T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI

ÇELİK LEVHALARIN BETONA YAPIŞTIRILMASINDA ANKRAJ UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdal KONUK

DANIŞMAN
Doç.Dr. Mehmet Emin KARA

AKSARAY, 2012

ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde betonarme yapıların onarımı veya güçlendirilmesi uygulamalarında, yüksek dayanımı, küçük boyutları, uygulama kolaylığı ve sistemin süneklik düzeyine olan katkısı nedeniyle çelik levhalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik levhalar tuğla dolgulu çerçevelerin depreme karşı güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çerçeve dolgusuna diyagonal doğrultuda yapıştırılan levhalar, uç bölgelerinden çerçevenin kolon ve kirişlerine ankrajlarla bağlanmaktadır. Literatürde, konuyla ilgili çalışmaların neredeyse tamamında uygulamanın başarısının doğrudan levhaların çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarına olan bağlantısına bağlı olduğuna değinilmektedir. Bu araştırmada, dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemlerin güçlendirilmesinde kullanılan çelik levhaların uç bağlantı detayları, tasarlanan bir kiriş deney elemanında deneysel olarak incelenmiştir. Çelik levhaların betonarme çerçeveye bağlanmasında kullanılan bağlantı detayının geometrisi ve levha uçlarındaki ankraj sayısı bu deneysel çalışmanın değişkenleri olarak seçilmiştir.

Araştırma kapsamında yapılan deneyler Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yapı Mekaniği Laboratuarının kurulmasıyla, bu deneysel çalışmanın yapılmasına imkân sağlayan Aksaray Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na ve İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, deney elemanlarının hazırlanması ve deneylerin yapılması aşamasındaki katkılarından dolayı Laboratuar sorumlusu Uzman Yakup BÖLÜKBAŞ(Aksaray Üniversitesi)'a, çalışmalarım boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan değerli hocam Doç.Dr. Mehmet Emin KARA(Aksaray Üniversitesi)'ya teşekkür ederim.

Ayrıca, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli eşim Günseli PEKDEMİR KONUK'a çalışmalarım süresince gösterdiği manevi destek ve sabırlarından dolayı, teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	SayfaNo
ÖNSÖZ……..	i
TEŞEKKÜR…….....	ii
ÖZET…….....	iv
ABSTRACT…….	v
ŞEKİLLER DİZİNİ…….....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ…….	viii
KISALTMALAR DİZİNİ……..…….....	ix
1. GİRİŞ…….....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ…….....	4
3. DENEY ELEMANLARI ve YÖNTEM …….....	10
3.1. Genel…..……...	10
3.2. Deney Elemanları ve Deneysel Değişkenler…….....	13
3.3. Malzemeler…….....	19
3.4. Deney Elemanlarının Üretilmesi……...	22
3.5. Deney ve Ölçüm Düzeni…….	26
4. DENEYLER……...	28
5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI……	48
5.1. Çelik Ankrajların Farklı Açılarda Uygulanması……	48
5.2. Başlık Levhasında İlave Yöntemlerin Uygulanması……...	50
5.3. Çelik Levhanın Konumunun Davranış ve Dayanıma Etkisi…….	52
5.4. Çelik Ankrajların Sayısının Davranış ve Dayanıma Etkisi……...	53
6. SONUÇLAR…….....	55
KAYNAKLAR…….....	58
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK LEVHALARIN BETONA YAPIŞTIRLMASINDA
ANKRAJ UYGULAMALARI

Erdal KONUK

T.C.
Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mehmet Emin KARA

Betonarme yapıların çelik levhalarla güçlendirilmesi, güçlendirme ve onarım alanında sık kullanılan güçlendirme yöntemlerinden biridir. Betonarme yapıların çelik levhalar ile güçlendirilmesi üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda deney elemanlarının, çelik levhalar akma dayanımına ulaşmadan önce göçmesi sıkça karşılaşılan bir sonuçtur. Betonarme bir sisteme çelik malzemeden uygulanacak bir güçlendirmenin, malzemenin akma dayanımına ulaşmasını sağlayacak şekilde tasarlanması, sistemin gerek enerji tüketim düzeyini gerekse süneklik düzeyini olumlu etkileyecektir. Bu çalışmada betona yapıştırılan ve çekme kuvveti etkisindeki çelik levhaların uç bölgesinden ankrajla bağlanması araştırılmıştır. Çalışmanın değişkenleri levha ucunda kullanılan bağlantı detayı ve kullanılan ankraj sayısıdır. Yedi adet deney elemanı kullanılmıştır. Deney elemanlarının üçünde kullanılan uç bağlantısı, çelik levhanın akma dayanımına ulaşmasını sağlamıştır. Deneysel çalışma sonucunda, başlık levhası ile bulonlar arasına güçlü bir levha ilave edilmesinin veya bu bağlantının nervürlerle güçlendirilmesinin bağlantıyı başarılı kıldığı belirlenmiştir. Levha ucunda üç ankraj yerine iki ankraj kullanılması ise beklenmedik olumsuzlukların gelişmesine neden olmuştur.

2012, 61 Sayfa

Anahtar Kelimeler : Ankraj, Betonarme, Güçlendirme, Çelik Levha

ABSTRACT

Master of Science Thesis

AN APPLICATION OF END ANCHORAGES TO BONDED STEEL PLATES ONTO CONCRETE

Erdal KONUK

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Mehmet Emin KARA

Strengthening of reinforced concrete structural members by using steel plates is one of the commonly used methods at retrofitting and strengthening area. There are many studies about strengthening of RC structures by using steel plates. Many specimens at previous studies are failed without reaching the yield strength of steel plates. If the strengthening technique that uses steel members for the purpose is designed such that, steel is reached to its yield strength, therefore specimen's ductility and energy dissipation is affected positively. In this study, application of anchorages to ends of steel plates under tension is investigated. The main parameters of the study are the details of anchorages and the number of anchorages that is applied to one end. Totally seven specimen are manufactured and tested. The details of the anchorages that are applied to three specimens among the seven are caused yielding of steel plates. Extra steel plates that are added between the end plates and the nuts and the increase in the strength of connection caused this success. Problems are encountered unexpectedly due to using two anchorages instead of three at the ends.

2012, 61 Pages

Keywords : Anchorage, Reinforced Concrete, Strengthening, Steel Plate

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Tipik çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney numunesi (Kopraman, 2010)……. 7

Şekil 2.2. Çelik levhalarla güçlendirilmiş yığma duvara ait deney numunesi (Taghdi vd., 1998)……..... 8

Şekil 3.1. Tuğla dolgulu çerçevenin güçlendirilmesi……..... 11

Şekil 3.2. Tuğla dolgulu çerçevelerin çelik levha ile güçlendirilmesi detayı. 12

Şekil 3.3. Kiriş deney elemanının geometrisi ve donatı özellikleri…… 13

Şekil 3.4. Deney elemanlarında kullanılan bağlantı detayı……... 15

Şekil 3.5. Çelik levhadan ankraja yük aktarılması……. 15

Şekil 3.6. Deney elemanları ve deneysel değişkenler……..... 17,18

Şekil 3.7. Ankraj çubuklarlı ve deney düzeni…… 20

Şekil 3.8. Çelik levhaların çekme deneyleri……... 21

Şekil 3.9. Deney elemanlarının betonlarının dökülmesi…… 23

Şekil 3.10. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-4)…….. 24

Şekil 3.11. Epoksinin yüzeye uygulanması…… 24

Şekil 3.12. Epoksinin prizini alması ……..……... 25

Şekil 3.13. Uygulaması bitmiş (Deney Elm.-7, Deney Elm.-8)…… 25

Şekil 3.14. Uygulaması tamamlanmış birim deformasyon ölçer……... 26

Şekil 3.15. Deney ve ölçüm düzeni……... 27

Şekil 3.16. Teste hazırlanmış deney elemanının görüntüsü……... 27

Şekil 4.1. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-1)…… 28

Şekil 4.2. 20 kN yük düzeyi (Deney Elm.-1.)……... 29

Şekil 4.3. Deplasman kont. yük çevriminde çentik bölgesi (Deney Elm.-1) 29

Şekil 4.4. Basınç bölgesinde betonun ezilmesi (Deney Elm.-1.)…….. 29

Şekil 4.5. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-2)……... 30

Şekil 4.6. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-2) 31

Şekil 4.7. Bağlantı detayı (Deney Elm.-2)…… 31

Şekil 4.8. Teste hazırlanmış elemanda çentik bölgesi (Deney Elm.-2)…… 32

Şekil 4.9. 30 kN yük düzeyinde hasar durumu (Deney Elm.-2)…….. 32

Şekil 4.10. Başlık levhasının betondan ayrılması (Deney Elm.-2)……... 32

Şekil 4.11. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-3)……..... 33

Şekil 4.12. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-3)… 33

Şekil 4.13. Bağlantı detayı (Deney Elm.-3)…… 34
Şekil 4.14. Teste hazırlanmış elemanda çentik bölgesi (Deney Elm.-3)…… 34
Şekil 4.15. 25 kN yük düzeyinde hasar durumu (Deney Elm.-3)…….. 35
Şekil 4.16. Ankrajın göçmesi (Deney Elm.-3)……..... 35
Şekil 4.17. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-4)…….. 36
Şekil 4.18. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-4)…. 37
Şekil 4.19. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-4)…….. 37
Şekil 4.20. 40 kN yük düzeyinde eğilme çatlakları (Deney Elm.-4)…….. 38
Şekil 4.21. Akmadan sonra levhanın yüzeyden ayrılması (Deney Elm.-4)… 38
Şekil 4.22. Deney Elemanı-4'ün 21. Yük çevrimi…….. 38
Şekil 4.23. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-5)……... 39
Şekil 4.24. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-5)…. 40
Şekil 4.25. Bağlantı detayı (Deney Elm.-5)…… 40
Şekil 4.26. 35 kN yük düzeyinde oluşan çatlaklar (Deney Elm.-5)……... 41
Şekil 4.27. Deney Elemanı-5'de maksimum hasar durumu……... 41
Şekil 4.28. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-6)……... 42
Şekil 4.29. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-6)…. 43
Şekil 4.30. Bağlantı detayı (Deney Elm.-6)…… 43
Şekil 4.31. 40 kN yük düzeyine oluşan çatlaklar (Deney Elm.-6)……. 43
Şekil 4.32. Göçme anındaki hasar durumu (Deney Elm.-6)……... 44
Şekil 4.33. Deney Elemanı-6'da maksimum hasar durumu……... 44
Şekil 4.34. Yük-deplasman grafiği (Deney Elm.-7)……... 45
Şekil 4.35. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elm.-4)…. 46
Şekil 4.36. 55 kN yk düzeyinde başlık levhasının ayrılması(Deney Elm.-7). 46
Şekil 4.37. Başlık levhasının yüzeyden ayrılması (Deney Elm.-7)…… 47
Şekil 5.1. Dayanım zarfları (Deney Elm.-1, 2 ve 3)……... 49
Şekil 5.2. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elm.-1, 2 ve 3)…… 49
Şekil 5.3. Dayanım zarfları (Deney Elm.-2, 4 ve 5)……... 51
Şekil 5.4. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elm.-2, 4 ve 5)…… 51
Şekil 5.5. Dayanım zarfları (Deney Elm.-4 ve 6)……... 52
Şekil 5.6. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elm.-4 ve 6)…… 53
Şekil 5.7. Dayanım zarfları (Deney Elm.-4 ve 7)……... 54
Şekil 5.8. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elm.-4 ve 7)…… 54

