



**T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**BETONA YAPIŞTIRILMIŞ VE ANKRAJLI LİFLİ POLİMER  
LEVHALARIN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kıvanç BAYAT**

**DANIŞMAN**

**Yrd.Doç.Dr.Mehmet Emin KARA**

**OCAK 2011**

**AKSARAY**

**Her hakkı saklıdır**

T.C.  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KABUL ve ONAY BELGESİ

Kıvanç BAYAT'ın "Betona Yapıştırılmış ve Ankrajlı Lifli Polimer Levhaların Araştırılması" başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 24.12.2010 tarih ve 2010/34-2 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **YÜKSEK LİSANS** Tezi olarak **Oy Birliği/Oy Çokluğu** ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. M.Emin KARA (Aksaray Ün.)

1. Jüri : Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAYA (Aksaray Ün.)

2. Jüri : Yrd. Doç. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ (Aksaray Ün.)

İmza

Tezin Savunulduğu Tarih : 14/01/2011.

**ONAY**

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11.2.2011 tarih ve 2011/08-16 sayılı kararı ile **Kıvanç BAYAT**'ın **İnşaat Müh.** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans/Doktora** derecesi alması onaylanmıştır.

İmza

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Ayşegül YILDIZ

## ÖNSÖZ

Bu araştırmada betona yapıştırılmış Lifli Polimer levhaların uçlarında kullanılan bağlantı detayı deneysel olarak incelenmiştir. Dünyada ve ülkemizde betonarme yapıların onarım veya güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılan, betona yapıştırılmış ve iki ucundan ankrajla bağlanmış LP levhalar araştırılmıştır. Deneysel çalışmanın değişkenleri levha ucunda kullanılan ankraj türü ve ankraj adedidir. Bu ankraj türleri fan ankraj, doğrudan ankrajdır.

Deneysel çalışma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Yapı Mekaniği Laboratuvarı kurulmasıyla, bu deneysel çalışmanın yapılmasına imkan sağlayan Aksaray Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na ve İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca değerli yardım, katkı ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin KARA'ya, deneyler sırasında desteğini gördüğüm Yrd. Doç.Dr. Mustafa KAYA'ya teşekkür ederim.

Ayrıca manevi destekleri ve çalışmalarım süresince sabırlarından dolayı, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim ve kızıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                     | Sayfa |
|-----------------------------------------------------|-------|
| TEŞEKKÜR .....                                      | ii    |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....                            | iii   |
| ÖZET .....                                          | v     |
| ABSTRACT .....                                      | vi    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                               | xii   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                             | xi    |
| RESİMLERİN DİZİNİ .....                             | xii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                        | ix    |
| 1. GİRİŞ .....                                      | 1     |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ.....                             | 6     |
| 3. DENEY ELEMANLARI ve YÖNTEM .....                 | 9     |
| 3.1. Genel.....                                     | 9     |
| 3.2. Deney Elemanları ve Deneysel Değişkenler ..... | 10    |
| 3.3. Lifli Polimer Levhaların Ankraj Çeşitleri..... | 12    |
| 3.4. Malzemeler .....                               | 17    |
| 3.5. Deney Elemanlarının Üretilmesi.....            | 18    |
| 3.6. Deney ve Ölçüm Düzeni.....                     | 21    |
| 4. DENEYLER .....                                   | 24    |
| 5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....       | 36    |
| 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....                       | 42    |
| 6.1. Sonuçlar .....                                 | 42    |
| 6.2. Öneriler .....                                 | 44    |
| KAYNAKLAR .....                                     | 45    |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                       | 48    |

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

# **BETONA YAPIŞTIRILMIŞ VE ANKRAJLI LİFLİ POLİMER LEVHALARIN ARAŞTIRILMASI**

**Kıvanç BAYAT**

**T.C.**

**Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin KARA**

Son yıllarda Lifli Polimer (LP) levhalar çeşitli bilim dallarında geniş kullanım alanları bulmuştur. İnşaat mühendisliğinde ise betonarme yapıların onarım veya güçlendirilmesi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. LP levhalar ile ilgili öncü araştırmalar malzemenin temel özelliklerinin belirlenmesine yöneliktir. Beton veya tuğla üzerine LP levhaların yapıştırılması ve malzeme üzerindeki gerilme dağılımı konusunda yeterince bilgi birikimi olmasına rağmen, levha uçlarında kullanılan LP ankrajlarıyla ilgili literatürde az sayıda araştırmaya ulaşılmıştır. Bu araştırmada betona yapıştırılmış iki ucundan ankrajlı LP levhalar incelenmiştir. LP levhaların betona ankrajlanmasında literatürde de yer bulan iki yöntem kullanılmış ve birbirine göre üstünlükleri ve sakıncaları araştırılmıştır. Yöntemler LP levhanın doğrudan veya fan ankraj şeklinde bağlanmasıdır. Araştırmada incelenen diğer konu ise levha uçlarında kullanılan ankraj sayısıdır. Deneysel çalışmada sabit moment bölgesinde çentiği olan betonarme kirişler kullanılmıştır. Kirişlerin çekme bölgesine LP levhalar deney programında belirtilen şekillerde yapıştırılmıştır. Deney elemanları tekrarlı dört nokta yüklemesi altında test edilmiştir. Çalışmada incelenen değişkenler LP levhanın uçlarındaki ankraj çeşitleri ve ankraj sayısıdır. Deneysel çalışma sonucunda bir adet fan veya doğrudan ankraj kullanılmasıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ankraj sayısının artırılmasında ise doğrudan ankrajlı deney elemanlarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**2011, 49 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler : Lifli Polimer; Ankraj; Güçlendirme**

**Bilim Kodu :**

## **ABSTRACT**

**Master of Science**

### **AN INVESTIGATION OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMERS ANCHORED AND BONDED TO CONCRETE**

**Kıvanç BAYAT**

**T.R.**

**Aksaray University, Graduate of Natural and Applied Sciences**

**Department of Civil Eng.**

**Supervisor: Yrd.Doç.Dr. Mehmet Emin KARA**

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 of CFRP plates to concrete that found its place in literature are compared with their pros and cons. Load carrying capacity and behaviours of CFRP plates that are bonded and anchored from both ends are investigated fully. RC beams with a notch at the constant moment region and without any tension reinforcement at notch region are used in the study. CFRP plates are bonded to tension region of RC beam like described in the experimental programme. Specimens are tested under monotonous four points loading. Parameters that are investigated in this study are the anchorages types and the number of applied anchorages. Similar results were obtained by using a fan or direct application of anchorage in experimental study. Successful results were obtained, when the number of anchorage were increased in, the specimens with direct application of anchorage.

**2011, 49 Pages**

**Key Words** : Carbon Fibre, Anchorage, Strengthening

**Science Code** :

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| Şekil                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Şekil 1.1. Tuğla dolgulu, BA çerçevede yatay yük etkisi.....            | 3     |
| Şekil 2.1. Kiriş deney elemanının geometrisi ve donatı özellikleri. ....           | 11    |
| Şekil 2.2. LP Ankraşı ve LP Bulon.....                                             | 13    |
| Şekil 2.3. Deney Elemanları.....                                                   | 16    |
| Şekil 2.4. Deney ve ölçüm düzeni. ....                                             | 22    |
| Şekil 4.1. Yük-deplasman grafiğı (Deney Elemanı-1). ....                           | 25    |
| Şekil 4.2. Levha boyunca birim deformasyon değışimi (Deney Elemanı-1).....         | 25    |
| Şekil 4.3. Yük-deplasman grafiğı (Deney Elemanı-2). ....                           | 28    |
| Şekil 4.4. Levha boyunca birim deformasyon değışimi (Deney Elemanı-2).....         | 28    |
| Şekil 4.5. Yük-deplasman grafiğı (Deney Elemanı-3). ....                           | 31    |
| Şekil 4.6. Levha boyunca birim deformasyon değışimi (Deney Elemanı-3).....         | 31    |
| Şekil 4.7. Yük-deplasman grafiğı (Deney Elemanı-4). ....                           | 34    |
| Şekil 4.8. Levha boyunca birim deformasyon değışimi (Deney Elemanı-4).....         | 34    |
| Şekil 5.1. Deney elemanlarının gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri. .... | 37    |
| Şekil 5.2. LP levha boyunca birim uzama dağılımları.....                           | 39    |



## ÇİZELGELERİN DİZİNİ

| Çizelge                                                               | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Deney elemanları ve deneysel değişkenler.....            | 16    |
| Çizelge 2.2. Donatı çeliği mekanik özellikleri.....                   | 17    |
| Çizelge 2.3. Beton karışım oranı (1 m <sup>3</sup> beton için). ....  | 17    |
| Çizelge 2.4. Kullanılan LP levha ve yapıştırıcısının özellikleri..... | 18    |
| Çizelge 5.1. Deney sonuçları. ....                                    | 36    |
| Çizelge 2.4. Kullanılan LP levha ve yapıştırıcısının özellikleri..... | 18    |

## RESİMLERİN DİZİNİ

| Resim                                                                      | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Resim 2.1. Fan ankraj.....                                                 | 14    |
| Resim 2.2. Doğrudan ankraj. ....                                           | 14    |
| Resim 2.3. LP Bulon Uygulaması (108M397).....                              | 15    |
| Resim 2.4. Beton dökümünde kullanılan kalıp ve demir donatı.....           | 18    |
| Resim 2.5. Yüzeyi pürüzlendirilmiş ve delikleri açılmış deney elemanı..... | 19    |
| Resim 2.6. Yüzeye epoksi uygulanması.....                                  | 19    |
| Resim 2.7. LP Ankrajı (fan) ve uygulanması .....                           | 20    |
| Resim 2.8. Fan ankraj ve LP Bulonların uygulanması (Deney Elemanı-2) ..... | 20    |
| Resim 2.9. LP levha uçlarındaki fan ankraj ve LP bulon.....                | 21    |
| Resim 2.10. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü.....              | 23    |
| Resim 4.1. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-1 .....                         | 24    |
| Resim 4.2. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-1) .....            | 26    |
| Resim 4.3. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-1).....                     | 26    |
| Resim 4.4. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-2 .....                         | 27    |
| Resim 4.5. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-2) .....            | 29    |
| Resim 4.6. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-2).....                     | 29    |
| Resim 4.7. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-3 .....                         | 30    |
| Resim 4.8. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-3) .....            | 32    |
| Resim 4.9. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-3).....                     | 32    |
| Resim 4.10. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-4.....                         | 33    |
| Resim 4.11. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-4) .....           | 35    |
| Resim 4.12. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-4).....                    | 35    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Kısaltmalar | Açıklama                                                  |
|-------------|-----------------------------------------------------------|
| DBYBHY      | Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik |
| mV          | Mili Volt                                                 |

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz depremlerin yoğun olarak gerçekleştiği bir coğrafya üzerinde bulunmaktadır. Yeryüzünde 600 milyon insanın deprem açısından riskli bölgelerde yaşadığı tahmin edilirken, Türkiye nüfusunun yüzde 98'i, sanayi kuruluşlarının yüzde 98'i deprem bölgelerinde yer almaktadır. Aynı şekilde barajların yüzde 95'inde bu tehlikeli belgelerdedir. Bugün Türkiye'de bulunan toplam 1001 enerji santralinin %41 olan 419 tanesi birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır.

1900 yılından bugüne kadar yaşanan 180 büyük deprem içindeki ağır hasarlı bina ve can kaybı verileri bulunan 155 depremde 92 bin 463 kişi hayatını kaybetmiş, 554 bin 365 bina ağır hasar görmüştür. Bu depremler içinde gerek can kaybı açısından, gerekse ağır hasarlı bina açısından en büyük iki deprem 1939 Erzincan depremi ile 1999 Gölcük merkezli Marmara depremi olmuştur. Erzincan depreminde 116 bin 720 bina ağır hasar görmüş ve 32 bin 962 kişi yaşamını kaybetmiştir. 1999 Marmara depreminde ise 112 bin 724'ü yıkık ve ağır hasarlı olmak üzere toplam 376 bin 479 konut ve iş yeri hasar görmüş ve resmi rakamlara göre 17 bin 480 kişi ölmüştür.

Deprem içinde yer alan Yalova, Kocaeli, Sakarya, İstanbul, Düzce, Bolu, Bursa ve Eskişehir illeri Türkiye nüfusunun yüzde 23'ünü kapsamış ve Marmara depremi gerek nüfus yoğunluğu gerekse üretim hareketlilikleri bakımından Türkiye'nin çok önemli bir hattında etkili olmuştur. 2007 yılında yürürlüğe konulan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” çağdaş bir yönetmelik olmasına rağmen daha önce yapılmış mevcut binaların güvenliği tartışılmaktadır. Marmara Bölgesinin büyük bir depremle tekrar karşı karşıya gelmesi durumunda, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü raporlarına göre olası büyük bir depremde İstanbul'da toplam 35-40 bin binanın tamamen, 70 bin binanın ağır, 200 bin binanın da orta derecede hasar göreceği öngörülmektedir. Bu kapsamda, sadece İstanbul'da kayıpların 11 milyar dolarlık kısmının yalnızca bina hasarlarına bağlı olacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle yeni onarım ve güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi günümüzde de güncelliğini koruyan bir konudur.

Ülkemizde mevcut betonarme yapıların önemli bir bölümünü oluşturan çerçeve türü yapıların güçlendirilmesinde veya onarılmasında birçok yöntem geliştirilmiştir. Özellikler 1990 Erzincan depreminden sonra başta ODTÜ olmak üzere bir çok

üniversitede konuyla ilgili yöntemler üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmalarda betonarme yapıların depreme karşı, onarımı veya güçlendirilmesi amacıyla çerçeve gözünde bulunan tuğla dolgu duvarın yıkılıp yerine betonarme dolgu duvarı yapılması son derece etkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu nedenle betonarme dolgu duvarı kullanarak betonarme yapıların güçlendirilmesi veya onarımı yaygın olarak kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda ise çerçeve gözündeki dolguya ön üretimli bazı panellerin ilave edilmesi veya diyagonal doğrultuda çelik levhaların ilave edilmesi yöntemleri de bazı uygulama kolaylıklarından dolayı tercih edilmeye başlanmıştır.

