada ise yapıştırılan levhanın, eksenine dik doğrultuda ankrajlarla yüzeyle bağlanması deneysel olarak araştırılmıştır [4-7]. Bu çalışmalarda şerit şeklindeki LP levhalar beton blok üzerine tek ve iki taraflı yapıştırılmış ve eksenel çekme etkisinde monotonik yükleme ile test edilmiştir. Elde edilen dayanımlar, üretici firmaların malzeme için verdiği dayanımlarla karşılaştırılmış ve yapılan uygulamanın etkinliği araştırılmıştır. Testler sonucunda çekme kuvveti etkisindeki LP levhaların, yapıştırıldığı yüzeyle oluşturduğu kompozit yapı nedeniyle, teorik dayanımlarına ulaşamadığı belirlenmiştir. Dayanımdaki düşüş birleşim bölgesindeki gerilme yığılması, yüklemenin eksenel olamaması, yapıştırılan yüzeyin özellikleri ve yapıştırılan beton vb. malzemenin özellikleri gibi etkenlerden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Şerit şeklinde yapıştırılan LP levhalarla ilgili deneysel sonuçlar kullanılarak, analitik çalışmalar yapılmıştır [8-12]. LP levhaların betona ankrajlanmasında gömülme boyu, delik çapı, ankraj çapı gibi değişkenler de araştırılmıştır [13]. LP levhaların beton, çelik ve tuğla malzemelerinin üzerine yapıştırılmasında etkili olan yapışma yüzeyinin boyu ve genişliği, LP levhanın çekme testinde beklenen dayanımının belirlenebilmesi amacıyla yaklaşımlar yapılmıştır [14]. Beton yüzeylere yapıştırılmış LP levhaların özelliklerinin belirlenmesinde donatısı olmayan, çentikli kiriş deneyleri kullanılmıştır. Malzeme kirişin çekme bölgesine yapıştırılmıştır. Elemanlar dört noktadan monotonik yükleme etkisinde test edilmiştir. Diğer bir araştırma konusunda ise; çelik veya betonarme kirişlerin çekme bölgesine LP levhalar yapıştırılmış ve elemanlar tekrarlı yükleme etkisinde test edilmiştir [15-17].

LP levhalar betonarme yapıların onarım veya güçlendirilmesinde betonarme dolgu duvarı ve çelik levhalar yerine uygulanmasının kolay ve hızlı olması nedeniyle tercih edilmekte, tuğla dolgulu çerçeve gözünde diyagonal doğrultuda yapıştırılarak sistemin yatay yük taşıma kapasitesi artırmaktadır. Bu çalışmalarda diyagonal doğrultuda kullanılan LP

levhaların bağlantı şekilleri, genişlikleri ve dolgunun tek tarafında kullanılması gibi durumlar incelenmiştir [18-19].

LP levhalarda gözlenen göçme şekilleri üç grupta toplanabilir. Bu göçme şekilleri; levhanın beton yüzeyinden soyulması, levha yapıştırıcısının beton yüzeyinden soyulması ve levhanın kopmasıdır. LP levhanın kopması şeklindeki göçme malzemenin eksenel çekme kapasitesinin, yüksek olması nedeniyle nadir olarak gerçekleşmektedir. Çerçeve türü yapılarda kullanıldıklarında ise göçme, LP levhaların çerçevenin kolon ve kirişlerine bağlandığı, malzemenin düzgün formda yapıştırılmadığı bölgelerde gerçekleşmektedir. Bu durum malzemenin çerçeve elemanlarına, dolayısıyla betona ankrajlanmasının önemli olduğunu göstermektedir. Tuğla dolgulu çerçeve türü yapılarla ilgili araştırmaların çoğunda, ankrajlı LP levhaların deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerine olan katkıları incelenmiştir. LP levhaların uç bölgelerinde kullanılan bağlantı detayı ile ilgili bilgi birikimi sınırlı düzeyde kalmıştır. Bu araştırmanın amacı betona yapıştırılmış ve uçlarından ankrajlı LP levhaların incelenmesidir. Araştırmada çekme bölgesinde donatısı olmayan çentikli kiriş deneyleri kullanılmıştır.

Betona yapıştırılmış LP levhaların uç bölgesinde iki farklı ankraj türü karşımıza çıkmaktadır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte, LP levhaların kullanımıyla ilgili bir bölüm bulunmaktadır. Tuğla dolguya yapıştırılan levhanın, betonarme çerçeve elemanlarına uçları fan şeklinde açılmış, fan ankraj olarak isimlendirilen ankrajlarla bağlanması gerektiği vurgulanmıştır [20]. Levha uçlarında kullanılan diğer ankraj türü ise dolguya yapıştırılan levhanın uç bölgesinin, ankraj formuna sokulmasıyla elde edilmektedir. Doğrudan ankraj olarak isimlendirilen LP ankraji, betona açılan deliğe epoksi ile bağlanmaktadır. İki ucundan ankrajlı LP levhaların davranışında, yapıştırılan yüzeye oranla uç bölgesinde yapılan ankrajın başarısının en önemli detay olduğu ortaya konulmuştur. Konuyla ilgili araştırmalarda, levhanın uç bölgesindeki ankrajların bittiği bölümden koptuğu belirlenmiştir. Bu çalışmada betona yapıştırılmış LP levhaların, uçlarında kullanılan ankrajların levhanın yük taşıma kapasitesine olan katkısı incelenmiştir. Çentikli kirişin çekme bölgesine yapıştırılan levhanın uç bölgesinde doğrudan ve fan ankraj olmak üzere iki farklı bağlantı türü uygulanmıştır. Levha ucunda kullanılan ankraj sayısı ise araştırmanın diğer değişkenidir.