ÇİZELGELERİN DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Çekip çıkarma deneyleri sonuçları……. 20

Çizelge 3.2. Donatı çubuklarının mekanik özellikleri……..…. 21

Çizelge 3.3. Beton karışım oranı (1 m^3 beton için)…… 22

Çizelge 3.4. Epoksi reçinesinin mekanik özellikleri…….. 22

Çizelge 5.1. Deney sonuçları…….. 48

KISALTMALAR DİZİNİ

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
mv	Mili Volt

1. GİRİŞ

Yapılan araştırmalara göre, 20. Yüzyılda 1,5 milyondan fazla insan meydana gelen depremler nedeniyle hayatını kaybetmiş ve halen 600 milyon civarında insanında dünyanın deprem açısından riskli olduğu değerlendirilen bölgelerinde, deprem tehdidi altında yaşamını sürdürdüğü tahmin edilmektedir. Ülkemizin de üzerinde yer aldığı Anadolu topraklarının, günümüze kadar deprem afetinden büyük zararlar gördüğü, hatta geçmiş yüzyıllarda Anadolu'da bulunan bazı medeniyetlerin deprem felaketinde yok olduğu bilinmektedir. Dünyanın en aktif ve yıkıcı deprem üreten fay hatları üzerinde yer alan Türkiye nüfusunun % 95'i, sanayi kuruluşlarının ise, %98'i yüksek riskli bölgelerde bulunmaktadır, deprem ölçümlerinin yapılmaya başlandığı 1900 yılından bu yana en büyüğü 7.9 olarak kaydedilen 90 büyük depremde, resmi verilere göre 80 bin'den daha fazla insan hayatını kaybetmiştir.

Türkiye'de yaşanan bu depremler incelendiğinde, gerek can kaybı, gerek yapılarda meydana gelen ağır hasar bakımından Türkiye'nin yaşadığı en büyük iki deprem, 1939 Erzincan depremi ile 1999 Gölcük merkezli Marmara depremi olmuştur. Erzincan depreminde 116 bin 720 bina ağır hasar görürken 32 bin 962 kişi yaşamını kaybetmiştir. 1999 Marmara depreminde ise, 112 bin 724 bina tamamen yıkılırken toplam 376 bin 479 konut ve iş yeri ağır hasar görerek kullanılamaz gelmiştir ve resmi rakamlara göre 17 bin 480 kişi hayatını kaybetmiştir. Bunun yanında, sadece 1999 Marmara depreminin Türkiye'ye maliyetinin 24,5 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir.

Depremde hasar gören yapıların büyük çoğunluğunun betonarme binalar olduğu bilinmektedir. Bazı dezavantajları olmasına rağmen doğru projelendirildiği ve uygulandığı takdirde betonarme yapı tekniği ile depreme dayanıklı yapılar üretmek mümkündür ancak, 1999 Gölcük ve Düzce depremleri, ülkemizde inşa edilen binaların çoğunun gereken dayanıma sahip olmadığını(DBYBHY'e göre en az C20 olması gereken beton dayanımının C8 civarlarında olması vb.) göstermiştir.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü raporlarına göre, Marmara Bölgesinin büyük bir depremle tekrar karşı karşıya gelmesi halinde, 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 hasarlı binalardan kaynaklanan kayıpların 11 milyar doları bulacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple, onarım ve güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi son derece önemli bir konudur.

Betonarme yapıların onarımı veya güçlendirilmesi çalışmaları özellikle 1992 Erzincan depreminden sonra hız kazanmıştır. Başta ODTÜ olmak üzere birçok üniversitede konuyla ilgili yöntemler üzerinde çalışmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, geliştirilen teknikler hasar gören veya olacak bir depremde hasar görme ihtimali bulunan yapılara uygulanmıştır. Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemi binalara betonarme duvar eklenmesidir. Bu takviye yöntemi göreceli olarak zahmetli ve uzundur. Bu yöntemin uygulanabilmesi için binanın tümüyle boşaltılması gerekmektedir. Bu durum kullanımdaki mevcut binalarda betonarme perde ile güçlendirme yapılmasına büyük engel oluşturmaktadır. Mevcut yapıların deprem güvenliklerinin sağlanabilmesi amacıyla güçlendirilmeleri ancak "kullanıcı dostu" güçlendirme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. 2001-2006 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi liderliğinde geliştirilen ve mevcut yapılardaki boşluklu tuğla duvarların güçlendirilerek yapının taşıyıcı sistemi ile bütünleştirilmesine dayanan iki ayrı yöntem bu anlamda büyük bir boşluğu doldurmaktadır (Ozcebe ve diğerleri, 2003; Binici ve diğerleri, 2007; Baran ve Tankut, 2011). Bu çalışmalar dolgu duvarların lifli polimerler (LP) ve ön üretimli beton paneller (ÖBP) ile güçlendirilip yapısal sistemle bütünleştirilmesine dayanmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) bazı şartların sağlanması koşuluyla "kullanıcı dostu güçlendirme yöntemleri" olarak adlandırılan bu yöntemlerin ülke genelinde kullanımına izin vermektedir. Eleman düzeyinde kullanılan çelik veya lifli polimer levhalar son zamanlarda, çerçeve türü yapıların gözünde bulunan dolgu duvarların sargılamasında kullanılmaktadır. Bu şekilde, dolgu duvarı daha rijit hale getirerek çerçevenin yatay deprem kuvvetleri karşısındaki dayanımının artırılması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla yapılan çalışmalarda, gerek çelik gerekse LP levhalarla oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar, uygulanılan tekniğin başarısının çelik veya LP levhaların betonarme yapının kolon ve kiriş elemanlarına olan bağlantısıyla orantılı olduğunu ortaya koymuştur.

Bu bağlamda, mevcut taşıyıcı elemanlarla güçlendirme malzemeleri arasındaki ankraj detayı yapılan uygulamanın başarısını doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla uygulamanın başarısı yapılan ankrajın başarısına bağlı olmaktadır.

Geçmişte yapılan çalışmalarda, LP levha veya Çelik şeritlerin ne kadar yük taşıdıklarının üzerinde durulmamış, doğrudan çerçeve sistemin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkıları araştırılmıştır. Bu nedenle, uç bağlantılarında kullanılan ankraj çubuklarının sayısı, çapı ve levha kalınlıkları gereğinden çok büyük seçilerek çerçevenin ankraj kısmından hasar görmesi engellenmiştir. Bu çalışmanın amacı, çelik levhalarla sistem düzeyinde yapılan güçlendirme uygulamalarında levha uçlarında uygulanan ankraj detayının, çerçeve sistemin dayanımı üzerine olan etkilerinin belirlenmesi ve tasarım sırasında levhanın yük taşıma kapasitesinin tahmin edilebilmesidir. Literatürde, levha uç bağlantı detayları ile ilgili sistem düzeyinde yapılmış bu tür bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu deneysel çalışmada, tekrarlı yatay yükler altında zorlanan çerçeve sistemin çekme etkisindeki diyagonalini temsil etmesi için çentikli betonarme kirişler deney elemanı olarak seçilmiştir. Betonarme kirişlerin çentiği, dolgu duvarları ile taşıyıcı sistem elemanları arasındaki kot farkını temsil etmektedir. Yapılan araştırmalar, ülkemizde onarım veya güçlendirmeye ihtiyaç duyan betonarme binaların çoğunda ortalama beton basınç dayanımının olması gerekenin çok altında(8 MPa civarında) olduğunu göstermiştir. Bu sebeple deney elemanlarının imalatında, 10 MPa basınç dayanımına sahip beton ve akma dayanımı 420 MPa olan ST-37 sınıfı nervürlü çelik kullanılmıştır.

Bu araştırmada, betona yapıştırılmış ve sadece eksenel çekme kuvveti etkisi altındaki çelik levhaların, betonarme çerçeveye bağlanması için kullanılan bağlantı detayı incelenmiştir. Bu maksatla, beton, donatı ve fiziksel ölçüleri birebir aynı özelliklerde üretilen toplam yedi adet deney elemanından bir adedi referans deney elemanı olarak ayrıldıktan sonra kalan altı adedi farklı uç bağlantıları kullanılarak çelik levhalar ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen deney elemanları hazırlanan deney düzeneğinde dört nokta yüklemesi etkisinde test edilerek çelik levha boyunca oluşan gerilme ve deformasyonlar yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Genellikle tasarım ve/veya uygulama aşamasında gerekli mühendislik hizmetini almadığı için yeterli dayanıma sahip olmayan betonarme yapıların onarımı veya güçlendirilmesi üzerine yapılan akademik çalışmalar tüm dünyada olduğu gibi deprem tehdidi altında yaşayan ülkemizde de önemini korumaya devam etmektedir.

Betonarme yapıların onarımı veya güçlendirilmesi ile ilgili yapılan bu çalışmalar, eleman (kolon, kiriş) ve taşıyıcı sistem düzeyinde (betonarme çerçeve) olmak üzere iki ana başlık adı altında incelenebilir.

Eleman düzeyinde yapılan güçlendirmeler, taşıyıcı yapı elemanın eksenel yük, moment veya kesme kuvveti taşıma kapasitelerinden herhangi birinin veya birkaçının artırılması işlemidir. Bu işlem genellikle betonarme kesitin artırılması, elemana yeni donatılı kesit eklenmesi ya da elemana çelik veya Lifli Polimer levha yapıştırılarak taşıma gücünün artırılması şeklinde yapılır.

Taşıyıcı sistem düzeyinde yapılan güçlendirmeler ise genelde yeterli dayanıma sahip olmayan hasar görmüş ya da deprem vb. dış etkiler karşısında hasar görmesi muhtemel yapıların çerçeve sisteminin sistem bazında depreme dayanıklı hale getirilmesi işlemidir. Taşıyıcı sistem düzeyinde yapılan güçlendirme çalışmalarında, genellikle çerçeve gözüne betonarme dolgu duvar ilave edilmesi veya çerçeve gözüne diyagonal doğrultuda çelik ankraj çubukların çakılması vb. uygulamalar tercih edilmektedir.