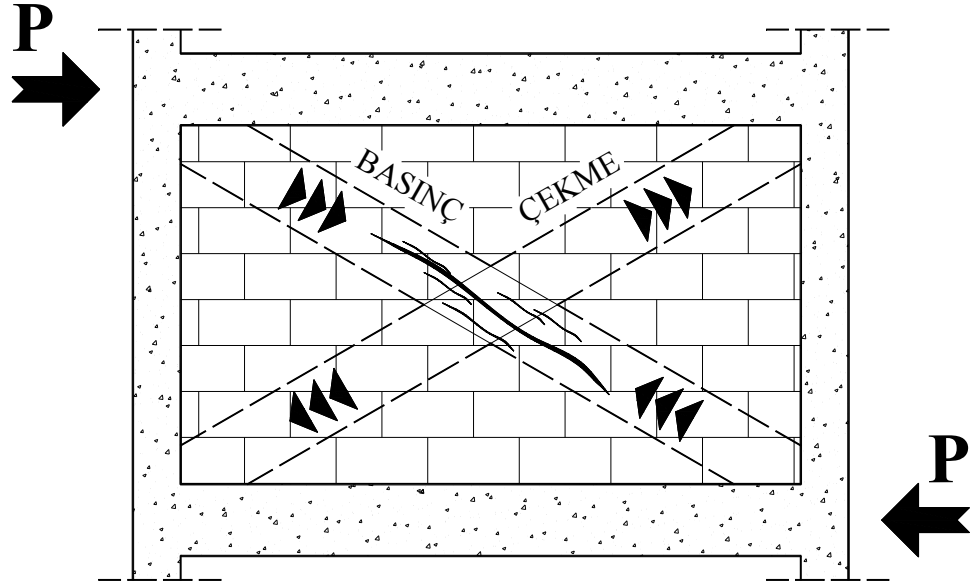
Son yıllarda, onarım veya güçlendirme uygulamaları yapı malzemesi biliminin gelişmesiyle yeni teknikler kazanmıştır. Bu tekniklerin başında lifli polimer (LP) levhalar öne çıkmıştır. Çerçeve gözündeki dolguya epoksi kullanılarak levhaların yapıştırılması, çerçeve gözüne betonarme dolgu duvarı ve ön üretimli beton blokların yapılması veya tuğla dolguya çelik levhaların yapıştırılmasına oranla basit, hızlı ve ekonomik bir yöntem olarak öne çıkmıştır.

Betonarme bir yapıya veya betonarme bir elemana güçlendirme veya onarım amacıyla sonradan yapılacak betonarme manto, betonarme dolgu duvarı, çelik levha veya LP levha ilavesi konularında yapılan bütün araştırmaların ortaya koyduğu sonuç mevcut yapı ile ilave edilen yeni uygulamanın birbirine tam olarak bağlanmasıdır. Bu bağlantı veya ankraj uygulaması, doğrudan yapılan uygulamanın başarısını belirlemektedir. Bu bağlantı detaylarında betona epoksi ile bağlanmış donatı çubukları, betona epoksi ile bağlanmış çelik cıvatalar veya LP ankraji yaygın olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla uygulamanın başarısı yapılan ankrajın başarısına bağlı olmaktadır. Bu araştırmada betona yapıştırılmış LP levhaların uçlarında kullanılan bağlantı detayı incelenmiştir.

Beton ve tuğla gibi malzemelere düzgün formda yapıştırılmış Lifli Polimer şeritlerin aksinel çekme etkisindeki davranış ve dayanımlarıyla ilgili literatürde önemli oranda bilgi birikimi bulunmaktadır. Lifli Polimer levhalarda gözlenen göçme şekilleri üç grupta toplanabilir. Bu göçme şekilleri;

- Lifli Polimer levhanın beton yüzeyinden soyulması,
- Lifli Polimer levha yapıştırıcısının beton yüzeyinden soyulması,
- Lifli Polimer levhanın kopmasıdır.

Lifli Polimer levhanın düzgün formda yapıştırıldığı bölgeden kopması şeklindeki göçme nadir olarak gerçekleşmektedir. Levhanın kopması malzemenin aksenal çekme dayanımında kullanıldığını göstermektedir. Son yıllarda tuğla dolgulu çerçeve türü yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda yapıştırılmış Lifli Polimer levhalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzeme ile dolgunun tamamının kaplanması ekonomik olmadığından, LP levha dolgu üzerinde basınç diyagonalı üzerine yapıştırılmaktadır. Böylece malzeme tekrarlanan çekme etkisi altında kalmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Tuğla dolgulu, BA çerçevede yatay yük etkisi.

Şekilden görüldüğü gibi dolgu üzerinde oluşan diyagonal doğrultuya çelik, LP levha yapıştırılmasıyla çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması sıkça kullanılan bir yöntemdir. Şekilde verilen diyagonal çubukların hesaplanması ve bu çubuklar üzerine LP levhaların yapıştırılması konusuna DBYBHY'nin ekinde yer verilmiştir. Ancak geçmişte yapılan araştırmaların ön önemli sonuçlarından birisi yapılacak uygulamanın başarısının dolgu malzemesinden daha çok uç bölgesinden BA çerçeveye yapılan bağlantının başarısına bağlı olduğudur. Bu nedenle çerçeve dolgusuna diyagonal doğrultuda yapıştırılan Lifli Polimer levhaların çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarına ve dolguya bağlanması uygulamanın başarılı olması bakımından çok büyük önem taşımaktadır. LP levhalar çerçeve gözündeki dolguya düzgün formda yapıştırılmaktadır. Bunun yanında dolgunun çerçeve ile birleştiği bölgede, çerçeve elemanlarıyla dolgu kalınlığı aynı seviyede olmadığından bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle LP levhalar çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarına keskin dönüşlerle Lifli Polimer levhadan üretilmiş ankrajlarla bağlanmaktadır. Yapılan çalışmada basınç

diyagonalı üzerinde tekrarlı eksenel çekme etkisindeki LP levhalar dört nokta yüklemesi etkisindeki çentikli kiriş deneyleriyle dolaylı olarak araştırılmıştır.

Çerçeve türü yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında Lifli Polimer levhalarda göçme, levhanın dönüşler yaptığı bölgelerde ve üretici firmanın önerdiği dayanımdan daha düşük yük düzeylerinde gerçekleşmektedir. Literatürde yer alan araştırmaların çoğunda ankrajlı Lifli Polimer levhalarının çerçeve türü yapıların yük taşıma kapasitelerine olan katkıları incelenmiştir. Ankrajlı Lifli Polimer levhalarla ilgili eleman düzeyinde bir araştırmaya literatürde rastlanmamıştır. Beton yüzeyine düzgün formda yapıştırılmış Lifli Polimer levhaların sergilediği dayanım, üretici firmaların verdiği eksenel çekme dayanımından önemli oranda düşük olduğu göz önünde bulundurulursa, dolgu duvara düzgün formda yapıştırılmış Lifli Polimer levhaların kolon ve kiriş elemanlarına keskin dönüşlerle bağlanması, uygulamanın etkinliğini çok azaltmaktadır.

Bu araştırmanın amacı Lifli Polimer levhaların uçlarında, sistem düzeyinde araştırmalardan elde edilen sonuçlara dayanarak kullanılması önerilen ankraj çeşitlerinin dayanım üzerine etkilerinin belirlenmesidir. Bu araştırmada çekme kuvveti etkisindeki Lifli Polimer levhanın uçlarında literatürde de yer bulan iki tip ankraj şekli uygulanmıştır. Bu ankraj türleri Doğrudan Ankraj ve Fan Ankraj olarak isimlendirilmiştir. LP levha boyunca birim deformasyon ölçümleri yapılarak şerit boyunca oluşan uzamalar yorumlanmıştır.

LP levhaların beton dayanımı çok düşük olan sistemlerde kullanılması yönetmelikler ve yapılmış araştırmalarda sakıncalı görülmektedir. Ülkemizde güçlendirmeye ihtiyacı olan betonarme yapıların çoğunda kullanılan betonun dayanımı 20 MPa'ın altında olduğu göz önüne alınarak, deneysel çalışmada kullanılan betonun basınç dayanımı 10 MPa olarak belirlenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Betonarme yapıların onarım ve güçlendirmesi konusunda araştırmalar ülkemizde ve dünyada güncelliğini korumaktadır. Betonarme yapılarla ilgili onarım ve güçlendirme uygulamaları eleman düzeyinde (kolon,kiriş) ve sistem düzeyinde (betonarme çerçeve) olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Sistem düzeyinde yapılan çalışmalarda zayıf veya hasar almış depreme dayanıklı olmayan çerçeve türü yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Uygulamalarda çerçeve gözüne betonarme dolgu duvarı ilave edilmesi, çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda çelik levhalar yapıştırılması sıkça kullanılmaktadır. Son yıllarda ise lifli polimerler yüksek malzeme dayanımı, uygulamasının kolay ve hızlı oluşu ve malzemenin kesit kalınlığının çok ince olması sayesinde benzer çalışmalarda tercih edilen malzemeler olmuşlardır. Lifli polimerler onarım ve güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifli polimerlerle ilgili yapılmış olan araştırmalar incelendiğinde bu araştırmaların iki grupta sınıflandırılması doğru olacaktır.

Birinci grupta incelenen çalışmalar betona yapıştırılmış veya ankrajlanmış LP levhaların özelliklerinin belirlenmesine yönelik eleman düzeyindeki araştırmalardır.

Bazı araştırmalarda, Lifli polimerlerin inşaat mühendisliği uygulamalarında temel özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Lifli polimerler beton, çelik veya tuğla yüzeylere düzgün ve eksenel doğrultuda yapıştırılmış, elemanlara eksenleri doğrultusunda çekme testi uygulanmıştır. Yüzeye yapıştırılan şerit şeklinde lifli polimer levhalarda oluşan gerilme dağılımı ve etkili olan yapıştırma boyu ve yapıştırma genişliği araştırılmıştır. (Yin vd., 2003; Gao vd., 2004; Ferracuti vd., 2007)

Kimi araştırmalarda, yapıştırılan bölümün ankrajlanması ve çeşitli açılarla dağıtılmış formda yapıştırılmasını deneysel olarak araştırılmıştır. Bu araştırmalarda şerit şeklindeki lifli polimer levhalar beton blok üzerine tek taraflı ve çift taraflı olarak yapıştırılmış ve eksenel çekme etkisinde monotonik yükleme ile test edilmiştir. Elde edilen dayanımlar lifli polimer levhanın üretici firma tarafından verilen dayanımlarıyla karşılaştırılmış ve uygulamanın etkinliği araştırılmıştır. Testler sonucunda LP levhaların elde edilen dayanımları üretici firmaların verdiği ve eksenel çekme testleri sonucunda elde edilen dayanımların altında gerçekleştiği görülmüştür. Dayanımdaki düşüş birleşim bölgesindeki gerilme yığılması, yüklemenin eksenel olamaması,



yapıştırılan yüzeyin özellikleri ve yapıştırılan beton vb. malzemenin özellikleri gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır. (Chen vd., 2001; Tan vd., 2003; Camli ve Binici, 2007; Novidis vd., 2007)

Bazı yayınlarda, şerit şeklinde yapıştırılan LP levhaların yapıştırılmasıyla ilgili deneysel sonuçlar kullanılarak analitik çalışmalar yapılmıştır. (Liu vd., 1999; Teng vd., 2002; Wu vd., 2003, Zhou vd., 2005; Yang vd., 2007 Novidis vd., 2007)

Özdemir (2005), 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 yapmıştır.

Toutanji (2006), 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 yapmıştır.

Bazı araştırmalarda, beton yüzeylere yapıştırılmış LP levhaların özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem olan çekme donatısı olmayan, çentikli kiriş deneyleri yapılmıştır. 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 deney elemanları tekrarlı yükleme etkisinde test edilmiştir. (Lenwari vd., 2006; Gheorghiu vd., 2006; Ahmad vd., 2007)

İkinci grup olarak nitelendirilen araştırmalarda ise LP levhalar betonarme yapı elemanlarında veya betonarme çerçevede onarım veya güçlendirilme amacıyla kullanılmıştır.

İkinci grup çalışmaların bazılarında, deney elemanları olarak kolon, kiriş gibi elemanları seçmelerinin yanında, sistem düzeyinde çerçeve türünde de deney elemanları seçilmiştir. (Sheikh, 2002; Pham ve Mahaidi, 2004; Arslan vd., 2006; Benjeddou vd., 2007 )

Araştırmacıların bazılarının yapmış oldukları araştırmalarda, kiriş deneyleri önemli yer tutmaktadır. En yaygın kullanım yöntemi ise köprü kirişlerinin artan trafik yükleri

nedeniyle eğilme etkisine karşı çekme bölgesine yapıştırılan LP levhalarla güçlendirilmesidir. Araştırmalarda kullanılan değişkenler LP levhanın genişliği, boyu ve kullanılan yapıştırıcının özellikleridir. Kirişler monotonik veya tekrarlanan yükleme etkisinde test edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar davranış, dayanım ve göçme modu göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. (Kachlakev ve McCurry (2000); Ahmed vd.,2001; Pesic vd. 2003; Schnersch vd. 2007, Teng vd., 2006)

Bazı araştırmalarda ise, yeterli etriye donatısı olmayan kirişlerin kesme kuvveti etkisine karşı güçlendirilmesi üzerine çalışılmıştır. LP levhalar kesme açıklığı boyunca kirişin yan yüzlerine yapıştırılmıştır Araştırmalarda LP levhalar kesme açıklığı boyunca çeşitli kalınlık ve açıda şeritler şeklinde yapıştırılmıştır. Diğer bir uygulama yönteminde ise LP levhalar kesme açıklığı boyunca kiriş yan yüzlerine boşluksuz olarak yapıştırılmıştır. (Ali vd., 2001; Ahmet vd., 2001; Anıl, 2006, Mosallam ve Banerjee,2007; Bercardino vd., 2006)

Kimi araştırmalarda ise, LP levhalar betonarme yapıların onarım veya güçlendirilmesinde dolgu duvarı ve çelik yerine tercih edilmesi durumunu araştırılmış ve LP levhaların tuğla dolgulu çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda yapıştırılarak sistemin yatay yük taşıma kapasitesini incelenmiştir. Bu araştırmalarda diyagonal doğrultuda kullanılan LP levhaların bağlanış şekilleri, genişlikleri ve dolgunun tek tarafında kullanılması gibi durumlar incelenmiştir. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.”te de bu yöneme yer verilmiştir. (Özcebe vd., 2003; Altın vd., 2008)

LP levhaların tuğla dolgulu çerçeve türü yapıların güçlendirilmesinde çerçeve elemanlarına bağlanması uygulamanın başarılı olması bakımından çok büyük önem taşımaktadır. Çerçeve gözündeki dolguya düzgün formda yapıştırılan LP levha çerçeve elemanlarına ankrajlanarak bağlanmaktadır. Beton gibi malzemelere düzgün formda yapıştırılmış LP şeritlerin aksel çekme etkisinde elde edilen dayanımlarının, malzemenin aksel çekme dayanımının altında gerçekleştiği göz önünde bulundurulursa, dolgu duvara yapıştırılan levhanın kolon ve kiriş elemanlarına keskin dönüşlerle bağlanması, uygulamanın etkinliğini azaltmaktadır. LP levhaların tuğla dolgulu çerçevelerde sistem düzeyinde güçlendirilmesi konusunda yapılmış çalışmalar incelendiğinde iki önemli sonuç göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar;

1. Levha genişliğinin dayanımı etkilemesine rağmen levha uçlarındaki bağlantı detayının daha etkili olduğu,
2. Basınç etkisinde yük taşınması teorik olarak mümkün olmayan levha boyunca kullanılması önerilen LP bulonların gerek çatlak oluşumunu, gerekse levhanın yüzeyden ayrılması konularında etkili olduğudur.

LP levhaların güçlendirme uygulamalarında özellikle çerçeve türü yapıların iç mekânlarında hızla uygulanması mümkün olmaktadır. Ancak duvarın iç kısmında duvarla kolon giriş elemanları arasında bir seviye farkı oluşmaktadır. Bu seviye farkı LP levhanın “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te belirtildiği gibi keskin dönüş yapmasına neden olmaktadır. Bu durum uygulamanın etkinliğini azaltmaktadır. Bu araştırmada dolgulu çerçevelerde diyagonal doğrultuda ve sadece çekme etkisinde kullanılabilen LP levhaların eleman düzeyinde özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çentikli giriş deneyleri kullanılmıştır.