Betona veya farklı bir yüzeylere yapıştırılan LP levha boyunca, malzemenin yüzeyden ayrılmasını geciktirdiği gerekçesiyle LP bulonların kullanılması tavsiye edilmiştir. Deneysel çalışmada LP levha boyunca yönetmeliklerde ve yapılan çalışmalarda belirli aralıklarla uygulanması tavsiye edilen LP

bulonlar kullanılmıştır. LP Levhaların basınç dayanımı 20 MPa'ın altında olan beton yüzeylerde kullanılması sakıncalı görülmektedir. Ancak ülkemizde yaşanan büyük depremlerden sonra yıkılan veya hasar alan yapılarda kullanılan betonun, basınç dayanımının çok düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Bu nedenle LP levhanın 10 MPa beton basınç dayanımı olan deney elemanlarında kullanılmasının konuyla ilgili bilgi birikimine katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

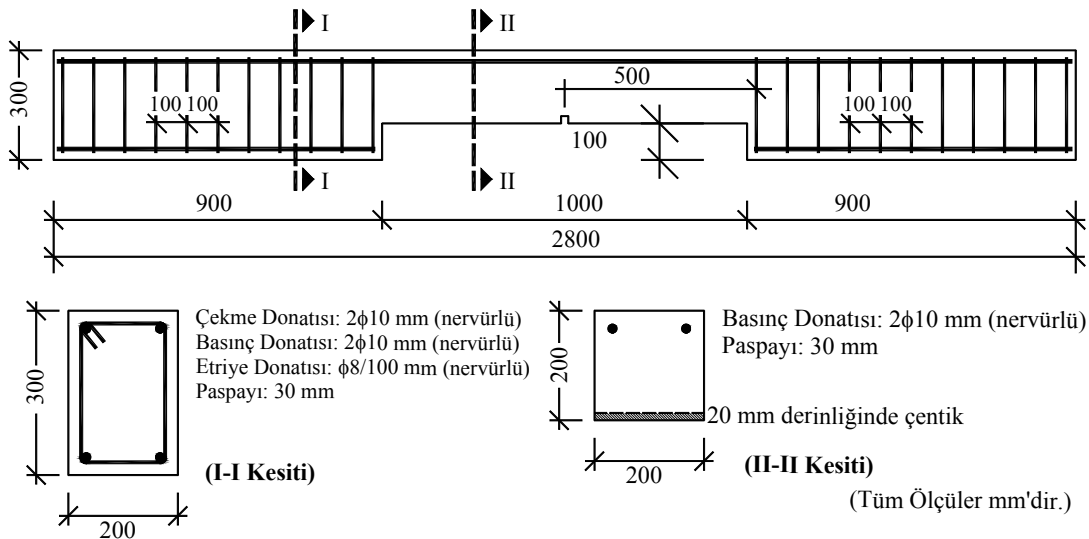
2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

2.1. Deney Elemanları ve Malzeme (Test Specimens and Materials)

Çalışma kapsamında betonarme yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan, betona yapıştırılmış ve iki ucundan ankrajla bağlanmış LP levhalar araştırılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler LP levhaların uçlarında kullanılan ankraj türü ve ankraj adedidir.

Geometrik boyutları nedeniyle, LP levhaların basınç kuvveti taşıma kapasiteleri, çekme dayanımının yanında ihmal edilebilecek düzeydedir. Üretici firmaların katalog bilgilerinde de uzama birim şekil değiştirmesi ve çekme dayanımı gibi özellikler verilmektedir. Uygulamada ise çerçeve türü yapıların dolgusunda diyagonal doğrultuda kullanılan ve uçlarından kolon ve kiriş elemanlarına ankrajlanan LP levhalar, deprem etkisi karşısında çekme ve basınç

kuvvetleri etkisinde kalmaktadırlar. Levhaya etki eden basınç kuvvetleri ihmal edilecek düzeyde olduğundan LP levhanın tekrarlanan çekme kuvveti etkisinde olduğu doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmada tekrarlanan ve her çevrimde 2,5 kN artırılan yüklemeye kullanılmıştır. Çalışmada ortasında simetrik olarak düzenlenmiş 100 mm derinliğinde ve 1000 mm boyunda bir çentiği olan kiriş, deney elemanı olarak kullanılmıştır. 100 mm derinliğinde çentik levha uçlarına ankraj yapılabilmesi amacıyla tasarlanmıştır. Levhanın yapıştırıldığı ve momentin sabit olduğu çentik bölgesinde çekme donatısı kullanılmamıştır. Deney elemanında basınç donatısı olarak iki adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı, çekme donatısı olarak kirişin kesme açıklığında iki adet $\phi 10$ mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Kesme açıklığı, 8 mm çapında nervürlü donatıdan üretilmiş etriyelerle 100 mm aralıkla sargılanmıştır. Deneylerde kullanılacak kiriş deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 1'de verilmiştir. Çentiğin ortasında kiriş kesiti boyunca devam eden 20x20 mm boyutlarında boşluk bırakılmıştır. Kullanılan betonun basınç dayanımı 10 MPa olarak belirlenmiştir. Levha boyunca 150 mm aralıkla kullanılan LP bulonlar Şekil 2'de verilmiştir. Çentik boyunca yapıştırılan 100 mm genişliğindeki LP levha çentiğin kenarlarına Şekil 2'de verildiği gibi fan ankraj ve doğrudan ankraj ile bağlanmıştır.