Bu çalışmanın da konusu olan çelik levhalar, homojen yapısı, yüksek malzeme dayanımı, süneklik düzeyinin yüksek oluşu, maliyetinin lifli polimer levhalara göre oldukça düşük olması ve kolay uygulanabilirliği gibi sebeplerden dolayı sıkça tercih edilen güçlendirme malzemelerinden biridir.

Literatürde, betonarme yapıların çelik levhalar ile güçlendirilmesi üzerine yapılmış olan temel çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmalar, eleman düzeyinde ve taşıcı sistem düzeyinde yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta toplanmıştır.

Birinci grupta(eleman düzeyinde) yapılan araştırmalarda, genellikle kiriş gövdesine çelik levhalar yapıştırılarak kirişin eksenel yük, moment veya kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin artırılması amaçlanmıştır.

Araştırmacılar Saadatmanesh ve Ehsani (1991), Almusallam ve Al-Salloum (2001), Arslan ve Sevuk (2006), kiriş gövdesine yapıştırılan çelik levhaların, kirişin eğilme rijitliğini önemli ölçüde artırdığını, çatlamayı ve açıklıkta ölçülen sehimi bütün yük seviyelerinde azalttığı ve eğilme dayanımına büyük katkı yaptığını rapor etmiştir.

MacDonald ve Calder (1982), çekme etkisindeki başlığına (flanşlara) çelik plaka yapıştırılarak güçlendirilen "T" kesitli kirişlerin davranışını incelemiştir. Yapılan inceleme, çekme başlığına yapıştırılan çelik levhanın, kirişin eğilme rijitliğini önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur.

Hamoush ve Ahmad (1990), sonlu eleman yöntemini kullanarak yüzeyler arası kesme gerilmelerine bağlı olarak çelik plakanın veya yapıştırıcı malzemenin yüzey ayrışması sonucu gerçekleşen göçmeyi kestirecek bir model geliştirmiştir.

Swamy vd. (1987), çelik levhalarla güçlendirilen betonarme kirişlerin ilk çatlak oluşumu, çatlakların gelişim, sehim, kullanılabilirlik ve dayanımını incelemiştir.

Çelik plakalar ile güçlendirilmiş betonarme kirişler üzerinde yapılan deneyler, en sık karşılaşılan göçme modunun, çelik plakanın yapıştırıldığı yüzeyden genellikle beton örtüsüyle beraber ayrılması şeklinde olduğunu göstermiştir. Gevrek bir kırılma olarak gerçekleşen bu göçme durumu ile çelik plakadan betonarme kirişe çekme gerilmeleri aktarılırken yüzeyler arasında büyük normal ve kesme gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür (Jones vd., 1982; Jones vd., 1988; Swamy vd., 1989; Oehlers, 1992; Hussain vd., 1995).

Yüzeyler arası gerilme geçişlerini incelemeye dönük birçok araştırma yapılmış ve farklı yaklaşık analitik modeller önerilmiştir (Smith ve Teng, 2001; Teng vd., 2002; Ye, 2001; Adhikary vd., 2000; Raoof vd., 2000).

Yapılmış olan çalışmaların birçoğunda, çelik levhalar için önerilen uç bağlantılarının levhadaki yükü kiriş uçlarına aktarmada yetersiz kaldığı ve ilerleyen yük aşamalarında levha ucunun kirişten aniden ayrılarak gevrek bir şekilde kırıldığı görülmüştür. Yapılan araştırmalarda, kiriş çekme yüzüne epoksiyle yapıştırılan çelik levhaların uç bağlantıları için basit ve uygulanabilir bazı detaylar (levha ucunun "L" ve "U" şeklinde bükülmüş levhalar ile kiriş ucuna ankrajlanması, çekme levhasının kiriş gövdesine ankrajlanması v.b.) geliştirilmiştir (Appleton ve Gomes, 1997; Goldar vd., 2005; Jumaat ve Alam, 2008; Aykaç ve Özbek, 2011).

İkinci grupta(taşıyı sistem düzeyinde) yapılan araştırmalarda ise, genellikle betonarme çerçeve sistemlerin dolgu duvarlarına diagonal doğrultuda LP levha veya çelik şeritler yapıştırılarak betonarme çerçeve sistemin yanal rijitliğinin ve yatay deprem yüklerine karşı dayanımının artırılması amaçlanmıştır.

Yanal deprem kuvvetlerine maruz çerçeve türü yapıların dolgu duvarlarında diagonal doğrultuda çekme ve basınç kuvvetleri oluşmaktadır. Geçmişte, betonarme yapıların güçlendirilmesi alanında LP veya çelik levhalarla yapılan araştırmalar, dolgu üzerine yapıştırılan malzeme ile çerçeve elemanları arasındaki bağlantı detayının, uygulamanın başarısını doğrudan etkilediği göstermiştir.

Altın vd. (2007), tarafından yapılan deneysel çalışmada, CFRP şeritler kullanılarak güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlanır yükler altında davranışları deneysel olarak incelenmiştir. İnceleme neticesinde, diyagonal doğrultuda uygulanan CFRP şeritlerin, tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yatay dayanım ve rijitliğini artırarak deney elemanlarının güçlendirilmesinde önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

Bayat (2011), LP levhaların betona ankrajlanmasında literatürde de yer bulan iki yöntem kullanılmış ve birbirine göre üstünlükleri ve sakıncaları araştırılmıştır. Deneysel çalışmada sabit moment bölgesinde çentiği olan betonarme kirişler kullanılmıştır. LP levhalar literatürde doğrudan ve fan ankraj olarak bilinen iki farklı yöntem ile kirişin çentiğine ankrajlanmış ve deney elemanları, yük taşıma kapasitesi, göçme biçimi, rijitliği ve enerji tüketimi bakımından incelenmiştir. Araştırmada incelenen diğer konu ise levha uçlarında kullanılan ankraj sayısıdır.

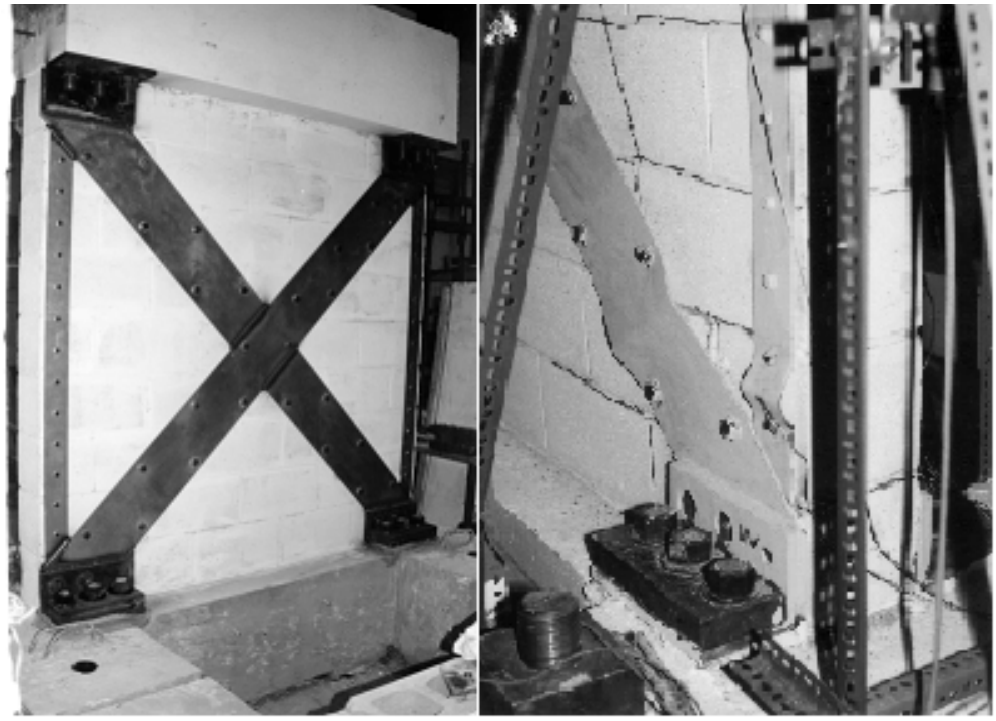
Deneysel çalışma sonucunda bir adet fan veya doğrudan ankraj kullanılmasıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ankraj sayısının artırılması durumunda ise doğrudan ankrajlı deney elemanlarında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Kopraman (2010), betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarı çelik şeritlerle güçlendirerek yapının sismik performansının iyileştirilmesini amaçlamıştır. Çelik şeritlerin betonarme çerçeveye bağlantı biçimleri, uygulanan çelik şerit deseni ve uygulama yönünün deney elemanlarının yatay yük kapasitesi, göçme biçimi, rijitliği ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Test sonuçları çelik şeritlerle güçlendirilen tuğla dolgu duvarın, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji tüketimini önemli oranlarda arttırdığını göstermiştir. Çalışma sonunda çelik levhalarla ilgili tasarım hesap ilkeleri geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bir deney elemanı Şekil 2.1.'de verilmiştir. Çelik levhalar tuğla dolguya çelik bulonlarla çerçeveye ise 18 mm çapında çelik ankrajlarla epoksi kullanılarak bağlanmıştır. Gerek çelik levhalar gerekse ankrajlar gereğinden büyük seçilmiştir. Uygulama oldukça başarılı olmuş ancak, çalışmanın amacı deney elemanının yatay yük taşıma kapasitesinin artırılması olduğundan, levha uç bağlantı detaylarının dayanım üzerindeki etkileri hakkında bir sonuca ulaşılmamıştır.



Şekil 2.1. Tipik çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney numunesi (Kopraman, 2010)

Benzer deneysel çalışma Taghdi vd. (1998) tarafından yapılmış ve elde edilen sonuçlar, çelik levhaların yığma yapıların güçlendirilmesindeki etkinliğini ortaya koymuştur. Çalışmada kullanılan deney elemanlarına ait görüntü Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Çelik levhalarla güçlendirilmiş yığma duvara ait deney numunesi (Taghdi vd., 1998)

Bu çalışmanın asıl amacı, çelik levhaların yığma yapıların güçlendirilmesindeki etkinliğinin araştırılması olduğundan, çelik levhaların sisteme bağlandığı bağlantı elemanları Resim 2.2'de de görüldüğü gibi gereğinden çok büyük seçilerek ankraj bölgesinde sorun yaşanması engellenmiştir.

Kuran (2006) tarafından, ağır hasarlı yığma yapıların çelik levhalarla rehabilitasyonu üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, düşey delikli tuğladan yapılmış üç boyutlu tek katlı yığma bir yapıya, sarsma tablasında hasar verildikten sonra hasarlı yapı dört farklı türde düzenlenerek düşey ve diagonal doğrultuda uygulanan çelik şeritlerle onarılmıştır. Onarılan deney elemanları sarsma tablasında yeniden teste tabi tutulmuştur.

Deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında, çelik şeritlerle rehabilitasyonun, dayanım, periyot, rijitlik, sönüm oranı ve enerji tüketimi üzerindeki etkileri değerlendirilerek onarım tekniğinin etkinliği araştırılmıştır. Uygulanan rehabilitasyon tekniği, aynı yatay kuvvetler altındaki çatlakların gelişimini önemli ölçüde sınırlamıştır. Yapıda, yükleme doğrultusunda taşıyıcı duvarlarda meydana gelen kesme çatlaklarının gelişimi ve göçme engellemiştir. Hasarlı yığma yapılar için geliştirilen bu güçlendirme tekniğinin yeterli deprem güvenliği bulunmayan yığma yapıların güçlendirilmesi için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, çelik levhaların betonarme yapıların güçlendirilmesinde etkin olarak kullanıldığı ancak, sünek davranış ile ilgili problemler yaşandığı görülmektedir. Ayrıca, çelik levhanın yük taşıma kapasitesi, levhanın kalınlığı, ankraj sayısı, ankraj çapı vb. değişkenler arasındaki ilişki üzerinde de durulmamıştır.

Bu çalışma ile betonarme çerçevelerin çelik levhalarla güçlendirilmesi uygulamalarında sıkça ortaya çıkan levha ucu ile ilgili bağlantı sorununun aşılması ve çerçeve sistemde dayanımın yanı sıra yeterli bir süneklik kapasitesine ulaşılarak çelik levhaların daha etkin ve verimli kullanılabilmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla, yedi adet deney elemanı(eksenel çekme etkisindeki çelik levhalar ile güçlendirilen, sabit moment bölgesi çentikli betonarme kirişler) hazırlanarak test edilmiştir.

3. DENEY ELEMANLARI ve YÖNTEM

3.1. Genel

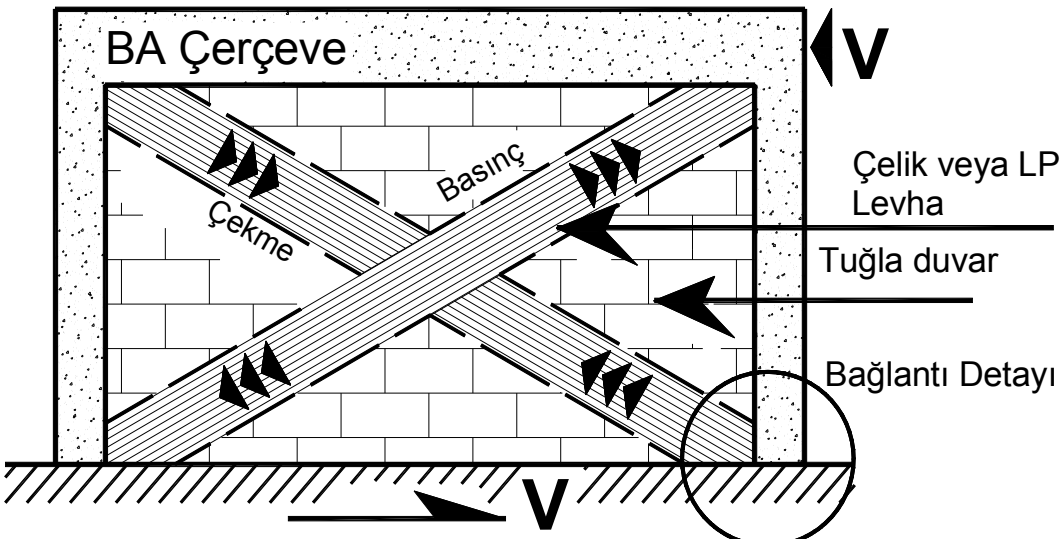
Çelik levhalar, sonradan mevcut betonarme yapılar üzerinde çok çeşitli gerekçelerle kullanılmaktadır. Bu gerekçelerden başlıcaları, taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitelerinin artırılması, yapı sisteminin güçlendirilmesi, hasar almış taşıyıcı elemanların veya yapı sisteminin onarılması olarak sıralanabilir. Bu kapsamda yapılan uygulamalar incelendiğinde, genellikle kolon-kiriş gibi taşıyıcı elemanlarda meydana gelen kesme veya eğilme kaynaklı hasarların onarılması veya bu elemanların kesme veya eğilmeye karşı dayanımlarının artırılmasının amaçlandığı görülecektir. Ayrıca sistem düzeyinde yapılan uygulamalar ise, tuğla dolgulu çerçeve sistemlerin kesme kuvveti dayanımlarının artırılması amacıyla, çerçeve gözündeki tuğla dolguya diyagonal olarak çelik levhaların yapıştırılmasıyla çerçevenin güçlendirilmesidir. Son yıllarda ise yapı sisteminde bulunan perde duvarların kesme ve eğilme kapasitelerinin artırılmasında gerek diyagonal gerekse farklı düzenlemelerde çelik levhalar kullanılmaktadır.

Betonarme yapıların onarımı veya güçlendirilmesi konusu dünyada olduğu gibi ülkemizde de güncelliğini korumaya devam etmektedir. Depreme dayanıklı olmayan betonarme yapıların depreme karşı etkin, kolay ve ekonomik çözümlerle güçlendirilmesi son derece önemlidir. Bu amaçla uygulanan bazı yöntemler;

- Çerçeve gözünde bulunan tuğla duvarın yıkılarak, yerine betonarme dolgu duvarı yapılması,
- Çerçeve gözünde bulunan tuğla duvara karbon lifli elyaflar yapıştırılması,
- Çerçeve gözünde bulunan tuğla duvara, ön üretimli beton bloklardan oluşan katman ilave edilmesi,
- Çerçeve gözündeki tuğla dolguya donatı ilave edilerek üzerine püskürtme betondan oluşan bir katman eklenmesi,
- Dolgu duvar üzerine çelik levhalar yapıştırılması olarak sıralanabilir.

Yukarıda özetlenen yöntemler ile geçmişte yapılan uygulamaların hepsinde, betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi belirgin şekilde artırılmıştır. Ancak uygulanan yöntemlerin tamamından elde edilen ortak sonuç dikkat çekicidir. Çalışmalara göre yapılacak uygulamanın başarısı, doğrudan sisteme ilave edilen güçlendirme malzemesinin mevcut betonarme yapıya başarılı şekilde bağlanmasıyla doğru orantılıdır. Özellikle dolgu üzerine diyagonal doğrultuda yapıştırılan çelik veya lifli polimer malzemelerin kalınlığı diğer boyutlarına göre çok küçük olduğundan tasarım aşamasında malzemelerin teorik olarak basınç kuvveti taşımadıkları kabul edilir. Bu nedenle malzemeler depremi benzeştiren tersine tekrarlanan yük çevrimlerinde, daima çekme kuvveti etkisinde kalmaktadır.

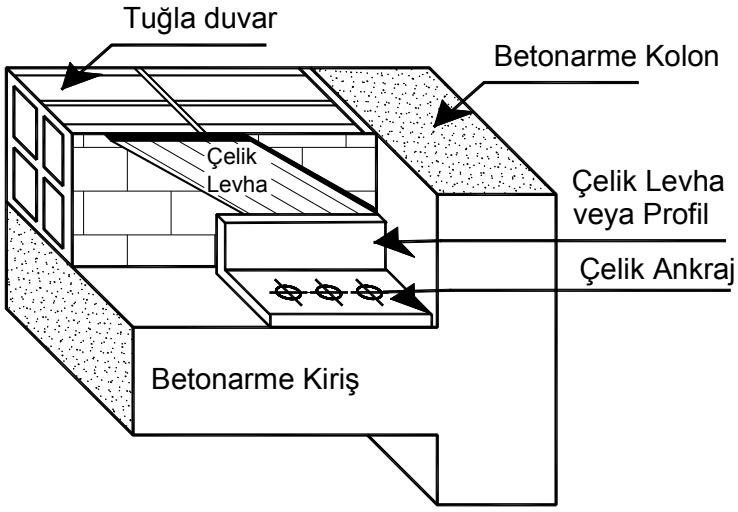
Şekil 3.1'de Betonarme çerçeveye sağdan etkiyen deprem kuvveti temsili olarak gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tuğla dolgu duvar üzerine yapıştırılan çelik veya lifli polimer levhalar bir doğrultuda basınç kuvveti etkisinde, diğer doğrultuda ise çekme kuvveti etkisinde kalmaktadır. Tuğla dolgu duvarın dayanımının, yüksek dayanımlı çelik veya lifli polimer malzeme ile karşılaştırılamayacak düzeyde olduğu bilinmektedir. Bu nedenle yüklemenin ilk adımlarında levhalar tuğla dolgudan ayrılmaktadır. Dolayısıyla uygulamanın başarısı, doğrudan levhanın çerçeve elemanlarına bağlanmasındaki başarı ile ilgili olmaktadır.



Şekil 3.1. Tuğla dolgulu çerçevenin güçlendirilmesi

Geçmişte çelik malzeme ile yapılan güçlendirme/onarım çalışmalarının neredeyse tamamında tespit edilen göçme şekilleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde, levhalarda basınç kuvveti kaynaklı burkulmaların göçmede belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Ancak, yukarıda açıklandığı gibi tasarımcının çelik levhanın basınç dayanımını göz önüne alması tartışılabilecek bir konudur. Yapılan çalışmalarda, deney elemanlarının dayanımlarındaki artış oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Basınç kuvvetlerinin göçme şeklinde, etkili olması kullanılan levha kalınlığının dolgu duvarına göre büyük ölçekte seçilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Örneğin 80 mm kalınlığında bir tuğla dolguya 5 mm kalınlığında levha yapıştırılması, deney elemanının dayanım olarak çok büyük değerlere çıkılmasına neden olmaktadır.

Literatürde yaygın olarak yer bulan çelik levha ile güçlendirme uygulamasının temsili detay çizimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Uygulamanın başarısı çekme etkisinin şekilde gösterilen ankrajlar tarafından taşınabilmesine bağlıdır. Benzer çalışmalarda 1/3 geometrik ölçekli çerçevelerin kolon ve kiriş elemanlarına, levhaların bağlanmasında çok büyük ankrajlar kullanılmaktadır. Bu nedenle gerek çekme etkisindeki levhanın akması, gerekse ankrajların göçmesi, deney elemanının göçmesinde etkili olamamakta, göçme basınç kuvvetleri etkisinde gerçekleşmektedir. Benzer gerekçelerle çekme etkisindeki levhada akma yaşanmamakta, bu durum süneklik düzeyini ve davranış grafiğini olumsuz etkilemektedir.