Bu araştırmada dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan, betona yapıştırılmış ve iki ucundan ankrajla bağlanmış LP levhalar araştırılmıştır. Levha ucunda fan ankraj ve doğrudan ankraj olmak üzere iki farklı bağlantı incelenmiştir. Levha ucunda kullanılan ankrajın adedi de çalışmanın diğer inceleme konusudur.

### 3. DENEY ELEMANLARI ve YÖNTEM

#### 3.1. Genel

Ülkemizde bulunan ve depreme dayanıklı olmayan betonarme yapıların depreme karşı etkin kolay ve ekonomik çözümlerle güçlendirilmesi son derece önemlidir. Çerçeve türü yapıların güçlendirilmesinde çerçeve gözüne dolgu duvarı ilave edilmesi başarılı ancak uygulanması son derece zahmetli olan bir yöntemdir. Dolgu duvarı yerine, tuğla dolgu üzerine çelik diyagonallerin kullanılması diğer bir güçlendirme yöntemidir. Son yıllarda ise çerçeve gözünde bulunan tuğla dolgu üzerine diyagonal doğrultuda LP levhaların epoksi kullanılarak yapıştırılması son derece etkili basit bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçmişte yapılan az sayıda araştırmalarda diyagonal doğrultuda kullanılan malzemenin dayanıma ne kadar katkısı olduğu araştırılmıştır. Bu araştırmalarda LP levhanın üretici firmanın öngördüğü dayanımdan daha düşük yük düzeylerinde göçtüğü, göçmenin çerçeve elemanları civarında ve malzemenin kiriş ve kolonlara ankrajla bağlandığı bölgelerde gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada levha ucunda kullanılan fan ankraj ve doğrudan ankraj olmak üzere, iki farklı ankraj türü araştırılmıştır. Çentikli kirişlerin çentik bölgesine yapıştırılan LP levhada kullanılan bu ankraj türlerinin birbirine göre üstünlükleri ve sakıncaları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ankraj sayısının davranış ve dayanım üzerinde ne kadar etkili olduğu da belirlenmeye çalışılmıştır. Deney elemanları her yüklemede artırılan tekrarlı yükleme etkisinde test edilmiştir. Tekrarlı yükleme yapılarak, çerçeve dolgusunda diyagonal doğrultuda kullanılan LP levhaların temsil edilmesi amaçlanmıştır.

Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan dolgunun iki tarafındaki levhaların LP bulonlarıyla birbirine bağlanması gerektiği yönetmeliklerde de belirtilmiştir. LP bulonların kullanılmasının levhanın beton yüzeyinden ayrılmasının geciktireceği, oluşacak çatlakların lokalize olmasına engel olacağı ve böylece levhanın daha uzun süre yük taşımasına katkısının olacağı belirtilmektedir.

### 3.2. Deney Elemanları ve Deneysel Değişkenler

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan LP levhalar teorik olarak basınç kuvveti etkisinde yük taşımamaktadırlar. Üretici firmaların katalog bilgilerinde de uzama şekil değiştirmesi ve çekme dayanımı gibi özellikler verilmektedir. Kalınlığı diğer boyutuna göre çok az alan malzemenin basınç kuvveti taşıması da teorik olarak mümkün değildir. Uygulamada ise çerçeve türü yapıların dolgusunda diyagonal doğrultuda kullanılan LP levhalar deprem kuvvetleri karşısında tekrarlanan yükleme etkisinde kalmaktadırlar. Bu nedenle deney elemanları tekrarlanan yükleme etkisinde test edileceklerdir. Tersinen tekrarlanan yükleme LP levhaların basınç etkisi altında etkin olmadıkları için deney programına alınmamıştır. Çalışmada momentin sabit olduğu bölgede çekme donatısı olmayan dikdörtgen kesitli betonarme kirişler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak kiriş deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 2.1’de verilmiştir.

Kiriş deney elemanının ortasında simetrik olan 100 mm derinliğinde ve 1000 mm uzunluğunda çentik bulunmaktadır. Çentik bölgesinde kesit 200 x 200 mm boyutlarındadır. Çentiğin dışındaki bölüm ise 900 mm boyundadır. Kırılmanın çentik bölgesinde gerçekleşmesi amacıyla bu bölgede kesit büyütülmüştür. Kesiti 200 x 300 mm olan bu bölüm 100 mm aralıklı  $\phi 8$  mm çapında nervürlü donatıdan üretilmiş etriyelerle sargılanmıştır. Kiriş deney elemanında basınç donatısı olarak iki adet  $\phi 10$  mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Çentik dışında kalan kısımda ise 2 adet  $\phi 10$  mm çapında nervürlü donatı çekme donatısı olarak kullanılmıştır.



büyük basınç dayanımı olan yüzeylerde kullanılması önerilmektedir. Ancak ülkemizde bulunan mevcut yapı stoku ile ilgili raporlar incelendiğinde kullanılan betonun basınç dayanımının 20 MPa değerinin çok altında olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle araştırma projesinde kullanılan betonun basınç dayanımı ülkemizde sıkça karşılaşılan düşük dayanımlı betonu temsil etmesi amacıyla 10 MPa olarak belirlenmiştir.

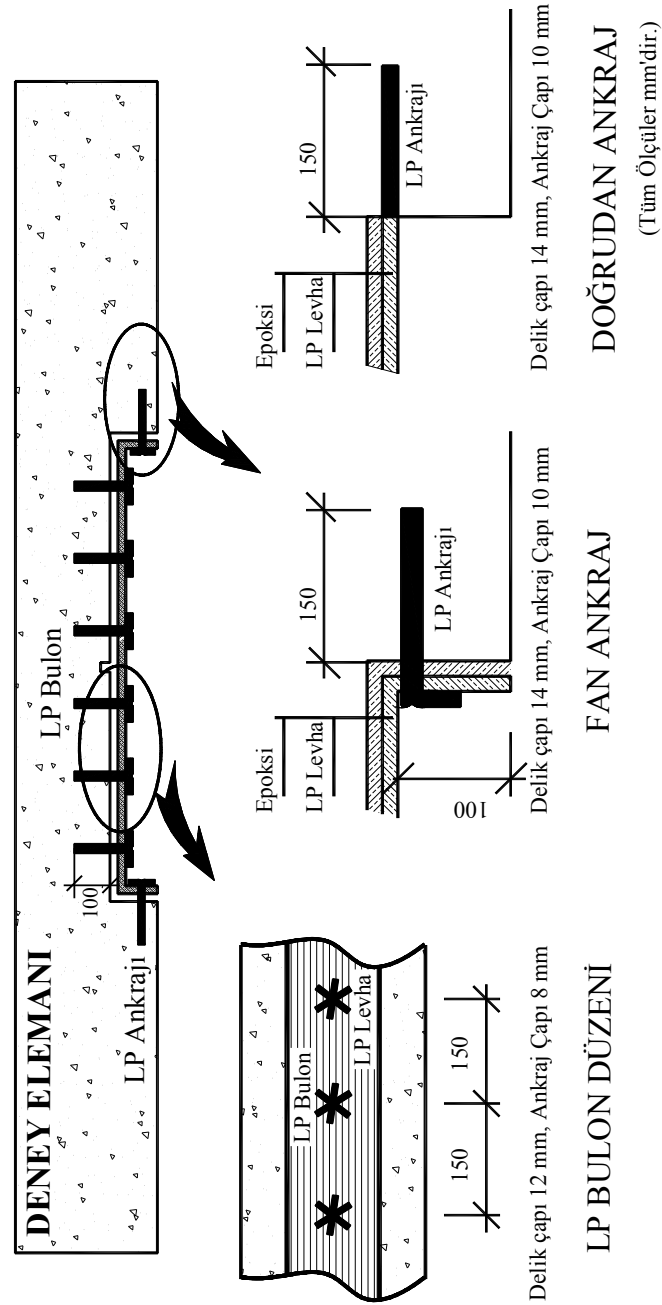
Kiriş deney elemanının ortasında simetrik olan 100 mm derinliğinde ve 1000 mm uzunluğunda çentik bulunmaktadır. Çentik bölgesine çentiğin içine 100mm genişliğinde olan LP levha yapıştırılacak ve iki ucundan çentiğin kenarlarına bırakılan 100 mm yüksekliğinde bölgeye ankrajlanmıştır. Çentik bölgesinde çekme donatısı bulunmamaktadır. Çentiğin ortasında kiriş kesiti boyunca devam eden 20x20 mm boyutlarında boşluk bulunmaktadır. Böylece betonun çekme dayanımının ihmal edilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmada kullanılan değişkenler:

- LP levhanın uçlarında kullanılan ankraj çeşitleri,
- LP levha uçlarındaki ankraj sayısıdır.

### **3.3. Lifli Polimer Levhaların Ankraj Çeşitleri**

Düzgün formda betona gömülmüş ve epoksi ile yapıştırılmış LP ankrajının delik çapı ve gömülme boyu konularında çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu nedenle yapılacak araştırma projesinde gerek levha uçlarında, gerekse levha boyunca kullanılan ankrajların, çapları ve derinlikleri değişken olarak değerlendirilmemiştir. Levha ucunda ve levha boyunca kullanılan ankrajların gömülme boyları ve delik çapları, ankrajın betondan ayrılamayacağı şekilde boyutlandırılmıştır. Literatürde bulunan araştırmalarda da göçme ankrajın betonun içinde kalan kısmında gerçekleşmemektedir. Bu gerekçelerle levha uçlarında ankrajın gömülme boyu 150 mm olarak belirlenmiştir. Ayrıca delik çapı 14 mm olarak belirlenmiştir. Deliğin içine yapıştırılacak LP levha, düzgün formda olması için, 10 mm çapında çelik çubuğa sarılmıştır. LP levha uçlarından 100 mm derinliğindeki çentiğe iki farklı şekilde bağlanmıştır. Bu bağlantı şekilleri geçmişte yapılmış çalışmalarda da yer bulan fan ankraj ve doğrudan ankrajdır. LP levha uçlarında kullanılan bağlantı detayı Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. LP Ankraji ve LP Bulon

- **Fan Ankraj:** LP levha yönetmeliğimizde belirtildiği gibi çentiğin yan yüzlerine (Özcebe vd., 2003; Altın vd., 2007) çalışmasında olduğu gibi fan ankrajla bağlanmıştır. (Resim 2.1). LP levha yan yüzlerine yapıştırılmış levhanın üzerine, genişliği 100 mm, boyu 200mm olan LP levhadan ankraj yapılmıştır. LP levhanın 150 mm boyundaki bölümü 10 mm çapında çeliğe sarılmıştır. Böylece levhanın delik içinde düzgün bir formda olması sağlanmıştır. Daha sonra levha betona açılmış 14 mm çapındaki deliğe epoksi kullanılarak gömülmüş ve dışarıda kalan kısmı ise yönetmelikte belirtildiği gibi LP levha üzerine dağıtılarak yapıştırılmıştır.



- **Doğrudan Ankraj:** LP levhanın ucu Altın ve diğerlerinin çalışmasında olduğu gibi ankraj şeklinde bükülerek doğrudan çentiğin yan yüzüne açılan 14 mm çapında, 150 mm derinliğinde deliğe epoksi ile yapıştırılmıştır. (Resim 2.2). Ankraj derinliği ve delik çapı fan ankrajla aynıdır.



Resim 2.1. Fan ankraj.



Resim 2.2. Doğrudan ankraj

### **Lifli Polimer Bulonlar**

Bu araştırmada çekme kuvveti etkisindeki LP levhaların iki ucundan çeşitli şekillerde ankrajlanması araştırılmıştır. DBYBHY'nin 2007 yılında yapılan ekine göre, iki ucundan ankrajlı LP levha boyunca LP bulonların kullanılması zorunludur. LP

bulonların gerek çatlak oluşumunu, gerekse levhanın yüzeyden ayrılması konularında etkili olduğu yapılmış çalışmalarda belirtilmektedir. LP Bulonların levha boyunca bir eksen üzerinde veya şaşırma olarak uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu araştırmalarda LP levha üzerine bulonlar uygulanmıştır. Bu araştırmada 1000 mm boyundaki levhada 150 mm aralıkla LP bulonlar kullanılmıştır (Şekil 2.2).

Bulonlar 100x150 mm boyutlarındaki LP levhalardan fan ankraj şeklinde üretilmiştir. Levha 8 mm çapında donatıya sarılmış ve betona açılmış olan 12 mm çapında, 100 mm derinliğinde deliğin içine epoksi ile sabitlenmiştir. Bulonun LP levha üzerine taşan kısmı ise fan şeklinde açılarak LP levhaya yapıştırılmıştır. Beton dışında 50 mm boyundaki kısım fan şeklinde çapı 100mm çapında olacak şekilde açılmıştır. Altın ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen “Kesmeye karşı betonarme perdelerin LP levhalarla güçlendirilmesi” isimli 108M397 numaralı Tübitak projesinde kullanılan LP bulon uygulaması Resim 2.3.’de verilmiştir.



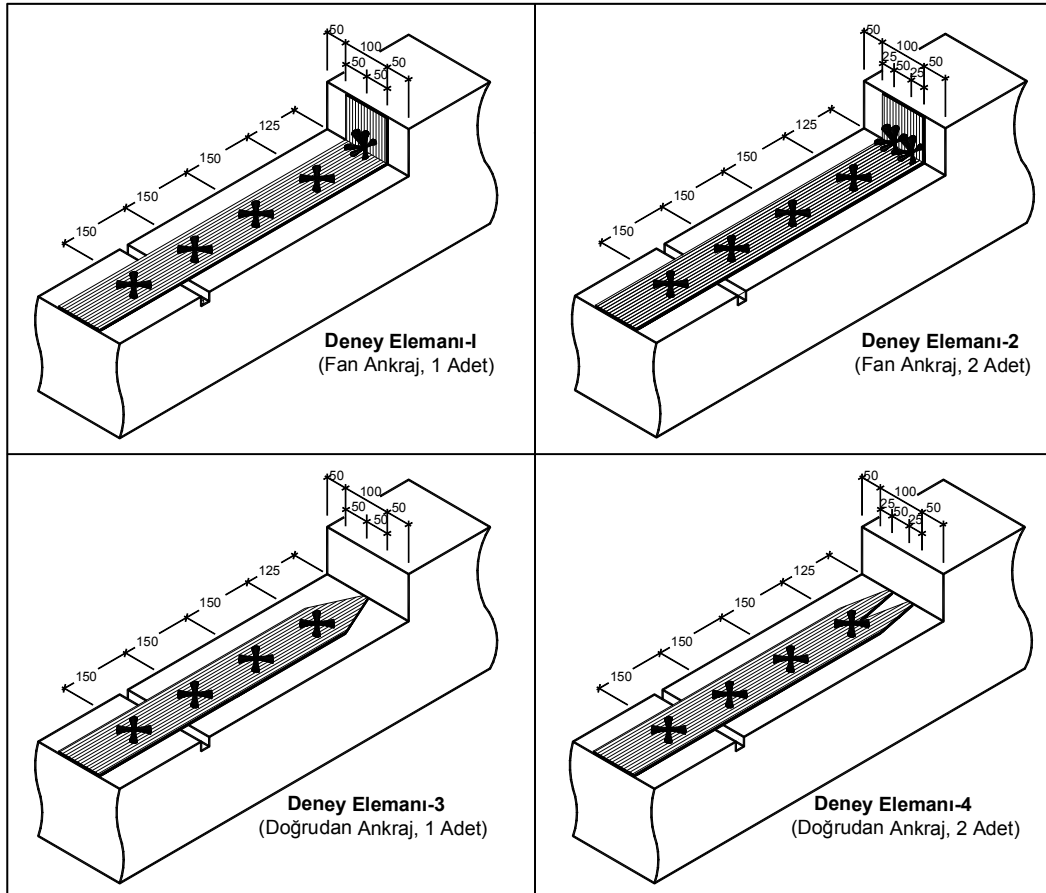
Resim 2.3. LP Bulon Uygulaması (108M397).