Şekil 1. Kiriş deney elemanının geometrisi ve donatı özellikleri
(Geometric properties and reinforcement details of test specimens)

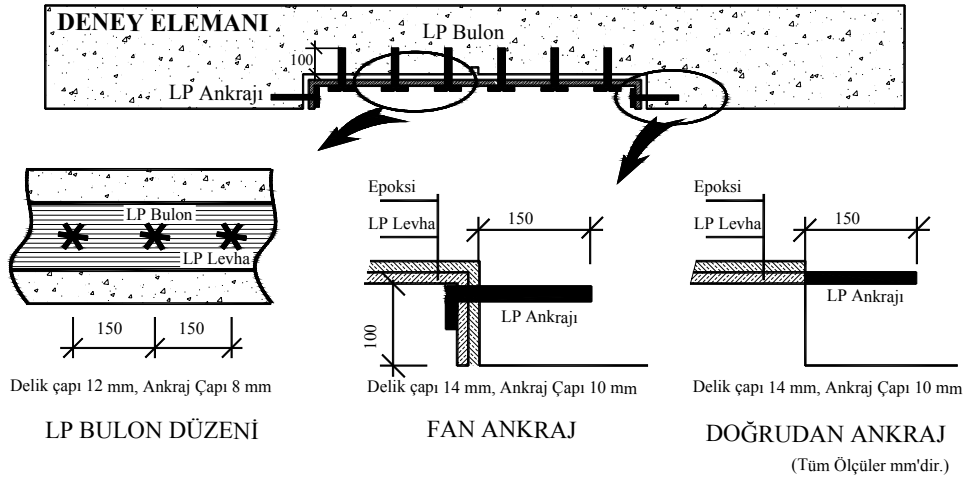
Fan ankraj uygulamasında LP levha şekilde olduğu gibi çentik kenarlarına epoksi ile yapıştırılmıştır. Fan ankraj ise 100 mm genişliğinde, 200 mm boyunda levhanın 10 mm çapında, 150 mm boyunda çeliğe sarılmasıyla elde edilmiştir. Ankraj daha sonra epoksi doldurulmuş deliğe yerleştirilmiştir. Ankrajın dışarıda kalan 50 mm uzunluğundaki bölümü levha üzerine fan şeklinde açılmış ve yapıştırılmıştır (Şekil 3. Deney

Elemanı-2). Doğrudan ankraj, çentik boyunca yapıştırılan levhanın uçlarının, ankraj şeklinde 10 mm çapında ve 150 mm boyunda çeliğe sarılmasıyla elde edilmiştir. Daha sonra epoksi ile doldurulmuş deliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3. Deney Elemanı-3).

Literatürde bulunan araştırmalarda da göçme ankrajın betonun içinde kalan kısmında gerçekleşmemektedir.

Buna göre delik çapı 14 mm, gömülme boyu 150 mm ve ankraj çapı 10 mm olarak belirlenmiştir. Tasarım göçmenin betona gömülen kısımdan olmayacağı şekilde yapılmıştır. Levha boyunca kullanılan LP bulonlarda gömülme boyu 100 mm, delik çapı 12 mm olarak belirlenmiştir. Bulonlar 150 mm boyunda ve 100 mm genişliğinde levhaların 100 mm boyunda ve 8 mm çapında çeliğe sarılmasıyla elde edilmiştir. Hazırlanan ankraj epoksi doldurulmuş deliğe yerleştirilmiş ve dışarıda kalan 50 mm boyundaki

bölümü 100 mm çapında fan şeklinde açılarak yapılandırılmıştır (Şekil 3. Deney Elemanı-2). 1000 mm boyunda levhada 150 mm aralıklı 6 adet LP bulon kullanılmıştır. Bütün deney elemanlarında özdeş olan bulonlar levha boyunca aynı eksende kullanılmış, şaşırtma yapılmamıştır. Deney programında kullanılan dört adet deney elemanı ve deneysel değişkenleri Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 2. LP ankraj çeşitleri ve LP bulonlar (CFRP Anchorage and dowel types)