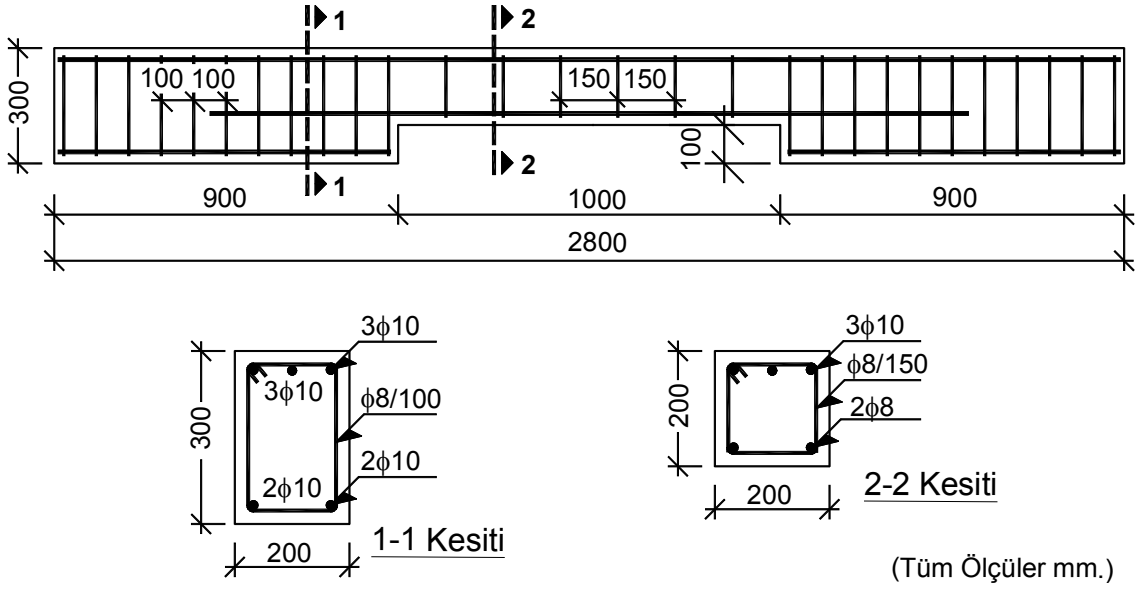


Şekil 3.2. Tuğla dolgulu çerçevelerin çelik levha ile güçlendirilmesi detayı

Bu araştırmada, yukarıda açıklandığı gibi çekme kuvveti etkisinde bulunan çelik levhaların uç bölgelerinden betona çelik ankrajla bağlanması araştırılmıştır. Temel amaç ise tasarımcılara hangi tür bağlantının başarılı olduğu, levhanın veya ankrajın hangi yük düzeyi için kullanılacağının belirtilebilmesidir.

3.2. Deney Elemanları ve Deneysel Değişkenler

Bu çalışmada, çekme kuvveti etkisindeki çelik levhaların uç bölgesinden betona ankrajla bağlanması deneysel olarak araştırılmıştır. Çelik levhaların teorik olarak basınç kuvveti etkisinde yük taşımadıkları kabul edilmektedir. Bu nedenle, deprem kuvvetlerine benzeyen tersinir yükleme etkisindeki diyagonal levhalar, çekme kuvvetine maruz kalmaktadırlar. Çalışmamızda, Şekil 3.2'de verilen bağlantıya benzeştirilmesi amacıyla çekme bölgesinde 100 mm derinliğinde çentiği olan kirişler deney elemanı olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak kiriş deney elemanının geometrik özellikleri ve donatı detayı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Kiriş deney elemanının geometrisi ve donatı özellikleri

Kiriş deney elemanının ortasında 100 mm derinliğinde, 1000 mm uzunluğunda ve simetrik bir çentik bulunmaktadır. Kiriş kesiti, çentik bölgesinde 200 x 200 mm, çentiğin dışında ise 200 x 300 mm boyutlarındadır. Çentik dışındaki bölüm 100 mm

aralıklı ϕ8 mm çapında nervürlü donatıdan üretilmiş etriyelerle sargılanmıştır. Kiriş deney elemanında basınç donatısı olarak üç adet ϕ10 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Çentik bölgesinde ani bir göçmeyi engellemek amacıyla iki adet ϕ8 mm çapında çekme donatısı, çentik bölgesi dışında ise üç adet ϕ10 mm çapında nervürlü çekme donatısı kullanılmıştır.

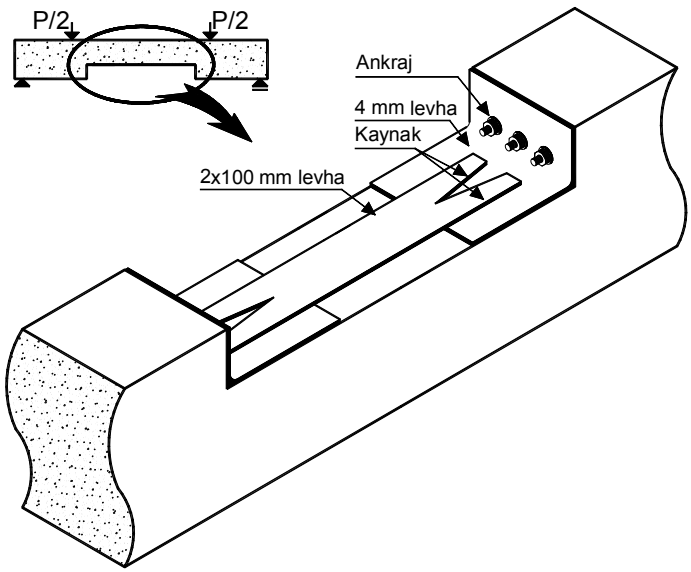
Deney düzeneği, deney elemanı kirişlerin çentik bölgesi sabit moment bölgesinde kalacak şekilde tasarlanmıştır. 100 mm derinliğindeki çentik kenarları ise, Şekil 3.2'de görülen geometriyi benzeştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Çentik bölgesine yapıştırılan çelik levha farklı tekniklerle betona bağlanmıştır. Levha, 2 mm kalınlığında, 100 mm genişliğinde ve ST-37 sınıfında çelik malzemeden tasarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan deney elemanlarının beton dayanımının 10 MPa düzeyinde olması amaçlanmıştır. Böylece donatılı ve düşük dayanımlı betona yapılacak ankrajın başarısı sorgulanmıştır. Çelik levhalar, uç bölgesinden 1000 mm boyundaki çentiğe yapıştırılmış ve geçmişte yapılan çalışmalar da göz önüne alınarak ilave bazı önlemlerle ankrajlanmıştır.

Bu araştırmada kullanılan değişkenler;

- Çelik levhanın uçlarında kullanılan bağlantı detayının geometrisi,
- Çelik levha uçlarındaki ankraj sayısıdır.

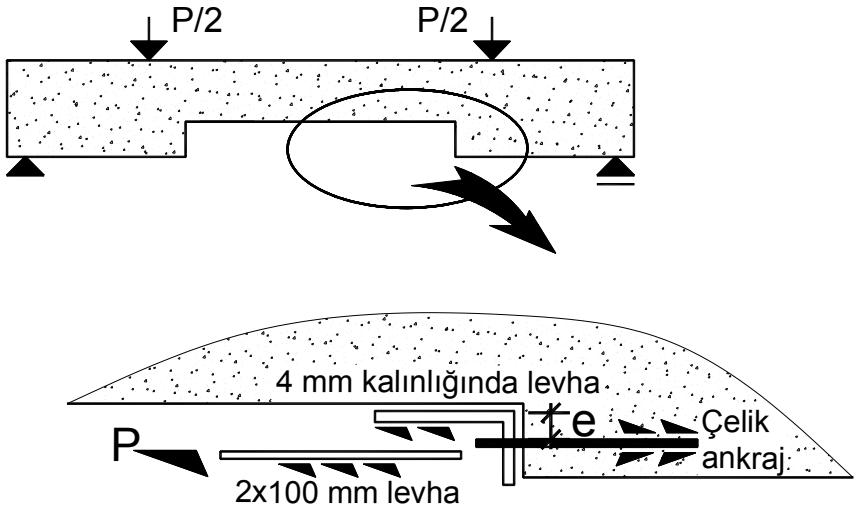
Çelik Levhaların Uçlarında Kullanılacak Bağlantı Detayı

Çelik levha çentik boyunca düzgün formda yapıştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı 2mm kalınlığında 100mm genişliğinde çelik levhanın akmasını sağlayacak şekilde bağlantını yapılmasıdır. Mevcut çalışmalarda çelik levha ucunda yükün aktarılması ve ankraj yapılacak alanın genişletilmesi amacıyla L harfi formuna sokulmuş levha veya L profil kullanılmaktadır. Bu amaçla deney elemanlarında, çelik levha ucunda 4 mm kalınlığında 200 mm genişliğinde St37 sınıfında çelik levha kullanılmıştır. Levha genişliği kiriş genişliği temel alınarak belirlenmiştir. İlave edilen bükülmüş levha ise çentik kenarına çelik ankrajlar kullanılarak bağlanmıştır. Deney elemanlarında kullanılan bağlantı detayı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Deney elemanlarında kullanılan bağlantı detayı

Şekilden anlaşıldığı gibi çekme kuvveti etkisindeki levha, kuvveti kaynaklı birleşimle başlık levhasına aktarmaktadır. Kaynak boyunun artırılması amacıyla levha ucuna V harfi şekli verilmiştir. 4 mm kalınlığındaki başlık levhası ise çelik ankrajlarla kuvveti betonarme elemana iletmektedir. Geçmişte yapılan çalışmalarda başlık levhası beklenmeyen bir göçmenin olmaması için oldukça büyük seçilmiştir. Çelik levha ile ankraj çubukları arasında bir dışmerkezlik ortaya çıkmaktadır. Bu dış merkezlik başlık levhasının ankrajla birleştiği arakesitte büyük momentlere neden olmaktadır. Yapılan uygulamalarda gerçekleşen yük aktarımı Şekil 3.5'de verilmiştir.