## Deney Elemanları

Deney değişkenler göz önüne alındığında deney programı Çizelge 2.1’de özetlendiği gibi şekillenmektedir. Çizelgeden anlaşılabacağı gibi araştırmanın birinci değişkeni, levha ucundaki ankraj türü, ikinci değişkeni ise levha ucunda kullanılan ankraj adedidir. Deney Elemanı-1, levha uçlarında bir adet fan ankrajın olduğu deney elemanıdır. Deney Elemanı-2 ise levha uçlarında iki adet fan ankrajın olduğu deney elemanıdır. Deney Elemanı-3’ise levha uçlarında bir adet doğrudan ankraj, Deney Elemanı-4 ise iki adet doğrudan ankraj bulunan deney elemanıdır. Deney elemanlarının özellikleri çentik bölgesi belirtilerek Şekil 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanları ve deneysel değişkenler

| Deney Elemanı No: | Ankraj Türü | Ankraj Adedi | LP Levha Genişliği | LP Bulonu (Adet/Aralık) |
|-------------------|-------------|--------------|--------------------|-------------------------|
| 1                 | Fan         | 1            | 100 mm             | 6/150mm                 |
| 2                 | Fan         | 2            | 100 mm             | 6/150mm                 |
| 3                 | Doğrudan    | 1            | 100 mm             | 6/150mm                 |
| 4                 | Doğrudan    | 2            | 100 mm             | 6/150mm                 |



Şekil 2.3. Deney elemanları

### 3.4. Malzemeler

Deneyisel çalışmada, elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin özdeş olması veya bir birine çok yakın olması önemlidir. Bu nedenle kullanılan donatı çeliği, LP levha, LP levha yapıştırıcısı ve çimento bütün deney elemanlarında aynıdır. Bunun yanı sıra kullanılan beton ise aynı karışım oranlarıyla aynı kür şartlarında üretilmiştir.

**Donatı:** Deneylerde kullanılan kiriş deney elemanında kullanılan donatılar özdeşdir. Kullanılan  $\phi 8$  mm çapında ve  $\phi 10$  mm çapında nervürlü donatıların mekanik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Donatı çeliği mekanik özellikleri

| Donatı Çapı<br>$\phi$ (mm) | Donatı Sınıfı   | Akma Dayanımı<br>$f_{sy}$ (MPa) | Maksimum Dayanım<br>$f_{su}$ (MPa) |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 8                          | S420 (Nervürlü) | 440                             | 660                                |
| 10                         | S420 (Nervürlü) | 480                             | 650                                |

**Beton:** Ülkemizde güçlendirme uygulamalarında giderek yaygınlaşan LP levhaların 20 MPa’dan daha büyük basınç dayanımı olan yüzeylerde kullanılması önerilmektedir. Ancak ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğu ile ilgili raporlar incelendiğinde, onarım veya güçlendirilmeye ihtiyacı olan yapılarda kullanılan betonun basınç dayanımının 20 MPa değerinin çok altında olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle araştırmada kullanılan betonun basınç dayanımı oldukça olumsuz bir durum olacak şekilde 10 MPa olarak belirlenmiştir. Kullanılan betonun karışım oranları Çizelge 2.3’de verilmiştir. Bu amaçla karışımında kullanılan 0-7 mm çapında kum ve 7-15 mm çapında çakıl %50 oranında kullanılmıştır. Karışımında kullanılan agrega kırma taştır. 1 m<sup>3</sup> karışımında 200 kg çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı ise 0,60 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2.3. Beton karışım oranı (1 m<sup>3</sup> beton için)

| Malzeme            | Ağırlık(kg) |
|--------------------|-------------|
| Çimento (KPÇ-32.5) | 200         |
| Çakıl (7-15 mm)    | 900         |
| Kum (0-7 mm)       | 900         |
| Su                 | 120         |
| Toplam             | 2120        |

**LP levha ve Epoksi:** Kiriş elemanının üzerinde SikaWrap 230-C tek doğrultulu karbon lifli levha kullanılmıştır. Kullanılan LP levhanın yapıştırılmasında ve beton üzerine açılan deliklere ankrajlanmasında iki bileşenli Sikadur 330 epoksi reçinesi kullanılmıştır. LP levha ve epoksi reçinesinin mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kullanılan LP levha ve yapıştırıcısının özellikleri

| LP Levhanın Mekanik Özellikleri |                         | Epoksinin Mekanik Özellikleri |      |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|------|
| Ağırlığı (g/m <sup>2</sup> )    | 220 ± 10                | Çekme Dayanımı (MPa)          | 30   |
| Yoğunluğu (g/m <sup>3</sup> )   | 1.78 x 10 <sup>-6</sup> | Elastisite Modülü (MPa)       | 3800 |
| Kalınlığı (mm)                  | 0.12                    |                               |      |
| Çekme Dayanımı (MPa)            | 4100                    |                               |      |
| Elastisite Modülü (MPa)         | 231000                  |                               |      |
| Maksimum Uzama (%)              | 1.7                     |                               |      |

### 3.5. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deney elemanlarının betonları Aksaray Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında üretilmiştir. Beton dökümünde ahşap kalıp kullanılmıştır. Deney elemanlarının demirleri laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Hazırlanan donatı demiri kalıp içine yerleştirilmiştir. Kalıp ve donatı demiri hazırlanan deney elemanının beton dökümü de laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü yapılan her deney elemanından 4 adet beton numunesi alınmıştır. Beton dökümü tamamlanan deney elemanlarına ve alınan numune betonlara kür uygulanmıştır.. Deney elemanlarının üretiminde kullanılan kalıp ve donatının görüntüsü Resim 2.4’de verilmiştir.

Deney elemanının betonunun, dökümünden 28 gün sonra elemanlara LP levha uygulaması yapılmıştır. Uygulamaya beton yüzeyine levhanın geldiği yerlerin taşlanarak bölgedeki çimento şerbetinin alınmasıyla başlanmıştır. Daha sonra levha uçlarındaki ankrajlar ve levha boyunca uygulanacak LP bulonlar için delikler açılmıştır. Deney elemanının LP levha yapıştırılmasına hazırlanmış yüzeyi Resim 2.5’de verilmiştir. Yüzeyi hazırlanan deney elemanına önceden gerekli boyutlarda kesilmiş ve hazırlanmış LP levha yapıştırılmıştır. Yapıştırma işleminden önce yüzeye üretici firmanın önerdiği oranlarda karıştırılmış olan epoksi yaklaşık 1mm kalınlığında sürülmüştür (Resim 2.6).





Resim 2.4. Beton dökümünde kullanılan kalıp ve demir donatı



Resim 2.5. Yüzeyi pürüzlendirilmiş ve delikleri açılmış deney elemanı



Resim 2.6. Yüzeye epoksi uygulanması

Epoksi sürülmüş yüzeye levha bastırarak yapıştırılmıştır. Levha yapıştırıldıktan sonra levha uçlarındaki ankraj deliklerine epoksi doldurulmuştur. LP ankrajları ise epoksiye bulanmış ve daha sonra deliğe yerleştirilmiştir (Resim 2.7). LP bulonlarda fan ankrajla aynı şekilde üretilmiştir. Önceden hazırlanmış ve içine epoksi doldurulmuş deliğe, epoksiye bulanmış ankraj itilerek yerleştirilmiştir. Ankrajların dışarıda kalan kısımları fan şeklinde açılmıştır. Resim 2.8’de Deney Elemanı-2’nin fan ankrajlarının ve LP bulonlarının üretimi görülmektedir.



Resim 2.7. LP Ankraji (fan) ve uygulanması



Resim 2.8. Fan ankraj ve LP Bulonların uygulanması (Deney Elemanı-2)



Doğrudan ankrajlı deney elemanlarında levhanın kendisi ankraj yapıldığından ankraj uygulaması ile levhanın yapıştırılması aynı anda gerçekleşmiştir. Resim 2.9'da deney Elemanı-2'nin uç bölgesindeki fan ankrajların açılmış şekli ve doğrudan tek ankrajlı Deney Elemanı-3'ün uç ankraji ve LP bulon uygulaması görülmektedir. LP levha uygulaması tamamlanan deney elemanları epoksinin sertleşmesi amacıyla ortam sıcaklığına bağlı olarak en az 7 gün laboratuarda beklemeye bırakılmıştır. Epoksinin dayanımını kazandığı deney elemanları teste hazırlanmıştır.



Resim 2.9. LP levha uçlarındaki fan ankraj ve LP bulon.

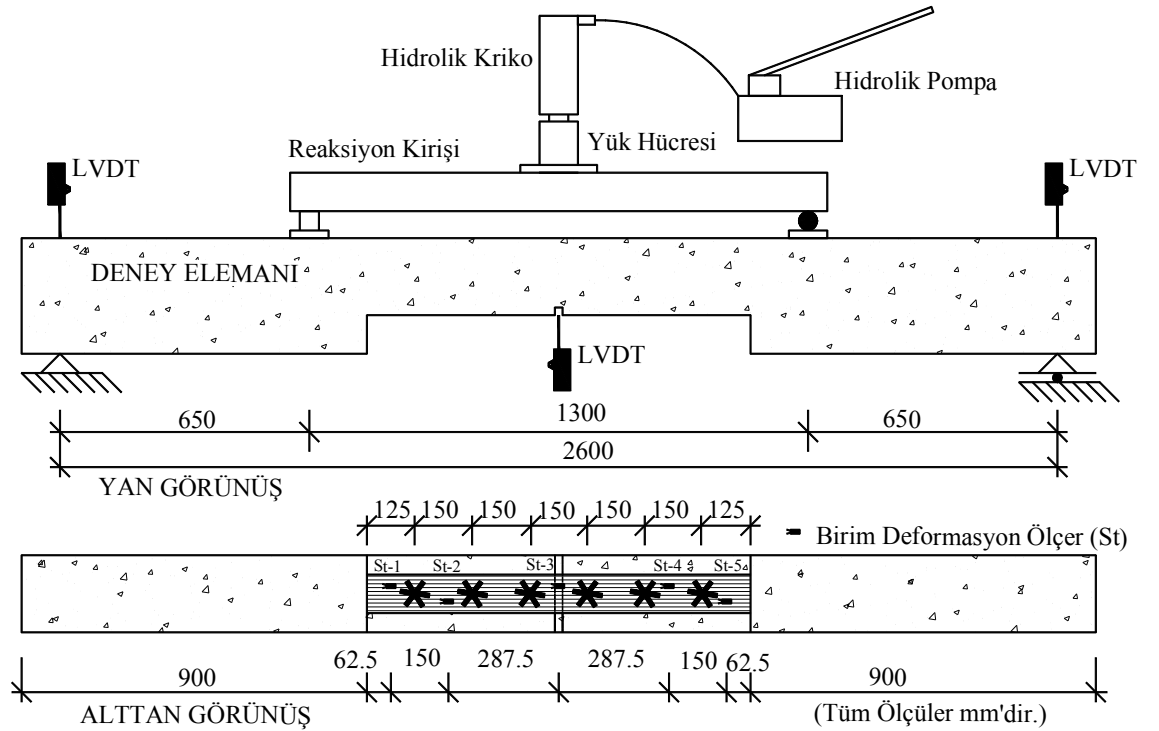
### 3.6. Deney ve Ölçüm Düzeni

Deneyisel araştırma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Deneyler rijit bir platform şeklinde kullanılan, 6 m. boyunda HEB240 geniş başlıklı profile bir yükleme kolonu eklenmesiyle oluşturulmuştur. Deney elemanına mesnetleri arasında 1300 mm olan bir reaksiyon kirişi kullanılarak iki noktadan yükleme yapılmıştır. Yükleme 500 kN kapasiteli bir hidrolik kriko aracılığıyla uygulanmıştır. Yükleme el kumandalı hidrolik pompa aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük 100 kN kapasiteli bir yük hücresiyle ölçülmüştür. Deney elemanlarına her seferde 0.25 kN artırılan yükleme ve boşaltma şeklinde yük uygulanmıştır. Böylece güçlendirme uygulamalarında kullanılan LP levhaların diyagonal doğrultuda karşılaştıkları yükleme benzeştirilmiştir. Testlere göçme gerçekleşene kadar devam edilmiştir.

Deney elemanlarında deplasman ölçümlerinde potansiyometrik cetveller kullanılmıştır. Deplasman ölçümler orta nokta deplasmanı, sol ve sağ mesnet çökmeleridir. Ayrıca



deney elemanlarında, LP levha üzerine yapıştırılan 5 adet birim deformasyon ölçer kullanarak, birim deformasyon ölçülmüştür. Birim deformasyon ölçerlerin yerleştirilmesinde levhanın beklenen göçme şekline dikkat edilmiştir. Bu nedenle iki birim deformasyon ölçer levha uçlarına daha yakın bölgelere yapıştırılmıştır. Ayrıca levhanın orta ekseninde LP bulonlar olduğundan birim deformasyon ölçerler levha ekseninden 25 mm şaşırtmalı olarak kullanılmıştır. Böylece levha kesitinin LP bulonlarla zayıfladığı bölümlerin ölçümlere olan etkisi azaltılmıştır. Deneylere kullanılan yükleme ve ölçüm düzeninin detayları Şekil 2.4’de verilmiştir. Teste hazırlanmış deney elemanının laboratuvar ortamındaki görüntüsü Resim 2.10’da verilmiştir. LP levhada kopmanın uç bölgelerde olması beklenmektedir. Ancak istenen durum ise levhanın geometrisinin düzgün olduğu dönüş yapmadığı, özellikle de kiriş ortasına bırakılan 20 x 20 mm boyutlarındaki çentik bölgesinde olması istenmektedir. Deneylerde datalar 16 kanallı bir veri toplama ünitesi aracılığıyla kaydedilmiştir. Kayıtlar 1 saniyede 4 data alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.4. Deney ve ölçüm düzeni



Resim 2.10. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü

#### 4. DENEYLER

Bu bölümde deney elemanlarının testleri anlatılmıştır. Çalışmanın kurgusu gereği testler benzer şekillerde gerçekleştirilmiştir. 2,5 kN artırılarak uygulanan yük çevrimleri deney elemanın göçmesine kadar devam ettirilmiştir. Test sırasında deney elemanlarının davranışları ve göçmeleri benzer şekilde gerçekleşmiştir. Ancak kırılma yükleri farklılık göstermiştir.