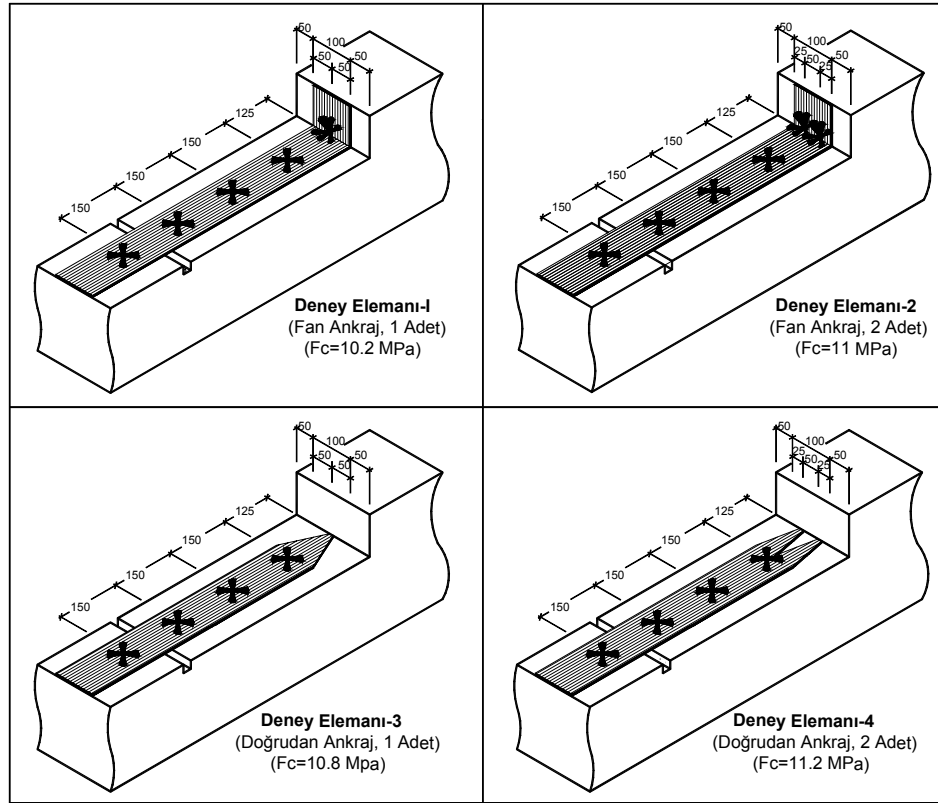


Şekil 3. LP Ankraj çeşitleri ve LP Bulon resimleri
(Type of CFRP Anchorage and Dowels photographs)

Deney programında LP levha genişliği 100 mm olarak belirlenmiştir. Levha ucunda fan ankraj ve doğrudan ankraj kullanılmıştır. Ayrıca levha ucunda ankraj sayısı değiştirilerek ankraj sayısındaki artışın dayanım ve davranış üzerine etkisi araştırılmıştır. İki adet ankraj 100 mm'lik levhada 50 mm aralıklı olarak kullanılmıştır. Doğrudan ankraj kullanılan deney elemanında ise, 100 mm'lik levha ikiye bölünmüş, 50 mm genişliğindeki her parçasının ucu ankraj yapılmıştır. Deneysel çalışmada tek yönlü LP levha (Sikawrap 230-C) kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak iki bileşenli (Sikadur-330) epoksi kullanılmıştır. LP levha ve yapıştırıcısının özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. LP levha ve yapıştırıcısının özellikleri
(Properties of CFRP and epoxy)

LP Levhanın Mekanik Özellikleri	
Ağırlığı (g/m ²)	220 ± 10
Yoğunluğu (g/m ³)	1,78 x 10 ⁻⁶
Kalınlığı (mm)	0,12
Çekme Dayanımı (MPa)	4100
Elastisite Modülü (MPa)	231000
Maksimum Uzama (%)	1,7
Epoksinin Mekanik Özellikleri	
Çekme Dayanımı (MPa)	30
Elastisite Modülü (MPa)	3800

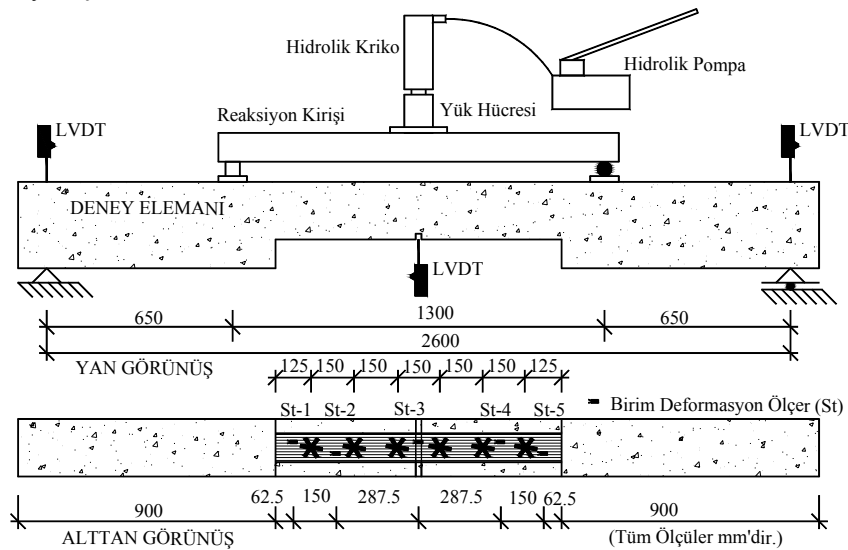


Şekil 4. Deney elemanlarının özellikleri (Properties of specimens)

2.2. Deney ve Ölçüm Düzeni (Test and Instrumentation Setup)

Deneşel araştırma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneşlerde kullanılan deney ve ölçüm düzeni Şekil 5'de verilmiştir. Deney elemanları tekrarlanan dört nokta yüklemesi etkisinde test edilmiştir. Yük deney elemanına hidrolik kriko ve el kumandalı hidrolik pompa ile her bir yük çevriminde 2,5 kN artırılarak

uygulanmıştır. Uygulanan yük 100 kN kapasiteli yük hücresi ile ölçülmüştür. Orta nokta deplasmanı ve mesnet çökmeleri, deplasman ölçerler (LVDT) kullanılarak ölçülmüştür. LP levha üzerine, 10 mm boyunda ve 120 ohm direnci olan 5 adet birim deformasyon ölçer yapıştırılmıştır. Birim deformasyon ölçerler, göçmenin beklendiği uç bölgelerde 150 mm aralıklı iki adet ve levhanın orta noktasına yapıştırılmıştır.