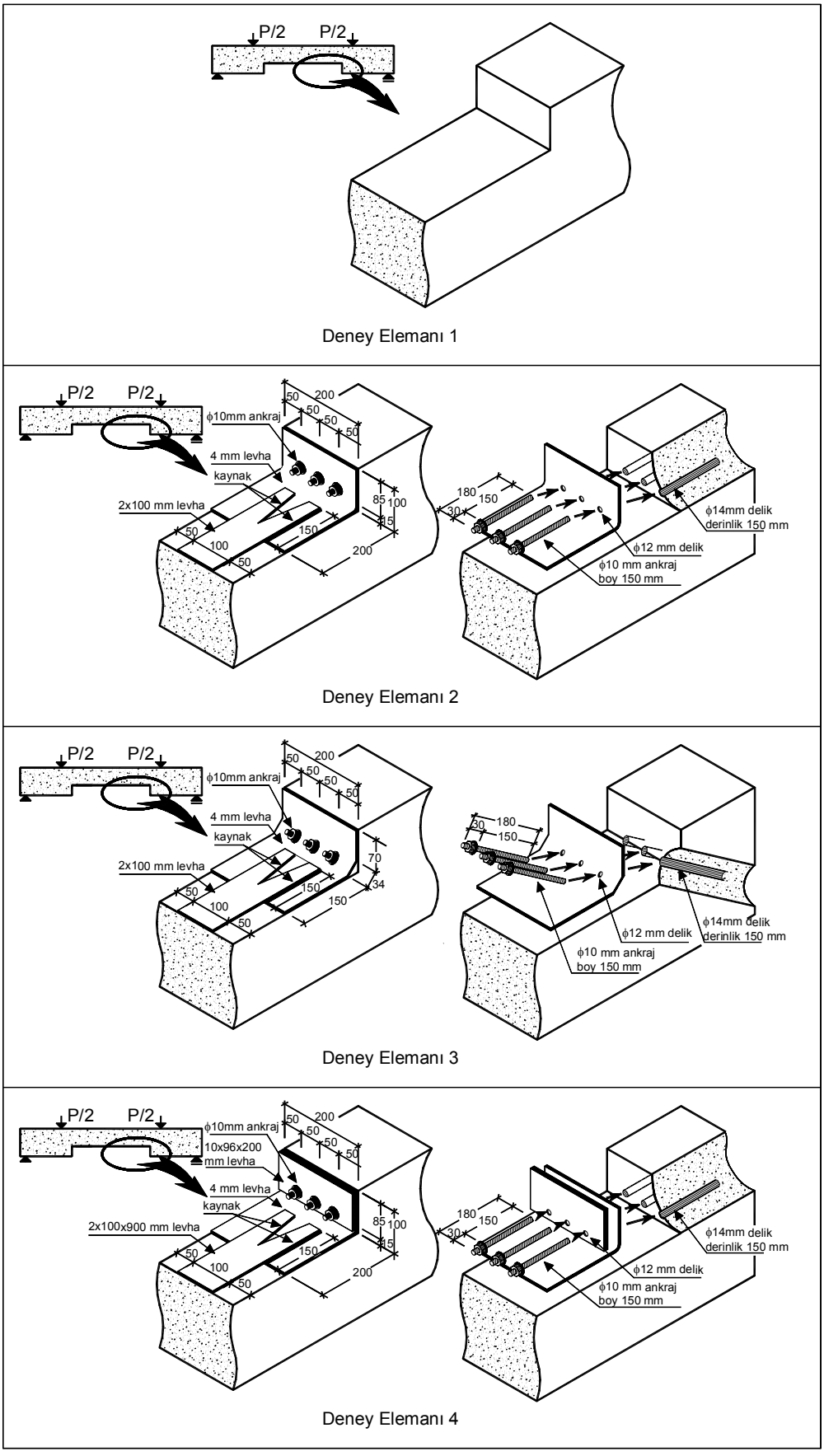
Şekil 3.5. Çelik levhadan ankraja yük aktarılması

Şekil 3.5'de görüldüğü gibi levha doğrultusunda olan P kuvveti, kaynaklı bağlantı ile 4 mm kalınlığındaki başlık levhasına aktarılmaktadır. Kaynak boyunun artırılması amacıyla çelik levhanın uç bölgesine, 40 mm genişliğinde 100 mm yüksekliğinde üçgen formu verilmiştir. Başlık levhası ise betona epoksi ile sabitlenmiş, çelik bulonlarla bağlanmıştır. Bulonların bağlantısında minimum düzeyde olmasına rağmen şekilde *e* harfiyle gösterilen eksantiriste ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle başlık levhasının ankrajla birleştiği bölgede ***P*** kuvvetine ilave olarak ***M=P***x***e*** kadar bir moment oluşmaktadır. Bu nedenle geçmişte yapılan çalışmalarda başlık levhası olarak büyük levhalar veya profiller kullanılmıştır. Levhanın betona bağlanmasında kullanılan çelik ankrajlara çekme testi uygulanmıştır. Deney elemanlarında ϕ10 mm vida dişi olan çelik bulonlar kullanılmıştır.

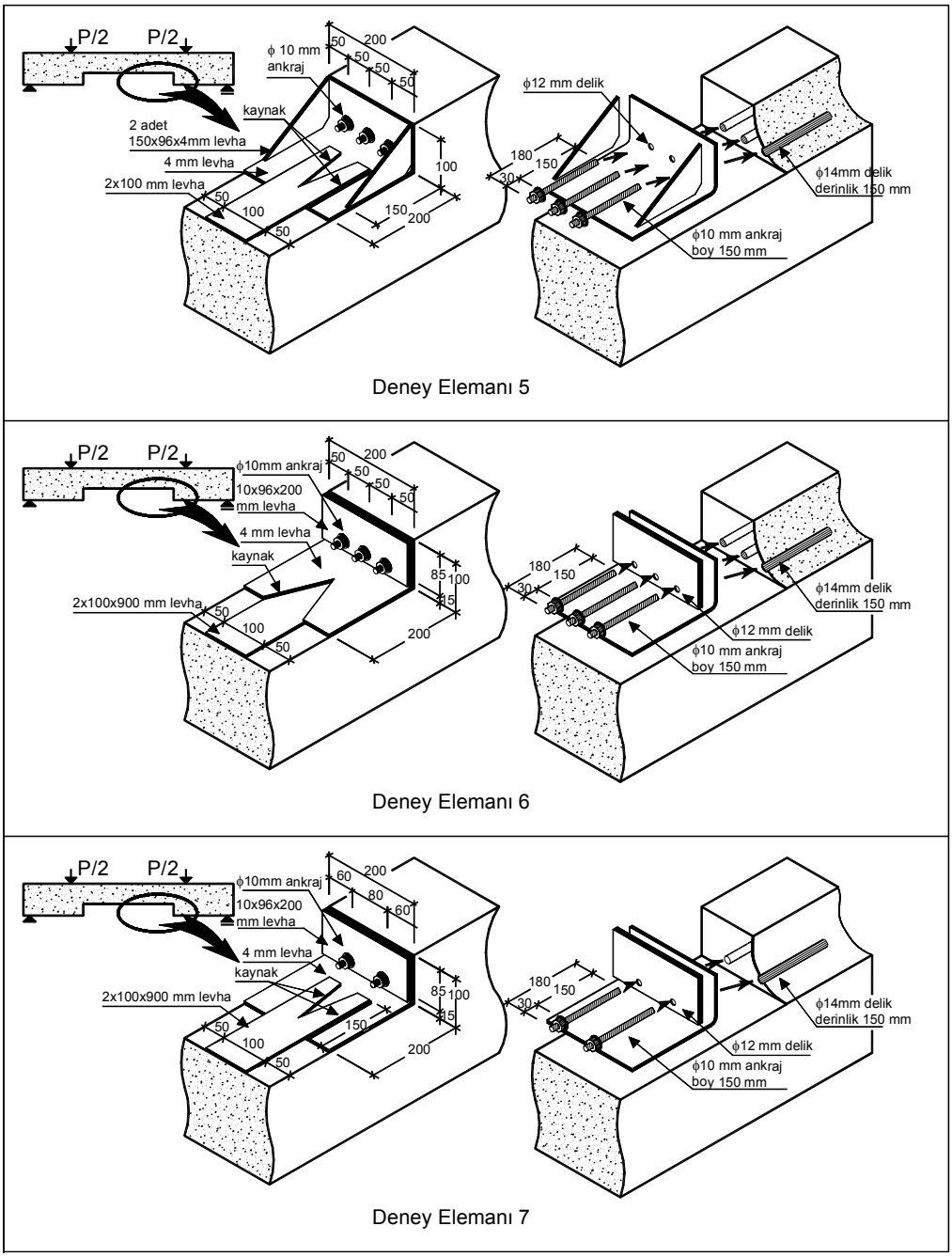
Bu çalışmanın amacı çentik boyunca yapıştırılan, 2mm kalınlığında 100 mm genişliğinde levhanın akmasını sağlayacak en uygun bağlantı detayının belirlenmesidir.

Deney Elemanları

Deney programında 7 adet deney elemanı kullanılmıştır. Deney Elemanı-1 uygulama yapılmamış kontrol deney elemanıdır. Çelik levha yapıştırılan deney elemanlarının davranışının yorumlanması amacıyla üretilmiştir. Deney Elemanı-2'de çelik levha 4 mm kalınlığında başlık levhasına kaynakla birleştirilmiş ve uç bölgesinde 50 mm aralıklı üç adet çelik ankrajla bağlanmıştır. Ankrajlar delicinin yaklaşmaması nedeniyle 15 mm ekzantriste olacak şekilde uygulanmıştır. Deney elemanlarının geometrileri Şekil 3.6'da özetlenmiştir. Çelik levha ile güçlendirme uygulamalarında ortaya çıkan ekzantristenin ortadan kalkması amacıyla köşeye uygulanmaktadır. Ancak delicinin yaklaşmaması nedeniyle deliğin açılı olarak kullanılması durumu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla Deney Elemanı-3'de ankrajlar Deney Elemanı-2'ye göre 45 derece eğimle uygulanmıştır. Deney Elemanı–2 ve 3'ün testlerinden sonra başlık levhası ile bulonların birleştiği bölgenin daha kuvvetli yapılması gerekliği ortaya çıkmıştır. bu durum göz önüne alınarak deney programı planlanmıştır.



Şekil 3.6. Deney elemanları ve deneysel değişkenler



Şekil 3.6. Deney elemanları ve deneysel değişkenler (devam)

Deney Elemanı-4, başlık levhasında levha eksenine paralel, üç ankraj kullanılmıştır. Ancak başlık levhasıyla bulonların arasına bölgeyi güçlendirmek amacıyla 10 mm kalınlığında ilave bir levha kullanılmıştır. Saatçioğlu'nun çalışmasında daha kalın bir levha aynı amaçla kullanılmıştır. Böylece levhanın dönüş yaptığı yüzey ile bulonlar arasında ortaya çıkan ekzantristenin olumsuz etkisinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Deney Elemanı-5'de ise Deney Elemanı-4'ün tasarım ilkesi kullanılmış, ekzantristenin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla dik üçken formunda çelik

nervürler başlık levhasına kaynakla birleştirilmişlerdir. Tasarlanan 5 deney elamanında da uygulama tekniği aynıdır. İlk önce başlık levhası yapıştırılmıştır. Başlık levhasından sonra 2x100 mm boyutlarındaki şerit 4 mm kalınlığında epoksi üzerine yapıştırılmıştır. Daha sonra çelik şerit ile başlık levhası birbirine kaynakla birleştirilmiştir. Bu uygulamada ortaya çıkan yük aktarımı Şekil 3.5'de verilmişti. Ancak uygulamada çelik şerit ilk önce yapıştırılmaktadır. Bu durum düğüm noktasında oluşan ekzantristeyi büyütmektedir. Bu durumun incelebilmesi amacıyla Deney Elemanı-6'da çelik levha başlık levhasının altına alınmıştır. Başlık levhası ise kaynak boyunun yeterli olabilmesi için V harfi şeklinde kesilmiştir. Diğer bütün özellikleri Deney Elemanı-4 ile aynıdır. Deney elemanlarında üç adet 10 mm çapında ankraj kullanılmıştır. Ankraj çapı ve sayısı, çelik levhanın akmasını sağlayacak yük düzeyi ve kiriş genişliği gözetilerek belirlenmiştir. Deney Elemanı-7'de ise bu durum ihmal edilmiş, Deney Elemanı-4'de kullanılan bağlantıdan farklı olarak iki ankraj kullanılmıştır.