##### ***Deney Elemanı-1:***

Deney Elemanı tanımı: Bir Adet Fan Ankrajlı Kiriş ( $f_c=10.2$  MPa)

Deney tarihi: 04.08.2010

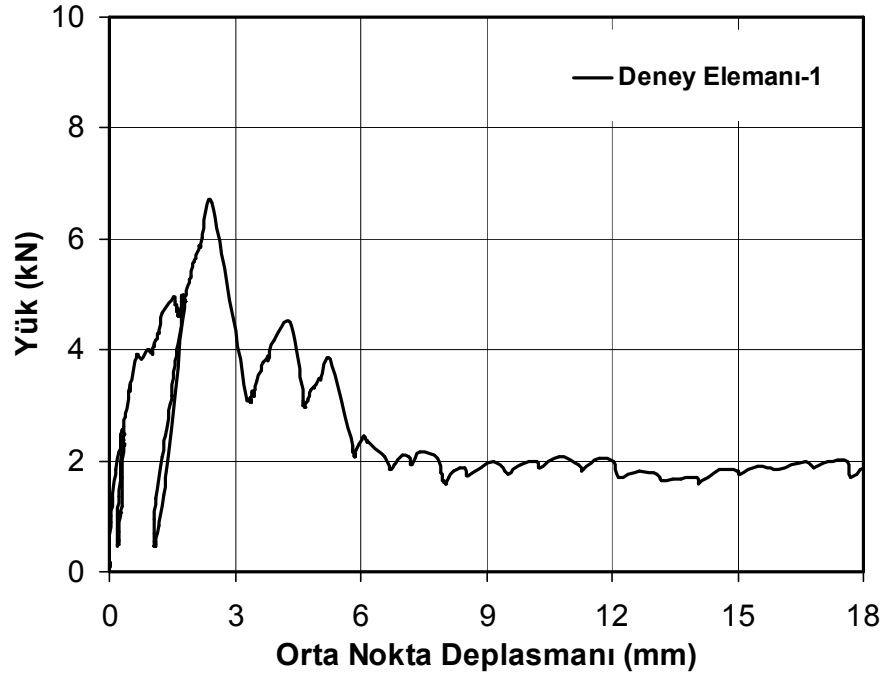
Deney elemanına üç yük çevrimi uygulanmıştır. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü Resim 4.1’de verilmiştir. İkinci çevrimde 5 kN yük düzeyinde, çentiğin sol ucunda çatlak oluşmuştur. Üçüncü çevrimde dağıtılmış tek ankrajın sol ucunda kopmasıyla deney elemanı göçmüştür. Maksimum taşınan yük 6.67 kN olarak ölçülmüştür. Maksimum yük düzeyinin ardından deney elemanı hızla yük kaybederek göçmüştür. Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Deney elemanından test sırasında alınmış olan göçme fotoğrafları ise Resim 4.2 ve Resim 4.3’de verilmiştir.



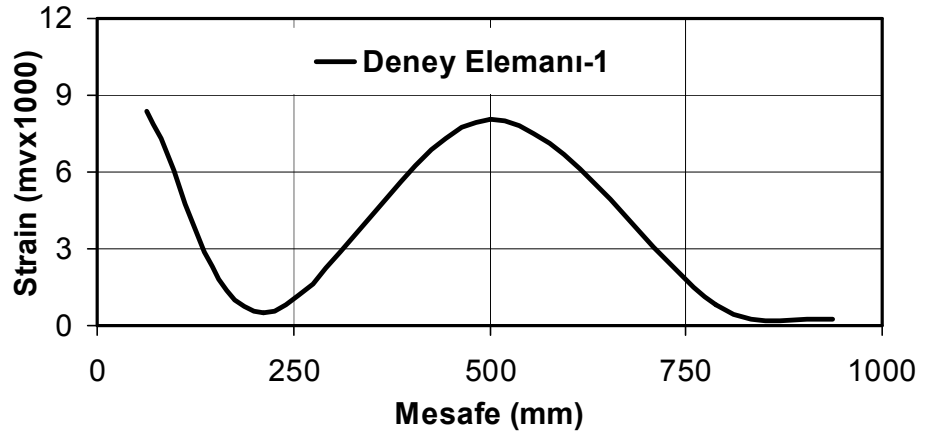
Resim 4.1. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-1.

LP Levha üzerinden 5 adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Ölçülen maksimum birim şekil değiştirmelerin mili volt türünde levha boyunca gösterdiği değişim Şekil 4.2.’de verilmiştir. Levhanın sol ucuna 62,5mm uzaklıktaki uzama ölçümü 8351 mv

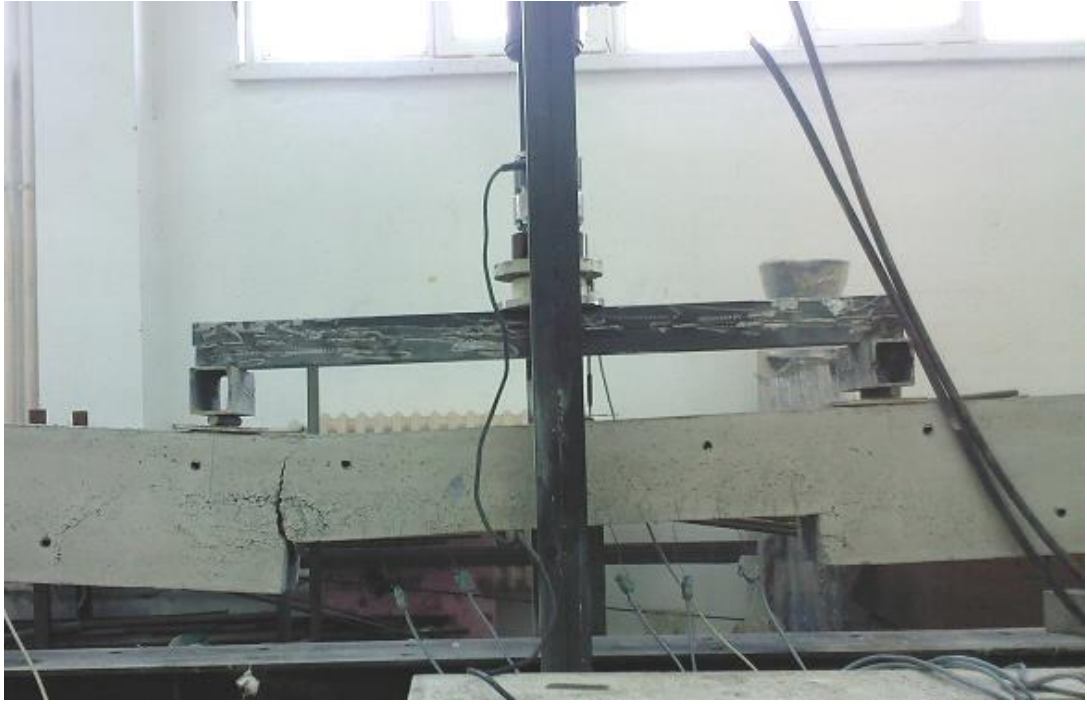
ölçülmüştür. Göçmenin gerçekleşmesi istenen orta çentik bölgesinde ise 8060 mv birim uzama ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-1)



Şekil 4.2. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-1)



Resim 4.2. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-1)



Resim 4.3. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-1)

### ***Deney Elemanı-2:***

Deney elemanı tanımı: İki Adet Fan Ankrajlı Kiriş ( $f_c=11$  MPa)

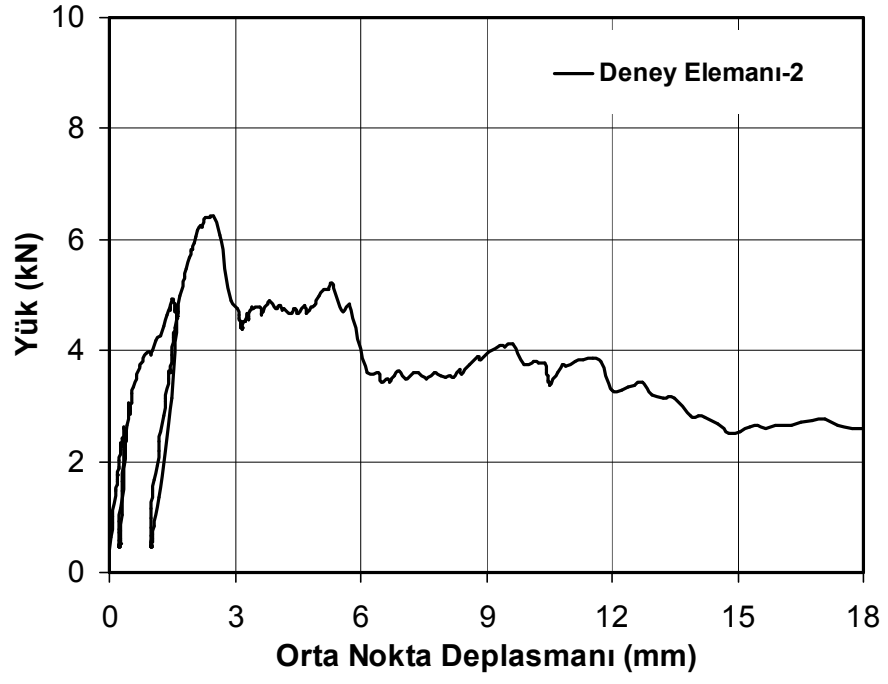
Deney tarihi: 30/09/2010

Deney elemanına üç yük çevrimi uygulanmıştır. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü Resim 4.4’de verilmiştir.

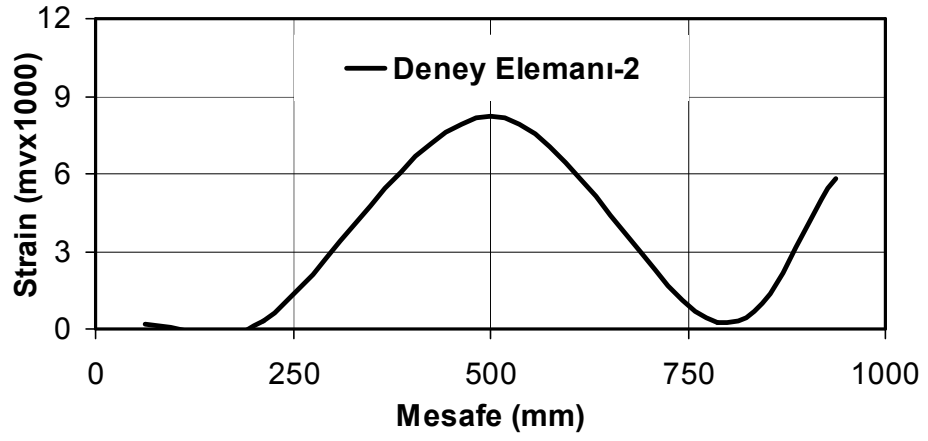


Resim 4.4. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-2

2,5 kN ve 5 kN yük uygulanan çevrimlerde Deney Elemanı-1 ile benzer davranış sergilemiştir. Üçüncü çevrimde ise 6,41 kN yük düzeyinde deney elemanı çentiğin sağ ucunda LP levhayı ve ankrajları yırtarak göçmüştür. Maksimum yük düzeyinin ardından deney elemanı hızla yük kaybederek göçmüştür. Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. Deney elemanından test sırasında alınmış olan göçme fotoğrafları ise Resim 4.5 ve Resim 4.6’da verilmiştir. Birim uzama ölçümleri ise Şekil 4.4’de verilmiştir. Şekilden anlaşılabacağı gibi LP levhada maksimum gerilme orta noktada ve 8232 mv olarak ölçülmüştür. Ancak çentiğin sağ uç bölgesinde 62,5 mm uzaklıktaki ölçüm 5813 mv düzeyinde kalmıştır. Buna rağmen göçme ankrajla levhanın birleştiği bölgede ankrajla birlikte, levhayı da yırtarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3.2. Yük-deplasman grafiği Deney Elemanı-2



Şekil 4.4. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-2)





Resim 4.5. Deney Elemanının göçme şekli (Deney Elemanı-2)



Resim 4.6. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-2)

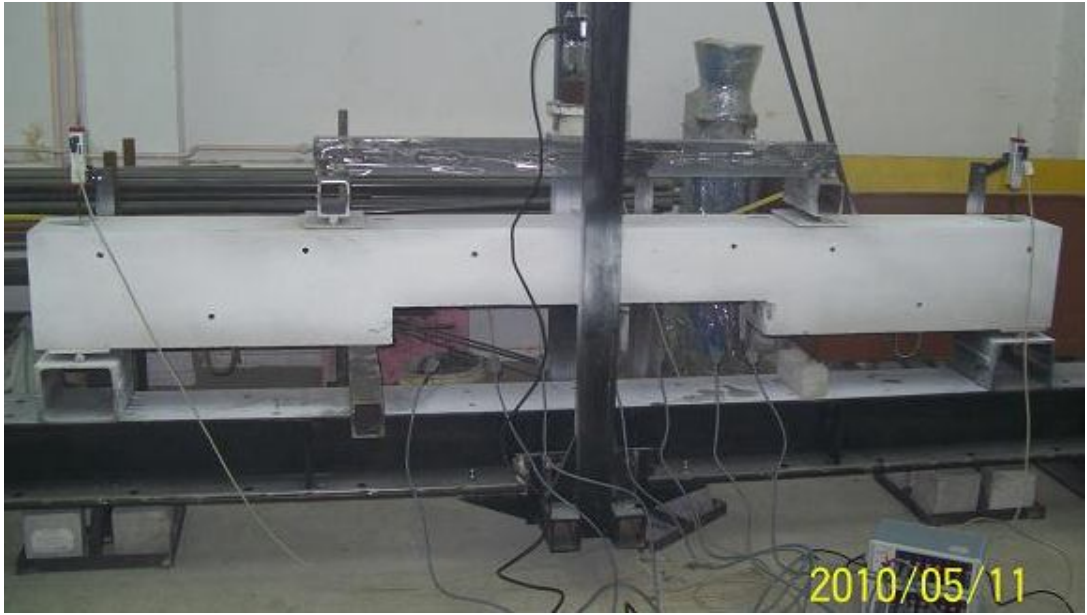


### ***Deney Elemanı-3:***

Deney elemanı tanımı: Bir Adet Doğrudan Ankrajlı Kiriş ( $f_c=10.8$  MPa)

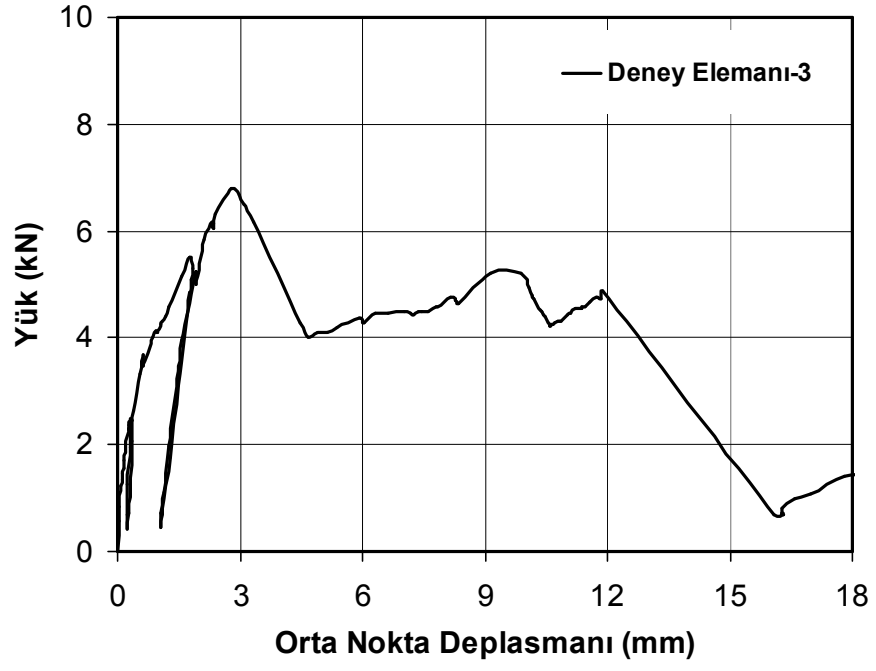
Deney tarihi: 11.05.2010

Deney elemanına üç yük çevrimi uygulanmıştır. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü Resim 4.7’de verilmiştir. 2.5 kN yük uygulanan birinci çevrimde çentiğin sol ucunda kılcal çatlak oluşmuştur. İkinci çevrimde ise çentik boyunca kılcal düzeyde eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Üçüncü çevrimde 5 kN yük düzeyinde çentiğin sol ucunda oluşan çatlak 1 mm genişliğe ulaşmıştır. Elemanın rijitliği azalmış ve 6.78 kN yük düzeyinde levha ankrajın bittiği bölgede levhanın büyük bölümünün yırtılmasıyla eleman göçmüştür. Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir. Deney elemanından test sırasında alınmış olan göçme fotoğrafları ise Resim 4.8 ve Resim 4.9’da verilmiştir.