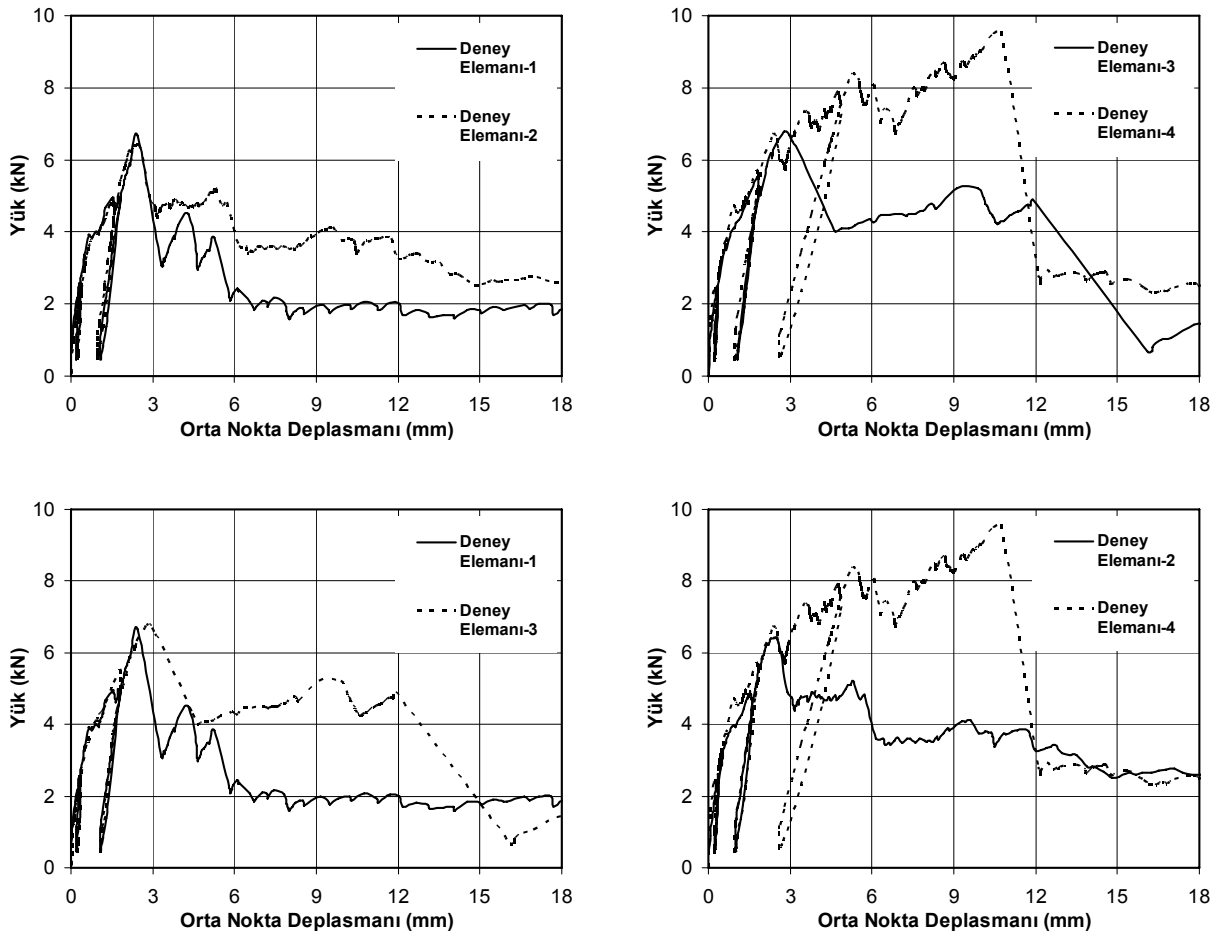


Şekil 5. Deney ve ölçüm düzeni (Test and instrumentation setup)

3. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS and DISCUSSION)

Bu çalışmada incelenen değişkenler LP levhaların uç bölümlerinde kullanılan ankraj türü ve ankraj sayısıdır. Deneysel değişkenlere göre gruplandırılmış yük-deplasman grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Deneysel Elemanı-4 dışında deney elemanlarının dayanımı 6,4 kN ile 6,8 kN arasında değişmiş, bu durum deney elemanları arasında %6 oranında bir dayanım farkına karşılık gelmiştir. Ancak iki adet doğrudan ankraj kullanılan Deneysel Elemanı-4, tek ankraj kullanılan Deneysel Elemanı-3'ün %41'i, iki adet fan ankraj kullanılan Deneysel Elemanı-2'nin %49'u oranında daha fazla yük taşımıştır. Deneysel Elemanı-2'de fan ankrajın iki adet olması, bir adet fan ankrajlı Deneysel Elemanı-1'e göre dayanımda bir artış sağlamamıştır. Bu sonucun LP levha kesitinin ikinci

fan ankraj için 14 mm daha azalmasından kaynaklanmıştır. İki deney elemanın göçme mekanizması da farklı olmuştur. Grafiklerden anlaşıldığı gibi bir adet ankrajın fan veya doğrudan olması önemli oranda bir dayanım farkı ortaya çıkarmamıştır. Ancak doğrudan ankrajın çift olması davranışı olumlu yönde etkilemiştir. Şekil 6'da verilen grafikler incelendiğinde deney elemanlarının aynı yük düzeylerinde benzer davranış sergiledikleri görülmektedir. Bu nedenle başlangıç rijitlikleri değerlendirilmemiştir. Göçme anında ölçülen deplasmanlar yanıltıcı olacağı düşüncesiyle rijitlik değerleri bütün elemanlar için 2. çevrimde 5 kN yük düzeyi için hesaplanmıştır. Deneysel elemanların maksimum yük düzeyleri ve rijitlikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Deneysel elemanlarının deneysel değişkenlere göre gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri
(Grouped load-displacement graphics of test specimens according to experimental parameters)

LP levhaların doğası gereği kopması son derece hızlı gerçekleşmektedir. Şekil 6'daki grafiklerden de anlaşılacağı gibi deney elemanlarının maksimum yüke ulaşmalarının hemen ardından göçme gerçekleşmiştir. Bu nedenle deney elemanlarıyla ilgili deplasman süneklik oranı konusunda yorum yapmanın gerçekçi olmadığı değerlendirilmiştir. Deneysel elemanlarından 5 adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Alınan maksimum ölçüm değerlerinin 1000 mm boyundaki

çentik boyunca değişimleri kullanılarak hazırlanmış ve gruplandırılarak Şekil 7'de verilmiştir.