Bu çalışmada deney programı 2x100 mm kalınlığındaki levhanın akmasını sağlayacak bağlantı detayının ortaya konulması amaçlanarak belirlenmiştir.

3.3. Malzemeler

Deney elemanlarında kullanılan çelik ankrajlar

Deneysel çalışmada çentik bölgesine 2 mm kalınlığında ST-37 sınıfında çelik levha yapıştırılmıştır. Levha uç bölgesinde ise çelik ankrajlarla çentik kenarlarına bağlanmıştır. Bağlantıda kullanılacak ankrajlar çekme testi yapılarak belirlenmiştir. 8,10,12 mm çapında vida dişi olan çelik çubuklar 150 mm ve 200 mm gömülme boyunda ankraj epoksisi ile donatılı betona bağlanmıştır. Kullanılan betonun sınıfı, deney elemanlarında kullanılan betonun sınıfıyla aynı olarak üretilmiştir. Her çubuktan iki adet deney yapılmıştır. Kullanılan delik çapı ankraj çubuğu çapından 4 mm fazla olacak şekilde seçilmiştir. Örneğin 12 mm çapında çubuk için 16 mm çapında delik açılmıştır. Ankraj çubuklarının testlerinde sadece uygulanan yük kaydedilmiştir. Yükleme sabit hızla yapılmıştır. Dolayısıyla akma anı yükün sabitlendiği sırada tespit edilebilmiştir. Çekip çıkarma deney düzeneği Şekil 3.7-a'da verilmiştir. Epoksi uygulamasına hazırlanmış delik ve ankraj çubuğu ise Şekil 3.7-b'de ve testin sonunda kopmuş ankraj çubuğu ise Şekil 3.7-c'de verilmiştir.

Çekip çıkarma deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgede gömülme derinliğinin 150 mm veya 200 mm olması sonucu değiştirmemiştir. Çubuklar aynı yük düzeyinde kopmuşlardır. Sıyrılma veya konik olarak betondan çıkma gibi bir göçme gözlenmemiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 3.7. Ankraj çubuklarlı ve deney düzeni

Çizelge 3.1. Çekip çıkarma deneyleri sonuçları

Ankraj Çapı (mm)	Akma Yükü (kN)	Kopma Yükü (kN)	Akma Dayanımı (fsy, MPa)	Kopma Dayanımı (fsu, MPa)
8	21	23	418	458
10	34	36	433	459
12	51	53	450	469

Deney elemanlarında 10 mm çapında çelik bulonlar kullanılmıştır. Gömülme boyu ise 150 mm olarak belirlenmiştir. Ankrajların uygulanacağı delik çapı ise 14 mm olarak belirlenmiştir.

Deney elemanlarında kullanılan çelik levha

Deneylerde kullanılacak 2 mm kalınlığındaki levha 10 mm genişliğinde 100 mm boyunda şeritler halinde kesilmiş ve iki ucuna donatı çubukları kaynakla bağlanmıştır. Şeritler çelik çekme makinesinde test edilerek dayanımı belirlenmiştir.

Teste hazırlanmış levha ve test düzeneği Şekil 3.8.'de verilmiştir. Şekilde test sonunda kopan deney elemanının da görüntüsü verilmiştir. Çelik levhalardan üç adet deney yapılmıştır. Deneyler sonunda levhalar ortalama 41 kN yük düzeyinde akmış ve 58 kN yük düzeyinde ise kopmuştur. Sonuç olarak levhanın akma dayanımı 205 MPa, kopma dayanımı ise 290 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.8. Çelik levhaların çekme deneyleri

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatı

Deney elemanlarının üretiminde iki farklı çapta BÇ III sınıfında demir donatı kullanılmıştır. 8 mm ve 10 mm çapında olan donatı çubuklarının çekme testleri yapılmıştır. Donatıların akma ve kopma dayanımları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Donatı çubuklarının mekanik özellikleri

Ankraj Çapı (mm)	Akma Dayanımı (fsy, MPa)	Kopma Dayanımı (fsu, MPa)
8 (BÇ III)	572	683
10 (BÇ III	420	686

Deney Elemanlarında Kullanılan Beton

Güçlendirilmeye ihtiyacı olan yapılarda karşılaşılan birinci kusur beton dayanımının düşük olmasıdır. Deney elemanlarında kullanılacak beton bu durum göz önüne alınarak

tasarlanmıştır. Bu nedenle deney elemanlarında dayanımı ortalama 10-12 MPa olan kalitesiz olarak sınıflandırılabilecek beton kullanılmıştır.

Kullanılan betonun karışım oranları Çizelge 3.3'de verilmiştir. Bu amaçla karışımda kullanılan 0-7 mm çapında kum ve 7-15 mm çapında çakıl %50 oranında kullanılmıştır. 1 m^3 karışımda 200 kg çimento kullanılmıştır. Su/çimento oranı ise 0,60 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Beton karışım oranı (1 m^3 beton için)

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

Epoksi

Çelik levhaların yapıştırılmasında ve ankrajlarda iki bileşenli epoksi (YKS CONCRESİVE 1406) kullanılmıştır. Kullanılan epoksi reçinesinin mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Epoksi reçinesinin mekanik özellikleri

Karışım yoğunluğu (kg/litre)	1.7 $\pm$ 0,05
Basınç Dayanımı (MPa, 1 Gün) Basınç Dayanımı (MPa, 7 Gün)	30 70
Eğilme Dayanımı (MPa, 1 Gün) Eğilme Dayanımı (MPa, 7 Gün)	17 25
Yapışma Dayanımı 28 gün (Betona) Yapışma Dayanımı 28 gün (Çeliğe)	3 3,5
Uygulama Kalınlığı (mm Maksimum) Uygulama Kalınlığı (mm Minimum)	30 2

3.4. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deneysel çalışma kapsamında 7 adet deney elemanı üretilmiştir. Beton üretimi Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yapı Mekaniği Laboratuarı'nda yapılmıştır.
Beton dökümünde ahşap kalıp kullanılmıştır. Beton dökümünden önce kalıp yüzeyleri yağlanmıştır. Beton kalıp içinde vibratör kullanılarak yerleştirilmiştir. Beton dökümü tamamlanan deney elemanı laboratuar ortamında 28 gün bekletilmiş ve bu sırada kür uygulanmıştır. Beton dökümüne hazırlanmış deney elemanının laboratuar ortamındaki görüntüsü Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney elemanlarının betonlarının dökülmesi

Betonun pirizini tamamladığı deney elemanlarında çelik levha uygulamasına geçilmiştir. Deney elemanında çelik levhaların yapıştırılacağı yüzeyler, çimento şerbeti temizlenip agrega ortaya çıkana kadar tel fırça ile silinmiştir. Daha sonra yapıştırılacak çelik levhalar kestirilmiş ve büktürülmüştür. Kiriş elemanına 14 mm çapında 150 mm derinliğinde delikler matkapla açılmıştır. Uygulanacak ankraj çubukları kesilmiş ve hazırlanmıştır. Açılan delikler hava ile temizlenmiştir. Uygulamaya hazırlanmış deney elemanının görüntüsü Şekil 3.10'da verilmiştir. Hazırlığı yapılan deney elemanında ankraj deliklerine epoksi doldurulmuştur. Daha sonra ise çelik levhanın geldiği bölümlere boşluk kalmayacak şekilde, en az iki mm kalınlığında epoksi sürülmüştür. Epoksi uygulaması yapılmış deney elemanının fotoğrafı Şekil 3.11'de verilmiştir. Daha sonra ilk önce başlık levhası daha sonra ise çelik şerit yapıştırılmıştır. Epoksiye bulanmış çelik ankrajlar ise epoksi ile doldurulmuş deliklere yerleştirilmiştir. Daha

sonra çelik bulonların sıkılabilmesi amacıyla ankraj başları bantlanmıştır. Çelik levhaların üzerine basınç uygulanması amacıyla beton numuneler konulmuştur.

Deney elemanı 7 gün epoksinin priz alması amacıyla bekletilmiştir (Şekil 3.12). Epoksinin prizini aldığı deney elemanında çelik şerit ile başlık levhası birbirine kaynakla birleştirilmiştir. Kaynak boyunun artırılması mamacıyla çelik levha 100 mm derinliğinde ve 40 mm genişliğinde V harfi formunda açılmıştır. Böylece göçme sırasında birleşimin hasar almaması amaçlanmıştır. Kaynak uygulaması sırasında ısının yükselmesine engel olmak gerekmektedir. Aksi halde epoksi ısı nedeniyle alevlenmektedir. Kaynak uygulaması tamamlanan deney elemanında çelik ankrajların başlarına yapıştırılan koruyucu bantlar çıkarılmış ve çelik bulonlar sıkılmıştır. Uygulaması biten deney elemanlarının görüntüsü Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Uygulamaya hazırlanmış deney elemanı



Şekil 3.11. Epoksinin yüzeye uygulanması



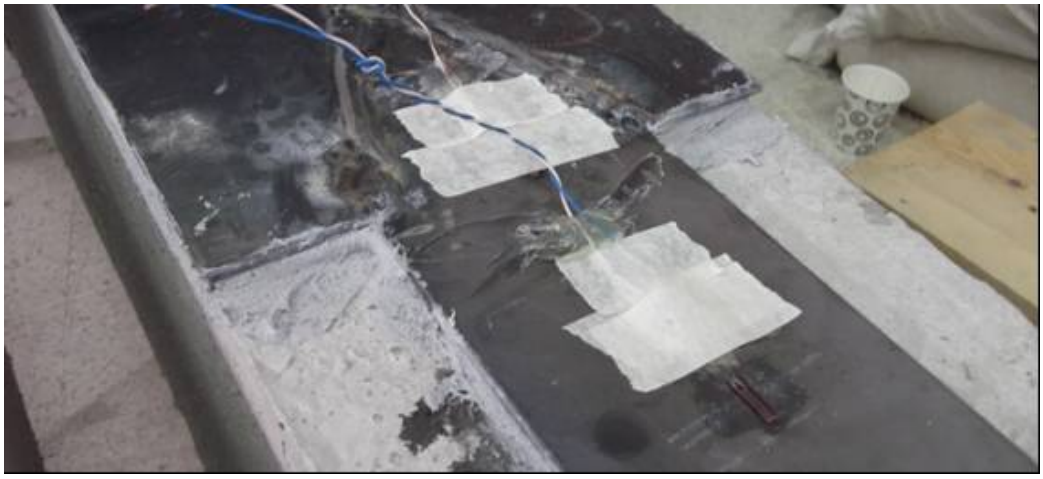
Şekil 3.12. Epoksinin prizini alması



Şekil 3.13. Uygulaması bitmiş deney elemanı (Deney Elemanı-7, Deney Elemanı-8)