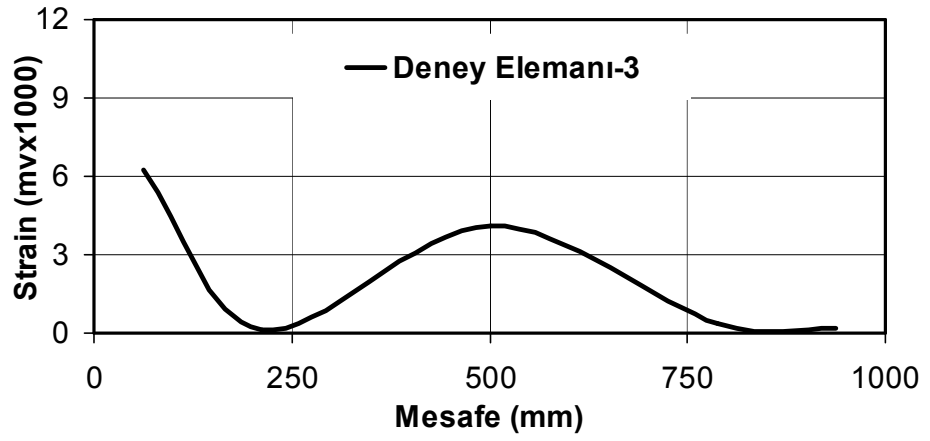


Resim 4.7. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-3.

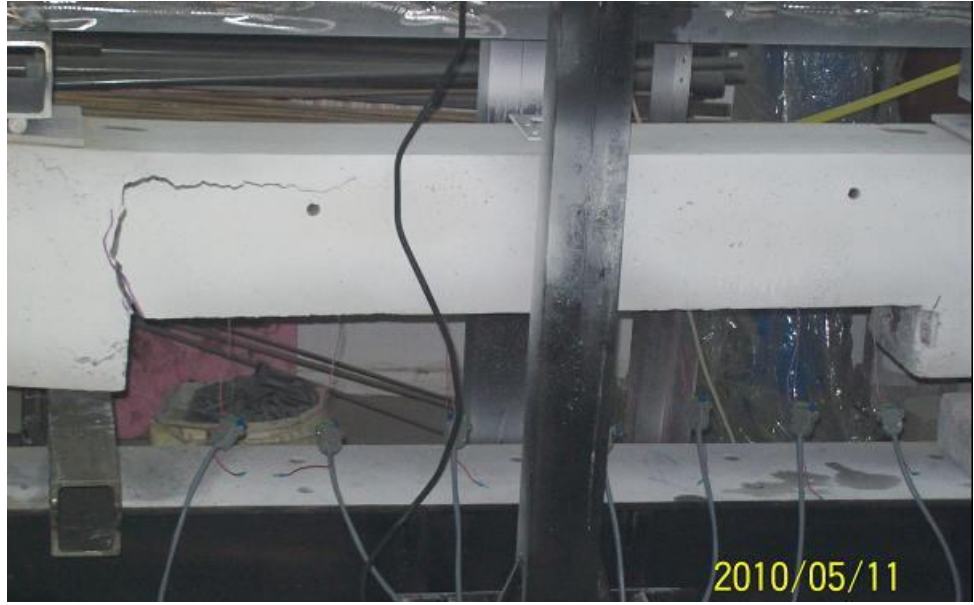
LP Levha üzerinden alına birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Kopmanın gerçekleştiği sol uçta maksimum uzama 6229 mv ölçülmüştür. Levhanın orta noktasında ise 4108 mv ölçülmüştür. Ölçülen maksimum birim şekil değiştirmelerin mili volt türünde levha boyunca gösterdiği değişim Şekil 4.6.’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-3)



Şekil 4.6. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-3)



Resim 4.8. Deney Elemanının göçme şekli. (Deney Elemanı-3)



Resim 4.9. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-3)

#### ***Deney Elemanı-4:***

Deney elemanı tanımı: İki Adet Doğrudan Ankrajlı Kiriş ( $f_c=11.2$  MPa)

Deney tarihi: 14.05.2010

100 mm genişliğindeki levhanın iki adet 50 mm genişliğinde doğrudan ankraj yapıldığı deney elemanı 9.55 kN dayanım sergilemiştir. Teste hazırlanmış deney elemanının laboratuvar ortamındaki görüntüsü Resim 4.10'da verilmiştir. Deney elemanının yük-deplasman grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.

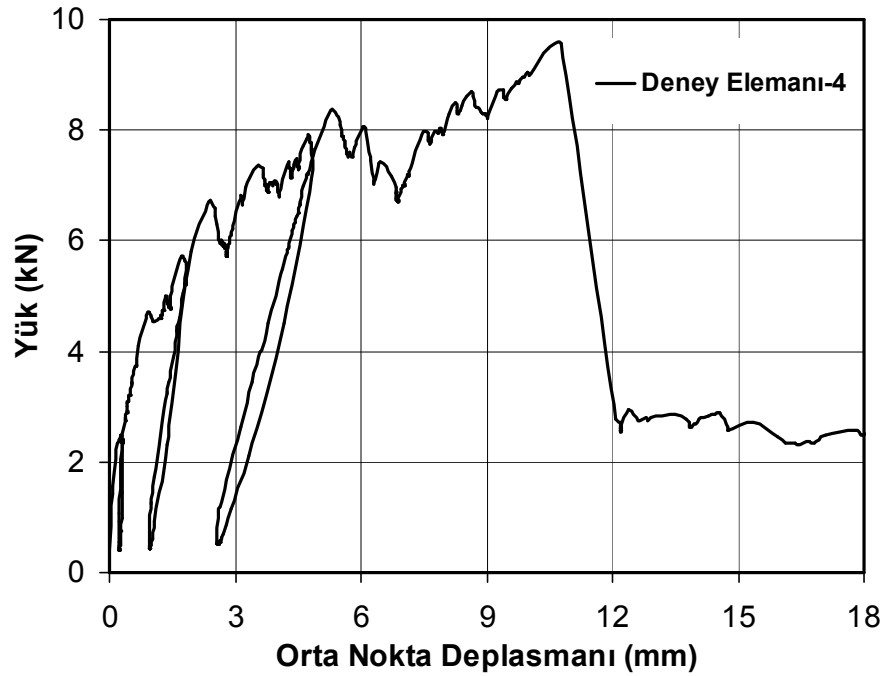


Resim 4.10. Teste hazırlanmış Deney Elemanı-4

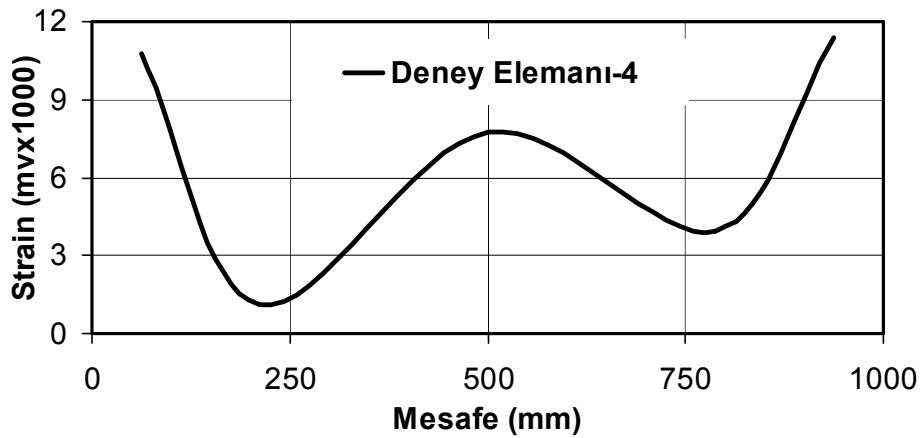
Deney elemanına 4 yük çevrimi uygulanmıştır. 2.5 kN ve 5 kN yük uygulanan ilk iki çevrimde levha boyunca kirişte çok sayıda kılcal eğilme çatlak oluşmuştur. İkinci çevrimde 4.6 kN yük düzeyinde çentiğin sol ucunda kılcal çatlak oluşmuştur. Üçüncü çevrimde ise 6.7 kN yük düzeyinde sol çentik bölgesinde 1 mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. Yüklemeye devam edilerek çevrimde hedeflenen 7.5 kN yük düzeyi levhanın kopması beklenerek aşılmış, eleman büyük oranda rijitlik kaybetmiş, sağ çentik bölgesinde de 1mm genişliğinde çatlak oluşmuştur. 7.9 kN yük düzeyinde göçme gerçekleşmemiş ve çevrime son verilmiştir. 10 kN yük düzeyi hedeflenen 4. çevrimde ise 8.4 kN yük düzeyinde levha sağ LP bulona kadar betondan ayrılmış ve deney elemanı bir miktar yük kaybetmiştir. Yüklemeye devam edilmiş ve 9.55 kN yük düzeyinde LP levha, ankrajla birleştiği sağ ucunda kopmuş ve deney elemanı

göçmüştür. Deney elemanından test sırasında alınmış olan göçme fotoğrafları ise Resim 4.11 ve Resim 4.12’de verilmiştir.

LP levha üzerinden 5 adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Maksimum ölçülen birim uzama değerlerinin levha boyunca değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Deney programı içinde en fazla birim deformasyon Deney Elemanı-4’de ölçülmüştür. Özellikle levhanın iki ucunda oluşan uzamaların birbirine yakın değerlerde olması önemlidir. Levhanın sol ucunda 10744mv, sağ ucunda ise 11395 mv uzama ölçülmüş ve deney elemanı sağ uçundan ankrajla birleştiği bölgede LP levhanın kopmasıyla göçmüştür. Levha ortasında ise uzama 7746 mv olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.7. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-4)



Şekil 4.8. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-4)



Resim 4.11. Deney Elemanının göçme şekli. (Deney Elemanı-4)



Resim 4.12. Ankrajın göçme şekli (Deney Elemanı-4)



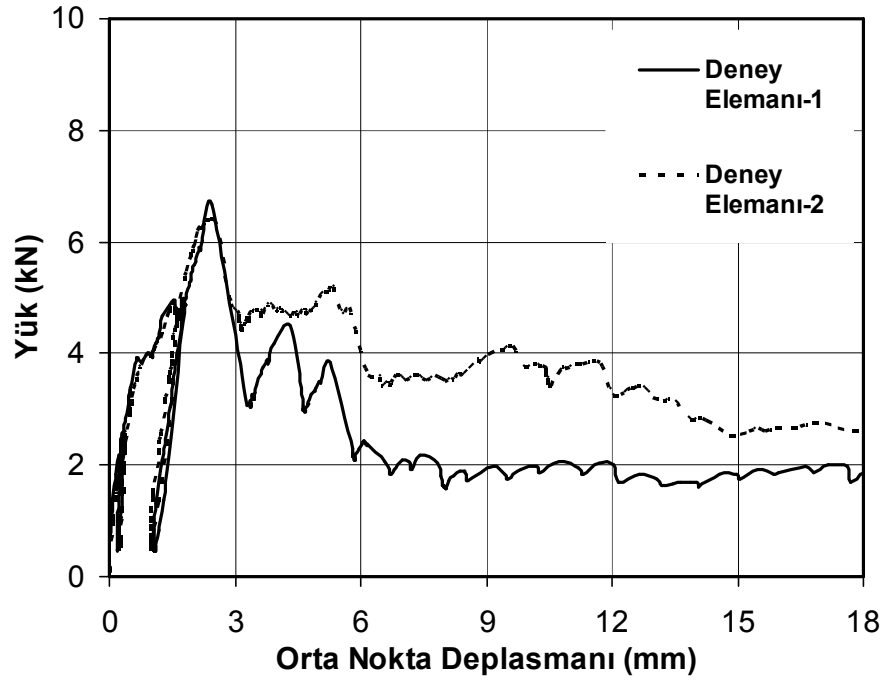
## 5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde deney sonuçları davranış ve dayanım, birin deformasyon, rijitlik ve göçme şekilleri göz önüne alınarak değerlendirilecektir. LP levhaların gevrek malzeme olması deney elemanlarının davranışına yansımıştır. O nedenle sonuçlarda süneklik, enerji tüketimi gibi büyüklükler değerlendirme dışı bırakılmıştır.