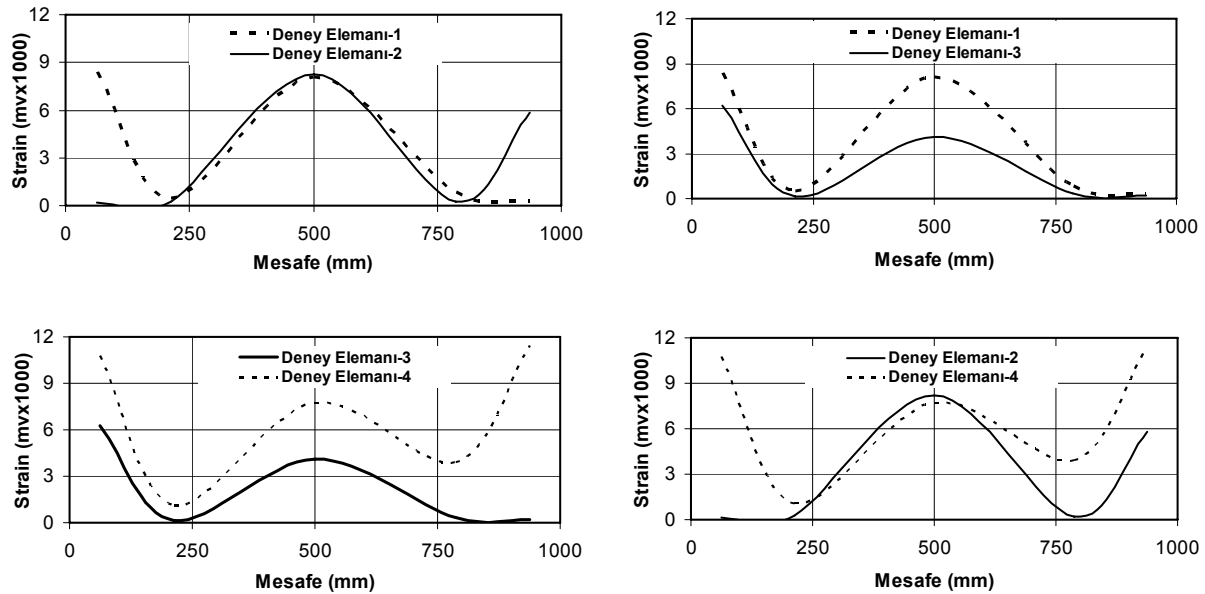
Levhanın ucunda yer alan ve ankrajlara 62,5 mm uzaklıktaki 1 ve 5 numaralı ölçümlerin bulunduğu bölgelerin göçmede belirleyici olduğu görülmektedir. Ancak levhanın düzgün formda olduğu 2 ve 4 numaralı ölçümler test boyunca oldukça düşük değerlerde kalmıştır. Levhanın tam ortasında alınan 3

numaralı ölçüm ise bütün deney elemanlarında 1 ve 5 numaralı birim uzamalardan küçük olmuştur. Birim deformasyon ölçümleri incelendiğinde bir adet fan veya doğrudan ankraj kullanılmasının önemli oranda bir kazanım sergilemediği görülmüştür. Diğer önemli bir sonuç ise fan ankrajın iki adet kullanılmasıyla göçmenin gerçekleştiği sağ ankraj bölgesinde ölçülen uzamanın tek fan ankrajlı deney elemanında göçmenin olduğu sol ankraj bölgesine göre daha az olmasıdır. Bu durum ilave ankraj yapılmasıyla levha kesitinin zayıflamasından kaynaklandığı yorumlanmıştır. Doğrudan iki ankraj yapılan Deney Elemanı-4’de ise birim uzamalar yük taşıma kapasitesini doğrulayacak şekilde oldukça yüksektir. Diğer bütün deney elemanlarında birim uzamalar levhanın bir ucunda artarken, Deney Elemanı-4’de levhanın iki ucunda da önemli oranda birim uzama ölçülmüştür. Maksimum ölçülen birim uzama, doğrudan tek ankrajlı deney elemanının yaklaşık iki katıdır. Bu durum ankrajların iki adet yapılmasıyla levhanın birleşim bölgesine daha az keskin dönüş yaparak bağlanmasıyla açıklanabilmektedir.

Deney elemanları için elde edilen önemli verilerden biri de göçme mekanizmalarıdır. Deney elemanlarının göçme sırasında alınmış fotoğrafları Şekil 8’de verilmiştir. Doğrudan iki adet fan ankraj kullanılan Deney Elemanı-4 dışındaki bütün deney elemanlarında göçme çentik boyunca kılcal birkaç çatlak oluşmasının ardından ankraj bölgesinde oluşan bir çatlakla gerçekleşmiştir. Ancak Deney Elemanı -4’de çentik bölgesinde çok sayıda çatlak oluşmuş, sol ankrajın olduğu uca, birim deformasyon ölçümünde de doğrulanmış çatlak gelişmiş ancak kırılma sağ uca gerçekleşmiştir. Fan ankrajın iki adet veya bir adet olması göçme mekanizmasını değiştirmiştir. Bir adet fan ankrajlı olan Deney Elemanı-1’de göçme LP ankrajın kopmasıyla gerçekleşmiştir. Ancak iki adet fan ankrajlı Deney Elemanı-2’de ise kesiti zayıflayan LP levha yırtılmıştır.

Tablo 2. Deney sonuçları (Experimental results)

Deney El. No	Maks. Yük(kN)	Rijitlik(kN/mm)	Göçme Modu
1	6,67	2,85	Ankrajın birleşim bölgesinde yırtılması
2	6,41	3,28	Levhanın birleşim bölgesinde yırtılması
3	6,78	3,31	Ankrajın birleşim bölgesinde yırtılması
4	9,55	3,74	



Şekil 7. Deneysel değişkenlere göre gruplandırılmış LP levha boyunca maksimum birim uzamalar (Grouped strain distribution of CFRP according to experimental parameters)

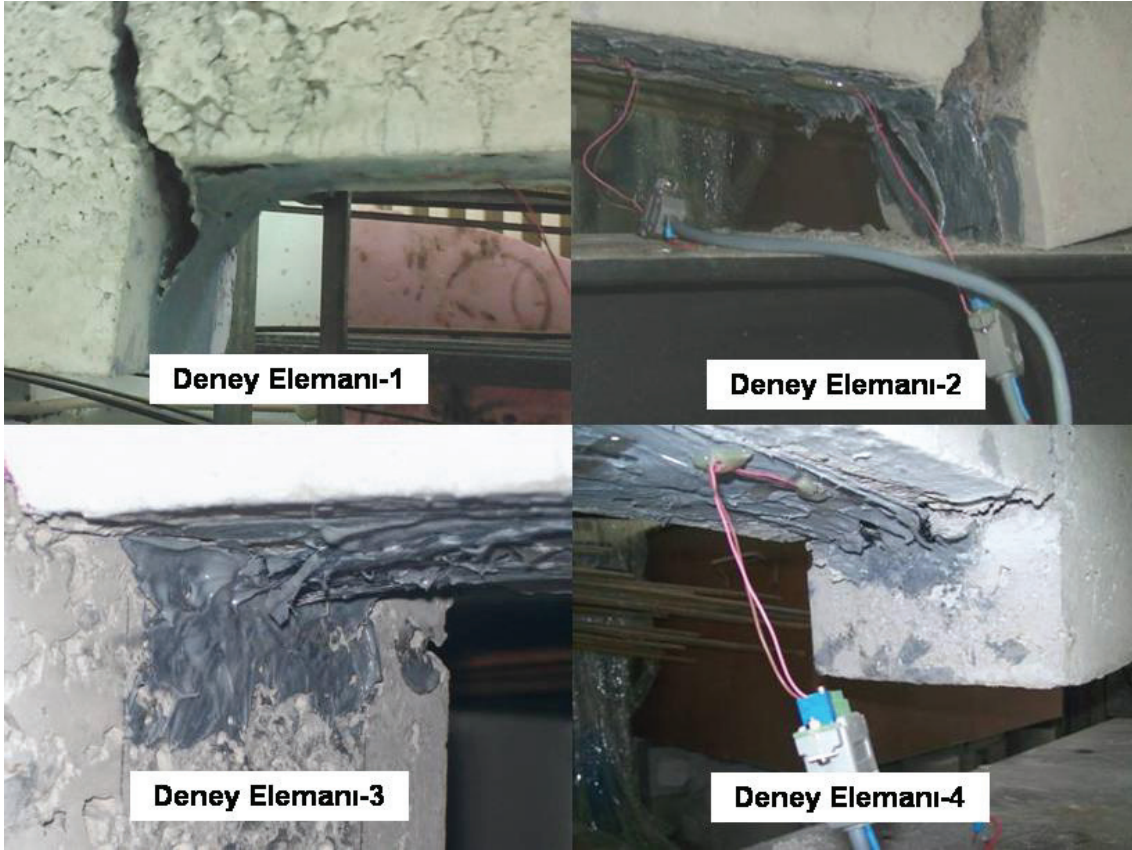
4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışma kapsamında güçlendirme amacıyla kullanılan LP levhaların betonarme elemanlara bağlanmasında kullanılan uç ankrajlarının davranış ve dayanım üzerine etkileri incelenmiştir. İki uçtan ankrajlı LP

şeritler çentikli betonarme kirişlerin çekme yüzeyine yapıştırılarak tekrarlı dört nokta yüklemesi altında, dolaylı olarak eksenel çekme kuvveti etkisinde test edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler LP levha uç ankrajı türü ve sayısıdır. Deney programında doğrudan ve fan tipi ankraj olmak

üzere 2 tip ankraj, tek ve çift olmak üzere 2 farklı sayıda üretilmiştir. Deney elemanlarının dayanım, rijitlik, göçme mekanizması ve birim deformasyon değerleri incelenerek levha ucunda kullanılan ankraj çeşidinin ve ankraj sayısının deney elemanlarının

davranış ve dayanımlarına olan etkisi araştırılmıştır. Deneysel verilere dayanılarak elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.