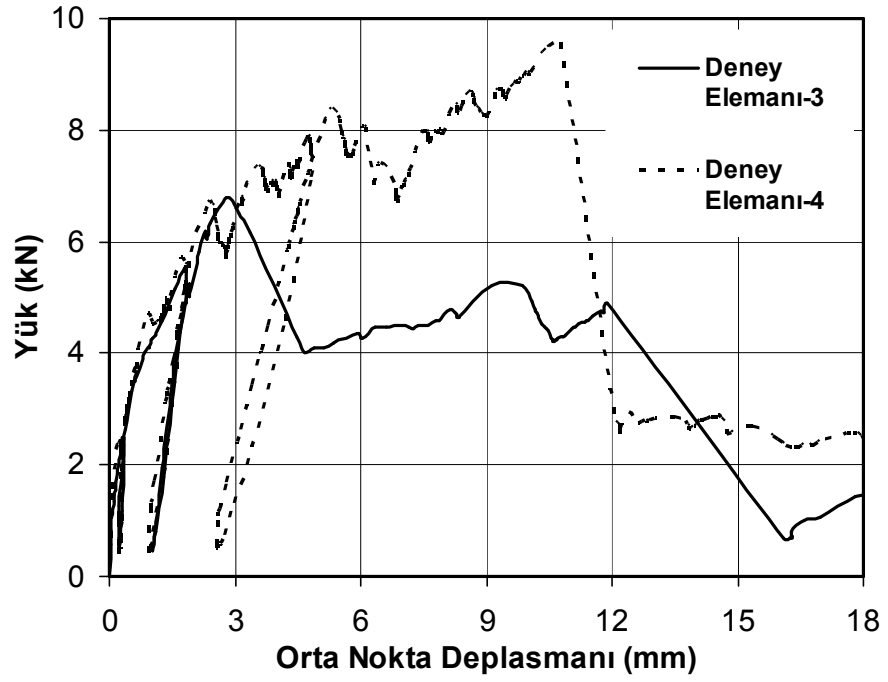
Deney elemanlarının davranış ve dayanımı, yük-deplasman grafikleri ile yorumlanmıştır. Deney elemanlarının gruplandırılmış şekilde yük-deplasman grafikleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Deney Elemanı-4 dışında deney elemanlarının dayanımı 6.4 kN ile 6.78 kN arasında değişmiştir. Buda % 6 oranında bir dayanım farkına karşılık gelmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.1’de özetlenmiştir. Deney elemanlarında, LP levha üzerinden alınan maksimum birim uzama ölçümleri de gruplandırılmış ve Şekil 5.2’de verilmiştir. Bütün deney elemanlarında göçme benzer şekillerde gelişmiş, levhanın ankrajla birleştiği bölgede gerçekleşmiştir. Deney elemanlarının yük deplasman grafikleri incelendiğinde başlangıç rijitliklerinin benzer olduğu belirlenmiştir. Maksimum yük düzeyindeki rijitlikler ise grafiklerden anlaşılabacağı gibi gerçekçi sonuçlar vermemiştir. En fazla dayanım sergileyen Deney Elemanı-4, maksimum yük düzeyinde en düşük rijitliği sergilemiştir. Bu nedenle daha gerçekçi bir değerlendirme olarak ikinci çevrimde 5 kN yük düzeyi için Çizelge 5.1’de verilen rijitlikler hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Deney sonuçları

| 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            |                                         |
| 3            | 6.78          | 3.31            | Ankrajın birleşim bölgesinde yırtılması |
| 4            | 9.55          | 3.74            |                                         |

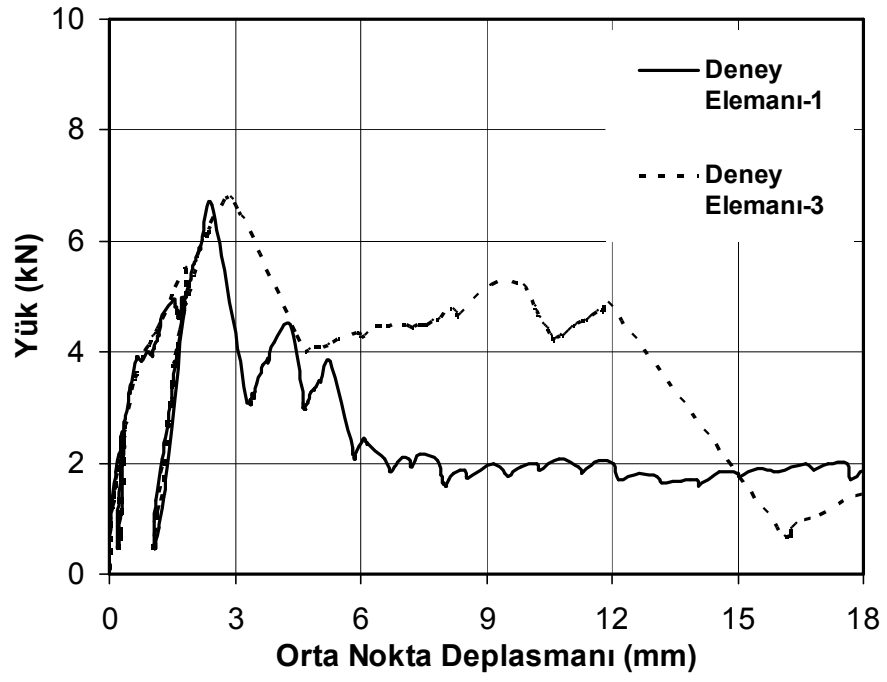


Şekil 5.1.a. Deney elemanlarının gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri

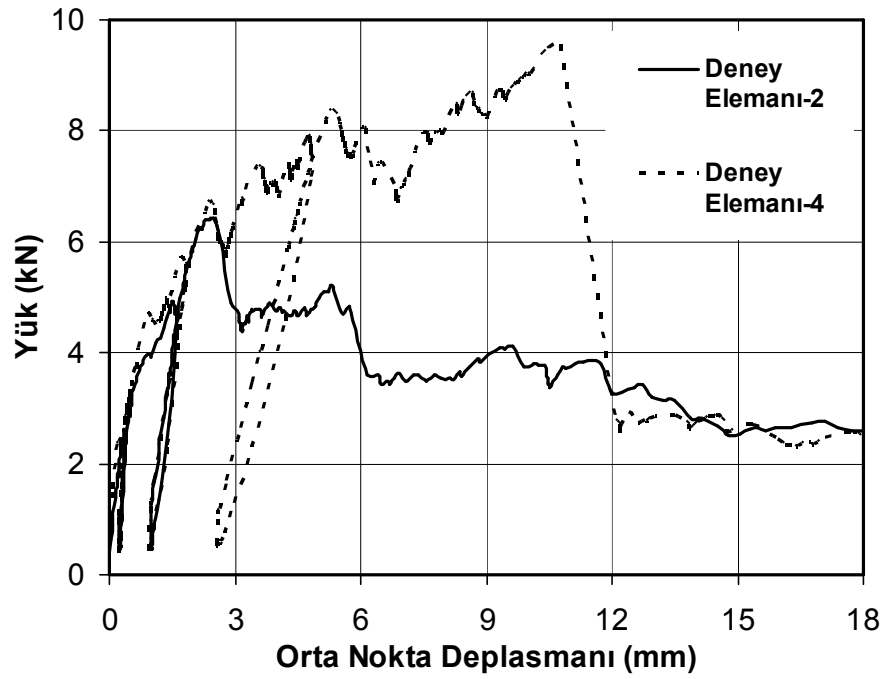


Şekil 5.1.b. Deney elemanlarının gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri

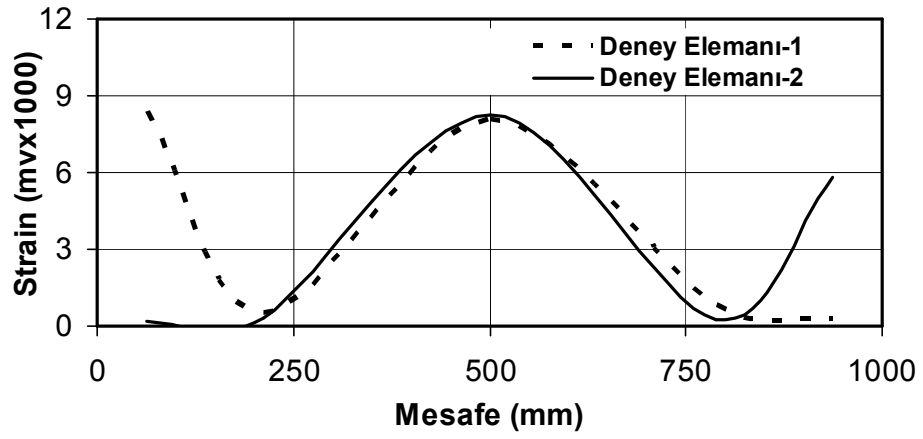




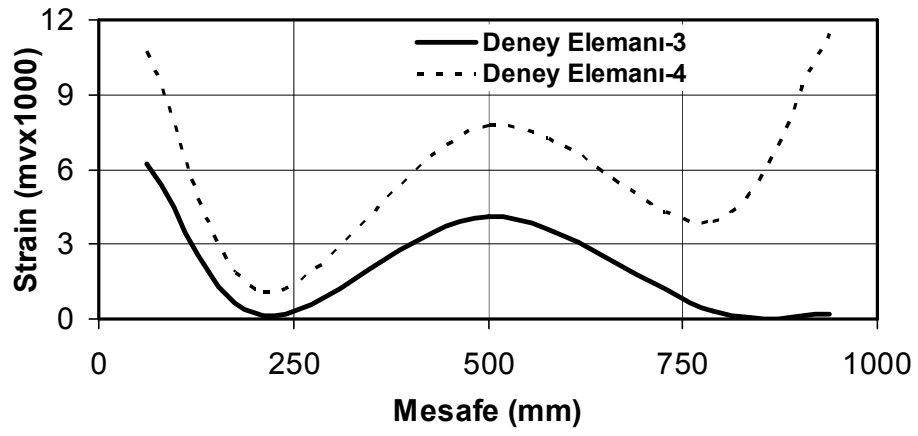
Şekil 5.1.c. Deney elemanlarının gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri



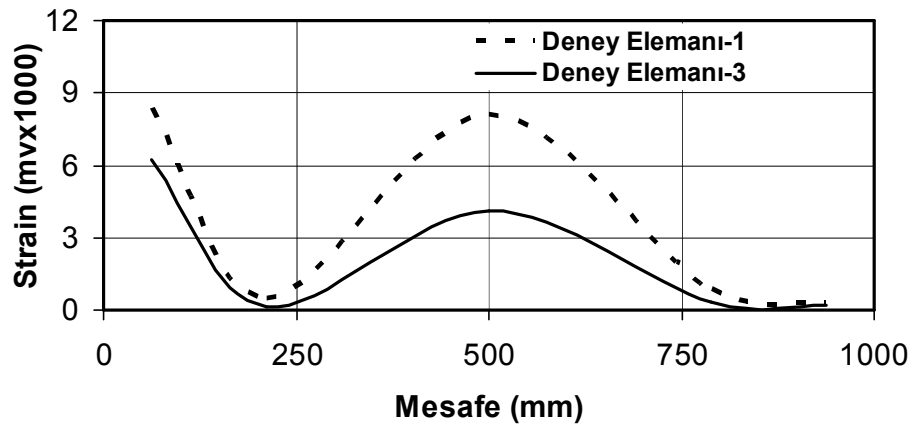
Şekil 5.1.d. Deney elemanlarının gruplanarak verilmiş yük-deplasman grafikleri



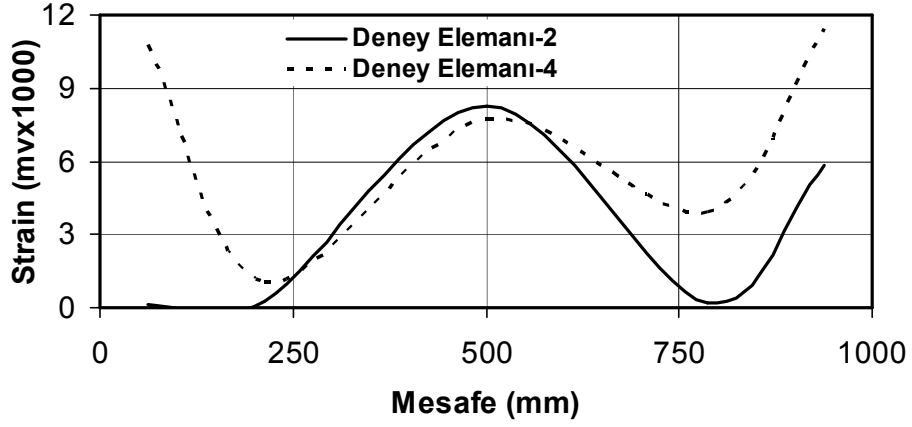
Şekil 5.2.a. LP levha boyunca maksimum birim uzama dağılımları



Şekil 5.2.b. LP levha boyunca maksimum birim uzama dağılımları



Şekil 5.2.c. LP levha boyunca maksimum birim uzama dağılımları



Şekil 5.2.d. LP levha boyunca maksimum birim uzama dağılımları

Şekil 5.1.a.'da fan Ankrajlı deney elemanlarının yük-deplasman grafiği verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi elemanlar benzer davranış sergilemişlerdir. Deney Elemanı-2'de iki adet fan ankraj olmasına rağmen tek fan Ankrajlı Deney Elemanı-1 kadar yük taşıyabilmiştir. Deney elemanlarının maksimum yük düzeyinden sonra dayanım kaybetmesi de Deney Elemanı-1'e benzer olmuştur. Şekil 5.2.a.'de verilen birim uzama ölçümlerinde ise benzer değerler ölçülmüştür. Özellikle levhanın ortasındaki deformasyonlar arasında %2 gibi düşük bir fark vardır. Uç bölgede ölçülen birim uzama ise iki fan Ankrajlı deney elemanında tek fan Ankrajlı deney elemanına göre %44 oranında daha azdır. Bu durumun iki fan ankrajın, birleşim bölgesinde kesiti zayıflatmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. En uçtaki uzamaların 150 mm içinden alınan diğer ölçümlerde uzamalar çok düşüktür.

Şekil 5.1.b.'de ise doğrudan Ankrajlı deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri verilmiştir. Deney elemanlarının grafikleri aynı yük düzeyleri için benzer olmuştur. Ancak tek doğrudan ankrajlı Deney Elemanı-3, 6.78 kN yük taşımasına rağmen, iki adet doğrudan Ankrajlı Deney Elemanı-4, %41 oranında daha fazla dayanım sergilemiştir. Deney Elemanı-4'ün testi diğer deney elemanlarından farklar ortaya çıkmıştır. Diğer üç deney elemanında çentik kenarında oluşan çatlak genişlemiş ve bu bölge üzerinde göçme gerçekleşmiştir. Ancak Deney Elemanı-4'de sol çentik kenarında oluşan çatlak testin ilerleyen düzeylerinde gelişmemiş ve sağ çentik bölgesinde oluşan yeni bir çatlakla göçme gerçekleşmiştir. Yük-deplasman grafiğinden anlaşılabileceği gibi çok sayıda çatlak oluşmasıyla, eleman deplasman yapmış ve grafikte sıçramalar olmuştur. Deney elemanlarının Şekil 5.2.b.'de verilen birim uzama ölçümleri incelendiğinde levhanın ortasında ölçülen değerlerin birbirinden oldukça farklı olduğu

görülmektedir. Levha ortasındaki uzama ölçümlerinde, çift doğrudan ankrajlı deney elemanı, tek doğrudan ankrajlı deney elemanına göre %89 oranında daha fazla uzamıştır. Levha uçlarındaki ölçümlerde de benzer bir fark görülmektedir. Doğrudan çift ankrajlı deney elemanında, tek ankrajlı eleman göre, levhanın sol ucunda %70 oranında daha fazla uzama ölçülmüştür. Deney Elemanı-4'ü diğer deney elemanlarından ayıran levhadaki 2 ve3 numaralı ölçümlerin diğer elemanlara göre oldukça yüksek olmasıdır. Elemanın diğer bir farkı ise levhanın iki ucunda da 10000 mv değerinin aşılmasıdır. Diğer hiçbir deney elemanında birim uzama her iki uçta da artmamış, bir uçta gerçekleşmiş ve büyümüştür.