Şekil 8 Deney elemanlarının göçme anında alınmış fotoğrafları (Failure mode photographs of test specimens)

- Beton dayanımının 10 MPa gibi çok düşük bir değer olmasına rağmen hiçbir deney elemanında göçme, ankrajların betona gömülen kısmında oluşmamıştır. Geçmişte yapılan çalışmalarda ön görüldüğü üzere kopma betona gömülen ankrajın bitim bölgesinde gerçekleşmiştir. İki adet ankraj yapılmasında, ankrajlar arasında bırakılan 50 mm mesafe yeterli olmuştur.
- LP bulonlar malzemenin beton yüzeyinden ayrılmasını engellemiştir.
- 100 mm genişliğinde tek yönlü LP levhanın uçlarında bir adet fan ankraj veya doğrudan ankraj kullanılması ile benzer dayanım ve davranış elde edilmiştir.
- Fan ankrajlı deney elemanlarında ankraj sayısının artması dayanım üzerinde etkili olmamıştır. Bir adet fan ankrajın, iki adet olması göçme mekanizmasını değiştirmiştir. Birleşim bölgesinde bir adet fan ankraj olduğunda göçme ankrajdan gerçekleşirken, iki adet fan ankraj olmasıyla göçme, kesiti zayıflayan levhanın yırtılması şeklinde gerçekleşmiştir. 100 mm genişliğinde levhada

fan ankraj sayısının artırılmasının, uç bölgede deprem yönetmeliğinde de bahsedildiği gibi levhayı birleşimde daha güçlü yapacak, ilave bir LP levha katmanı kullanılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

- Doğrudan iki adet ankraj kullanılan Deney Elemanı-4 en başarılı deney elemanı olmuştur. Bu durum levha genişliği ile ucuna yapılabilecek doğrudan ankraj sayısı arasında bir ilişki doğurmaktadır. 100 mm genişliğinde levhanın ucunun tek ankraj yapılması ile iki ye bölünüp, her bir 50 mm genişliğindeki levhanın ucunun ankraj yapılması son derece olumlu olmuştur.
- 100 mm genişliğinde tek yönlü LP levhanın kullanıldığı deney elemanlarının hepsinde göçme, LP levha ile LP ankrajın birleştiği yüzeyde gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının hiç birinde levha çentik ortasında, düzenli formda yapıştırıldığı bölümde kopmamıştır. Önemli oranda birim deformasyon ölçülmesine rağmen göçme levhanın uçlarında gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gao, B., Kim, J. and Leung, C., "Experimental study on RC beams with FRP strips bonded with rubber modified resins", **Composites Science and Technology**, Vol. 64, 2557-2564, 2004.
2. Ferracuti, B., Savoia, M. and Mazzotti, C., "Interface law for FRP-concrete delamination", **Composite Structures**, Vol. 80, 523-531, 2007.
3. Anil, Ö., Belgin, Ç. and Kara, M. E., "Experimental Investigation on CFRP to Concrete Bonded Joints Across Crack", **Structural Engineering and Mechanics**, Vol. 35, No 1., 1-18, 2010.
4. Camli, U.S. and Binici, B., "Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry", **Construction and Building Materials**, Vol. 21, 1431-1446, 2007.
5. Chen, J.F. and Teng, J.G., "Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete", **Journal of Structural Engineering**, Vol. 127, 784-791, 2001.
6. Tan, K.H., Patoary, M.K.H. and Roger, C.S.K., "Anchorage systems for masonry walls strengthened with FRP composite laminates", **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Vol. 22, 1353-1371, 2003.
7. Novidis, D., Pantazopoulou, S.J. and Tentolouris, E., "Experimental study of bond of NSM-FRP reinforcement", **Construction and Building Materials**, Vol. 21, 1760-1770, 2007.
8. Teng, J.G., Zhang, J.W. and Smith, S.T., "Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffit plate: a finite element study", **Construction and Building Materials**, Vol. 16, 1-14, 2002.
9. Liu, H.Y., Zhang, X., Mai, Y.W. and Diao, X.X., "On steady-state fibre pull-out II computer simulation", **Composites Science and Technology**, Vol. 59, 2191-2199, 1999.
10. Yang, J. and Wu, Y.F., "Interfacial stresses of FRP strengthened concrete beams: effects of shear deformation", **Composite Structures**, Vol. 80, 343-351, 2007.
11. Wu, Z.S. and Davies J.M., "Mechanical analysis of cracked beam reinforced with an external FRP plate", **Composite Structures**, Vol. 62, 139-143, 2003.
12. Zhou, Y., Li, C. and Mason, J.J., "Fiber-end deformation effects in enlarged-end, fiber-reinforced composites", **Engineering Fracture Mechanics**, Vol. 72, 1980-1992, 2005.
13. Özdemir, G., **Mechanical Properties of CFRP Anchorages**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik üniversitesi, 2005.
14. Toutanji, H., Zhao, L. and Zhang, Y., "Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets bonded with an inorganic matrix", **Engineering Structures**, Vol. 28, 557-566, 2006.
15. Lenwari, A., Thepchatri, T. and Albrecht P., "Debonding strength of steel beams strengthened with CFRP plates", **Journal of Composites for Construction**, Vol. 10, 69-78, 2006.
16. Ahmad, A.R., Soudki, K.A. and Topper, T.H., "Preliminary experimental investigation of fatigue behavior of CFRP confined RC beams", **Construction and Building Materials**, Vol. 21, 746-755, 2007.
17. Gheorghiu, C., Labossiere, P. and Proulx, J., "Fatigue and monotonic strength of RC beams strengthened with CFRPs", **Composites Part A :Applied Science and Manufacturing**, Vol. 37, 1111-1118, 2006.
18. Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O. and Mertol, H.C., "Strengthened of brick-infilled RC frames with CFRP", **Structural Engineering Research Unit, TÜBİTAK, Metu**, 2003
19. Altin, S., Anil, Ö., Kara, M.E. and Kaya, M., "An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips", **Composites Part B: Engineering**, Vol. 39, 680-693, 2008.
20. **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007