Bir adet ankraj kullanılan Deney Elemanı-1 ve Deney Elemanı-3 ün Şekil 5.1.c.'de verilen yük deplasman grafiği incelendiğinde benzer dayanım sergiledikleri görülmektedir. Maksimum yük düzeyinden önce eğriler birbirine oldukça yakındır. Maksimum yük düzeyinden sonra ise Fan Ankrajlı deney elemanında dayanım daha hızlı azalmıştır. Her iki deney elemanı da levhanın sol ucundan ankrajla birleştiği yerden kopmasıyla göçmüştür. Şekil 5.2.c.'de verilen birim uzama ölçümlerinde de bu durum net olarak görülebilmektedir. Fan Ankrajlı deney elemanında birim uzama ölçümü bir adet doğrudan Ankrajlı deney elemanın neredeyse iki katı olarak ölçülmüştür.

İki adet ankraj kullanılan Deney Elemanı-2 ve Deney Elemanı-4'ün yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 5.1.d.'de, birim uzama ölçümlerinin karşılaştırılması ise Şekil 5.2.d.'de verilmiştir. İki adet doğrudan ankraj kullanılmasıyla, iki adert fan ankraj kullanılan elemana göre dayanım %49 oranında artmıştır. Deney elemanlarının Şekil5.2.d.'de verilen uzama ölçümlerinde orta noktada ölçülen değer Deney Elemanı-2'de % 6 oranında daha fazladır. Uç bölgelerde ise Deney Elemanı-4'de ölçülen 11395 mv değeri, Deney Elemanı-2'de ölçülen değerin yaklaşık iki katıdır.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan yüksek lisans çalışmasında betonarme yapılarda güçlendirme veya onarım amacıyla kullanılan LP levhalarda kullanılan uç ankrajı araştırılmıştır. Mevcut bir yapıya sonradan çelik, betonarme veya lifli polimer gibi malzemelerle yapılan ilavelerin başarısı doğrudan mevcut yapı ile ilave malzemenin bağlanmasına bağlıdır. Lp levhalarla ilgili mevcut çalışmalarda bu konuya değinilmiştir. Bağlantı detayındaki durum doğrudan malzemenin dolayısıyla uygulamam yapılan sistemin başarısını etkilemektedir. İki ucundan ankrajlı LP levhalarla ilgili bilgi birikimi oldukça sınırlı olmasına rağmen, sistem düzeyinde sisteme yaptığı katkının göz önüne alındığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda da malzemenin üretici firmanın önerdiği limitlerde kullanılmadığı bir gerçektir. Bu araştırmada sistem düzeyinde güçlendirme amaçlı kullanılmış ve literatürde de yer bulmuş iki farklı ankraj türü araştırılmıştır. Çalışmanın birinci değişkeni doğrudan ve fan ankraj olarak isimlendirilen bağlantı türü, diğeri ise ankraj sayısıdır. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

### 6.1. Sonuçlar

- LP levhalarla ilgili yapılmış çalışmalarda LP levhanın düzgün formda kullanıldığı bölümlerden göçmesi son derece önemlidir. Yapılan araştırmada hiçbir deney elemanında göçme LP levhanın ortasında veya düzgün formda yapıştirıldığı bölümde olmamıştır. Bunun dışındaki göçme şekilleri malzemede oluşan gerilme yığılımlarından kaynaklanmaktadır. Kesitin bir bölgesinde oluşan yığılma ve kopma çok kısa bir sürede bütün kesiti etkilemektedir.
- 10 MPa gib düşük bir beton dayanımında hiçbir deney elemanında ankrajın betona gömülen 150 mm boyundaki bölümünde gerçekleşmemiştir. Geçmişte yapılan çalışmalarda da öngörüldüğü gibi ilave bir önlem alınmamışsa göçme ankrajla LP levhanın birleştiği bölümde gerçekleşmiştir.
- 100 mm genişliğinde tek yönlü LP levha ucunda bir adet fan ankraj veya doğrudan ankraj kullanılması davranış ve dayanım bakımından bir fark ortaya çıkarmamıştır. Bir adet fan ankrajlı deney elemanında kopma bir adet doğrudan ankrajlı deney elemanına göre %34 daha yüksek birim uzamada gerçekleşmiştir. Daha yüksek birim uzama dolayısıyla daha yüksek gerilme olmasına rağmen Fan ankrajlı deney elemanı daha yüksek dayanım sergileyememiştir. Bu nedenle 100 mm genişliğinde

tek yönlü levha için doğrudan ankrajın daha başarılı olarak yük transferi sağladığı yorumlanabilmektedir.

- Bir adet fan ankraj yapılan deney elemanında levha ortasındaki birim uzama ölçümü, bir adet doğrudan ankrajlı deney elemanına göre yaklaşık iki kat olarak ölçülmüştür. Fan ankrajlı elemanda alınan orta nokta birim uzaması neredeyse göçmenin olduğu uçtaki ölçümle aynıdır.
- 100 mm genişliğinde levhaya 50 mm aralıkla iki adet fan ankraj yapılması davranış ve dayanım üzerinde etkili olmamıştır. Bir adet fan ankrajlı elemanda göçme uzaması iki adet fan ankrajlı eleman göre %43 daha fazla ölçülmüştür. Dolayısıyla iki adet fan ankrajlı elemana yapıştırılan polimerin daha düşük bir gerilmede koptuğu yorumu yapılabilmektedir. İki fan ankrajlı eleman, tek ankrajlı elemanla aynı yük düzeyine de çıkamamıştır. Bu durum fan ankraj yapımında levha kesitinde açılan iki adet deliğin kesiti zayıflatmasından kaynaklandığı yorumlanmıştır. Bu nedenle yönetmeliğimizde de yer bulan fan ankraj uygulamasında ankraj sayısının artırılması levha ucunda ilave katman uygulanması gerekli olmaktadır. Ancak bu durumun ilave maliyetler getirdiği ortadadır.
- 100 mm genişliğinde levhanın bir adet doğrudan ankrajla bağlanması yerine, iki adet her 50 mm'ye bir adet doğrudan ankraj düşecek şekilde bağlanması davranış ve dayanımı olumlu etkilemiştir. Dayanım %41 artmıştır. Bu durum levha genişliği ile ucuna yapılacak doğrudan ankraj sayısı arasında bir ilişki ortaya çıkarmaktadır. Bunun yanında iki adet doğrudan ankrajda deney elemanı göçmeden önce çok sayıda belirti göstermiş ve deney elemanı deplasman yapmıştır.
- İki adet doğrudan ankraj yapılmasıyla birim uzama ölçümleri bir adet doğrudan ankrajlı deney elemanına göre oldukça artmıştır. Orta nokrada alınan ölçüm %89 oranında, uç bölgede alınan ölçüm ise %83 oranında artmıştır.
- İki adet doğrudan ankraj yapılan deney elemanında en yüksek birim uzamalar ölçülmüştür. Ayrıca diğer deney elemanlarına göre St-2 ve St-4, isimli birim uzama ölçümlerinden önemli değerler okunmuştur.
- İki adet doğrudan ankraj yapılan deney elemanında LP levha boyunca çentik bölgesinde çok sayıda çatlak oluşmuştur. Ancak diğer deney elemanlarında kırışte önemli bir hasar oluşmamış, eleman belli bir bölgede hasar almış ve o hasar kapsamında hızla göçmüştür.

## 6.2. Öneriler

- LP levhaların eksenel çekme kuvveti etkisinde kullanılması gerekliliği bulunmaktadır. Ancak uç bölgelerinde yapılan ankraj uygulamalarının da benzer şekilde olmaları gerekmektedir. Bu açı değişimlerinin yük taşıma kapasitesine olan etkileri araştırılmalıdır.
- Doğrudan ankraj uygulamasının, fan ankraja göre daha az maliyetli olduğu ancak daha titiz bir işçilik gerektirdiği ortadadır. Her iki ankraj türünde de kırılmayı levhanın gövdesinde gerçekleştirecek uç bağlantıları geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.
- 10 MPa gibi düşük dayanımlı bir betonda uygulama yapılmıştır. Buna ilave olarak LP bulonların yerleşim düzeninin önemi büyüktür. Özellikle göçmenin gerçekleştiği uç bölgelerde daha sık LP bulon yapılması, LP bulonların levha boyunca bir eksen üzerinde veya yönetmeliklerde yer bulduğu gibi şaşırtmalı yapılmasının eleman düzeyinde deneylerle araştırılarak, davranış ve dayanım üzerine etkileri ortaya konulmalıdır.
- Farklı beton dayanımında elemanlara yapıştırılan, Ankrajlı LP levhaların araştırılması ve farklı yüzey özellikleri olan (tuğla, tuğla ve sıva) elemanların kullanılması ülkemizde ve dünyada konuyla ilgili bilgi birikimine katkı sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- Ahmed, O., Gemert, D.V. and Vandewalle, L. (2001). "Improved model for plate-end shear of CFRP strengthened RC beams." *Cement and Concrete Composites*, (23), 3-19.
- Ahmad, A.R., Soudki, K.A. and Topper, T.H. (2007). "Preliminary experimental investigation of fatigue behavior of CFRP confined RC beams." *Construction and Building Materials*, (21), 746-755.
- Ahmed, O., Gemert, D.V. and Vandewalle, L. (2001). "Improved model for plate-end shear of CFRP strengthened RC beams." *Cement and Concrete Composites*, (23), 3-19.
- Ali, M.S.M., Oehlers, D.J. and Park, S.M. (2001). "Comparison between FRP and steel plating of reinforced concrete beams." *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, (32), 1319-1328.
- Altin, S., Anil, Ö., Kara, M.E. and Kaya, M. (2008). "An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips." *Composites Part B: Engineering*. (39), 680-693.
- Anil, Ö. (2006). "Improving shear capacity of RC T-beams using CFRP composites subjected to cyclic load." *Cement and Concrete Composites*, (28), 638-649.
- Arslan, G., Sevuk, F. and Ekiz, I. (2006). "Steel plate contribution to load-carrying capacity of retrofitted RC beams." *Construction and Building Materials*, (21), 746-755.
- Benjeddou, O., Ouezdou, M.B. and Bedday A. (2007). "Damaged RC beams repaired by bonding of CFRP laminates." *Construction and Building Materials*, (21), 1301-1310.



- Bercardino, F., Spadea, G. and Swamy R.N. (2006).” The problem of shear in RC beams strengthened with CFRP laminates.” *Construction and Building Materials*, (21), 1997-2006.
- Camli, U.S. and Binici, B. (2007).”Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry.” *Construction and Building Materials*, (21), 1431-1446.
- Chen, J.F. and Teng, J.G. (2001). “Anchorage strength models for FRP and steel plates bonded to concrete.” *Journal of Structural Engineering*, (127), 784-791.
- “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”.(2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Ferracuti, B., Savoia, M. and Mazzotti, C. (2007). “Interface law for FRP-concrete delamination.” *Composite Structures*, (80), 523-531.
- Gao, B., Kim, J. and Leung, C. (2004). “Experimental study on RC beams with FRP strips bonded with rubber modified reins.” *Composites Science and Technology*, (64), 2557-2564.
- Gheorghiu, C., Labossiere, P. And Proulx, J. (2006). “Fatigue and monotonic strength of RC beams strengthened with CFRPs.” *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, (37), 1111-1118.
- Kachlakev, D. and McCurry, D.D. (2000). “Behavior of full-scale reinforced concrete beams retrofitted for shear and flexural with FRP laminates.” *Composites Part B: Engineering*, (31), 445-452.
- Lenwari, A., Thepchatri, T. and Albrecht P. (2006). “Debonding strength of steel beams strengthened with CFRP plates.” *Journal of Composites for Construction*, (10), 69-78.
- Liu, H.Y., Zhang, X., Mai, Y.W. and Diao, X.X. (1999). “On steady-state fibre pull-out II computer simulation.” *Composites Science and Technology*, (59), 2191-2199.

- Mosallam, A.S. and Banerjee S. (2007). "Shear enhancement of reinforced concrete beams strengthened with FRP composite laminates." *Composites Part B: Engineering*, (38), 781-793.
- Novidis, D., Pantazopoulou, S.J. and Tentolouris, E. (2007). "Experimental study of bond of NSM-FRP reinforcement." *Construction and Building Materials*, (21), 1760-1770.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O. and Mertol, H.C. (2003). "Strengthened of brick-infilled RC frames with CFRP." *Structural Engineering Research Unit, Tubitak, Metu*.
- Özdemir, G., (2005). "Mechanical Properties of CFRP Anchorages", Yüksek Lisans Tezi., Orta Doğu teknik üniversitesi.
- Pesic, N. and Pilakoutas, K. (2003). "Concrete beams with externally bonded flexural FRP-reinforcement: analytical investigation of debonding failure." *Composites Part B: Engineering*, (34), 327-338.
- Pham, H. and Mahaidi, R.A. (2004). "Experimental investigation into flexural retrofitting of reinforced concrete bridge beams using FRP composites." *Composite Structures*, (66), 617-625.
- Schnerch, D., Dawood, M., Rizkalla, S. and Summer, E. (2007). "Proposed design guidelines for strengthening of steel bridges with FRP materials." *Construction and Building Materials*, (21), 1001-1010.
- Sheikh, S.A. (2002). "Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers." *Engineering Structures*, (24), 869-879.
- Tan, K.H., Patoary, M.K.H. and Roger, C.S.K. (2003). "Anchorage systems for masonry walls strengthened with FRP composite laminates." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, (22), 1353-1371.

- Teng, J.G., Zhang, J.W. and Smith, S.T. (2002). "Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffit plate: a finite element study." *Construction and Building Materials*, (16), 1-14.
- Teng, J.G., Lorenzis, L.D., Wang, B., Li, R., Wong, T.N. and Lam, L. (2006). "Debonding Failures of RC beams strengthened with near surface mounted CFRP strips." *Journal of Composites for Construction*, (10), 92-105.
- Toutanji, H., Zhao, L. And Zhang, Y. (2006). "Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets bonded with an inorganic matrix." *Engineering Structures*, (28), 557-566.
- Wu, Z.S. and Davies J.M. (2003). "Mechanical analysis of cracked beam reinforced with an external FRP plate." *Composite Structures*, (62), 139-143.
- Yin, J. and Wu, Z.S. (2003). "Structural performances of short steel-fiber reinforced concrete beams with externally bonded FRP sheets." *Construction and Building Materials*, (17), 463-470.
- Yang, J. and Wu, Y.F. (2007). "Interfacial stresses of FRP strengthened concrete beams: effects of shear deformation." *Composite Structures*, (80), 343-351.
- Zhou, Y., Li, C. And Mason, J.J. (2005). "Fiber-end deformation effects in enlarged end, fiber-reinforced composites." *Engineering Fracture Mechanics*, (72), 1980-1992.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1977 yılında Denizli’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Denizli’de tamamladı. 1998 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında Türk Silahlı Kuvvetlerinde mühendis subay olarak göreve başladı. 2009 yılında Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

**Adı Soyadı : KIVANÇ BAYAT**

**Doğum Yılı : 1977**

**Lisans : Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü 1998**

### **Haberleşme Bilgileri**

**Adres : Esertepe Mahallesi Çiğdem Sokak 29/9 No:9  
Keçiören/ANKARA**

**Telefon : 0 505 896 12 72**

**E-posta : kivanc.bayat@hotmail.com**