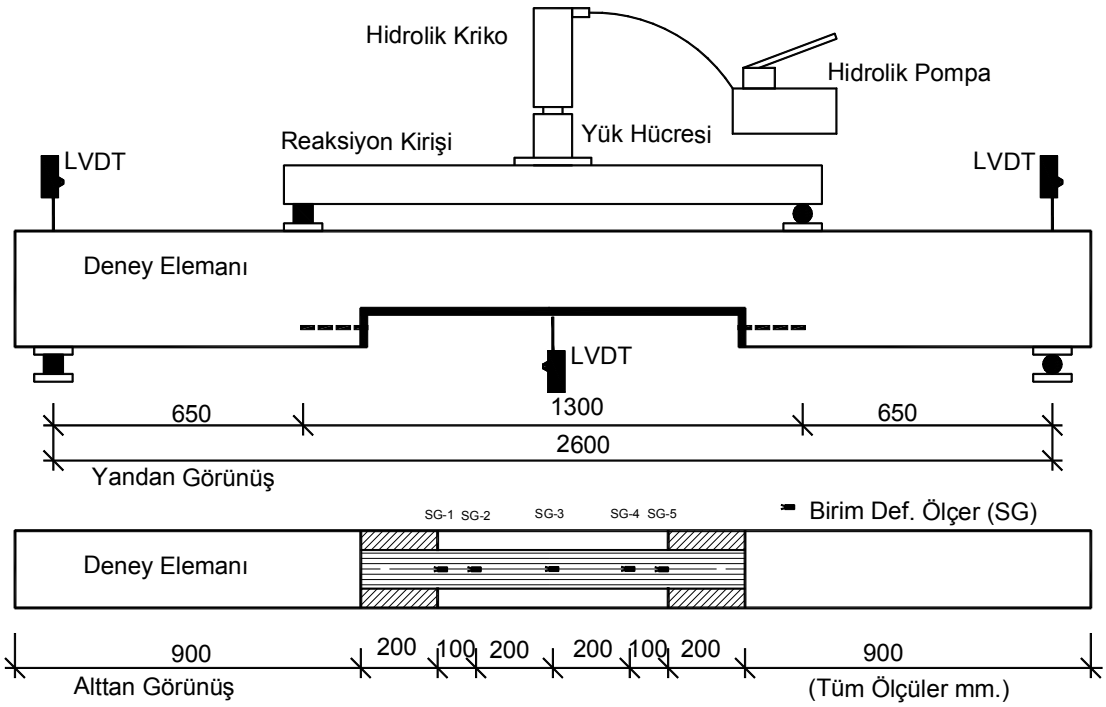
3.5. Deney ve Ölçüm Düzeni

Deneysel araştırma Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuarları'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. Böylece ankrajlar dahil olmak üzere uygulama yapılan bölgede, kesme kuvvetini olmaması ve sadece momentin olması sağlanmıştır. Yükleme 500 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ve el kumandalı hidrolik pompa aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yük 100 kN kapasiteli bir yük hücresiyle ölçülmüştür. Deney elemanlarına yükleme her çevrimde 0.5 kN artırılarak tekrarlı şekilde uygulanmıştır. Böylece güçlendirme uygulamalarında kullanılan levhanın 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, çelik levha üzerine 5 adet birim deformasyon ölçer yapıştırılmıştır. Birim deformasyon ölçerlerin yerleştirilmesinde levhanın beklenen göçme şekline dikkat edilmiştir. Bu nedenle iki birim deformasyon ölçer levha uçlarına daha yakın bölgelere yapıştırılmıştır. Deney elemanlarına yapıştırılan birim deformasyon ölçerler Şekil 3.14'de görülmektedir. 120 Ohm direnci olan 100 mm boyundaki birim deformasyon ölçerlerin kökleri metal ile kısa devre yapmamamsı için izole edilmiştir.



Şekil 3.14. Uygulaması tamamlanmış birim deformasyon ölçer

Deneylere kullanılan yükleme ve ölçüm düzeninin detayları Şekil 3.15'de verilmiştir. Teste hazırlanmış deney elemanının laboratuar ortamındaki görüntüsü Şekil 3.16'da verilmiştir. Deneylerde veri 16 kanallı bir veri toplama ünitesi aracılığıyla bilgisayar ortamında kaydedilmiştir. Kayıtlar 1 saniyede 4 veri alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.15. Deney ve ölçüm düzeni



Şekil 3.16. Teste hazırlanmış deney elemanının laboratuar ortamındaki görüntüsü

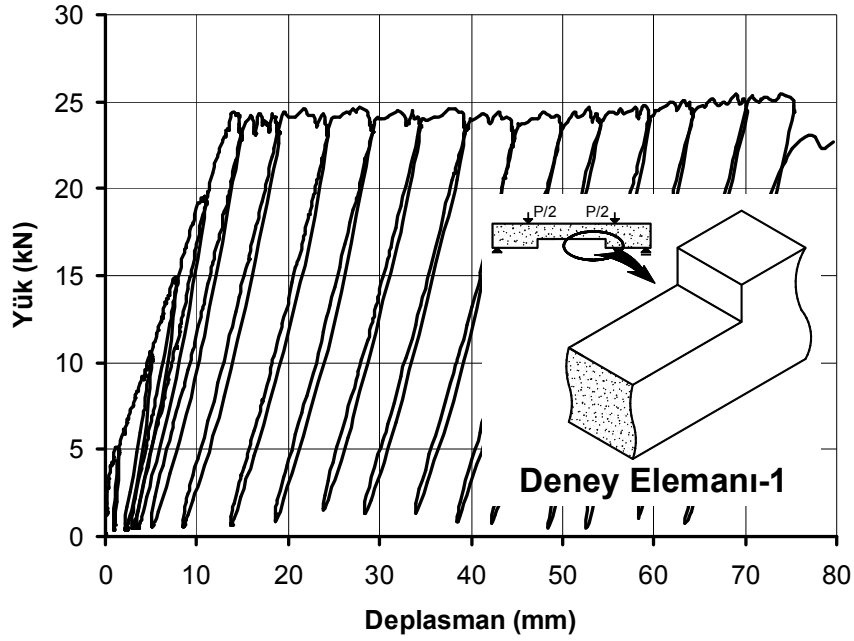
4. DENEYLER

Bu bölümde deney elemanlarının testleri anlatılmıştır. Yükleme her çevrimde 0,5 kN artırılarak gerçekleştirilmiştir. Deney elemanının rijitliğinde önemli oranda bir değişiklik olana kadar teste yük kontrollü, rijitlik değişiminden sonra ise her çevrimde 5 mm artırımla deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

Deney Elemanı-1 :

Deney Elemanı tanımı : Kontrol deney elemanı (fc=11 MPa)
Deney tarihi : 03.05.2011

Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük deplasman grafiği Şekil 4.1.'de verilmiştir. İkinci çevrimde 5 kN yük düzeyinde, çentik bölgesinde ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. 20 kN yük düzeyine kadar deney elemanında çok sayıda eğilme çatlağı oluşmuştur (Şekil 4.2.). 5. Çevrimde 24 kN yük düzeyinde deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. Çekme donatısının aktığı belirlenmiştir. Bu yük düzeyinde deplasman 14 mm olarak ölçülmüştür. Daha sonra her çevrimde, deplasman 5 mm artırılarak teste devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yük çevrimlerinde deney elemanının görüntüsü Şekil 4.3.'de verilmiştir. 18. Çevrimde 77 mm deplasmanda, basınç bölgesinde betonun ezilmesiyle deney elemanı göçmüştür (Şekil 4.4.).



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



Şekil 4.2. 20 kN yük düzeyi (Deney Elemanı–1.)



Şekil 4.3. Deplasman kontrollü yük çevriminde çentik bölgesi (Deney Elemanı–1.)



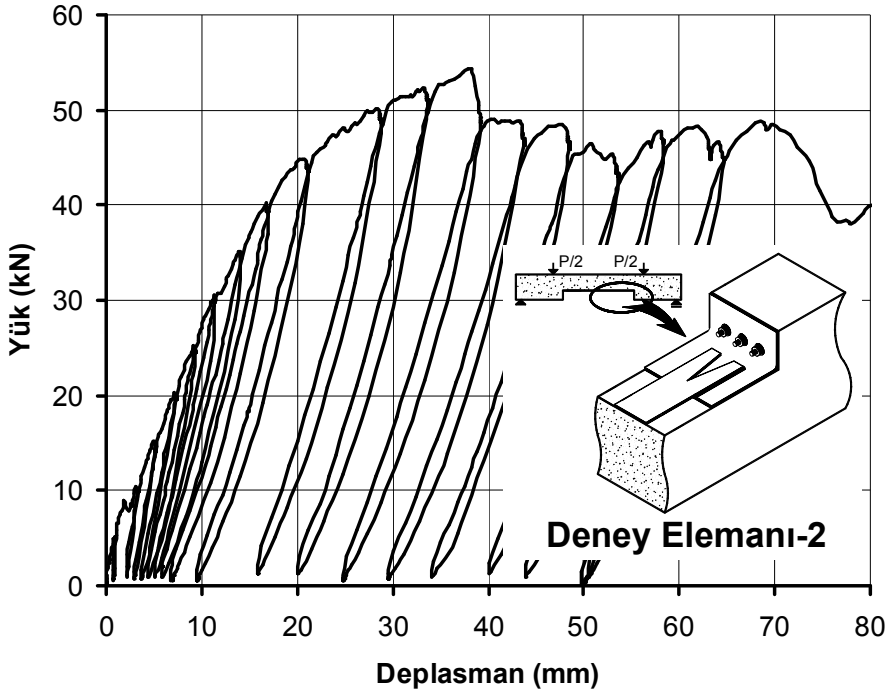
Şekil 4.4. Basınç bölgesinde betonun ezilmesi (Deney Elemanı–1.)

Deney Elemanı–2 :

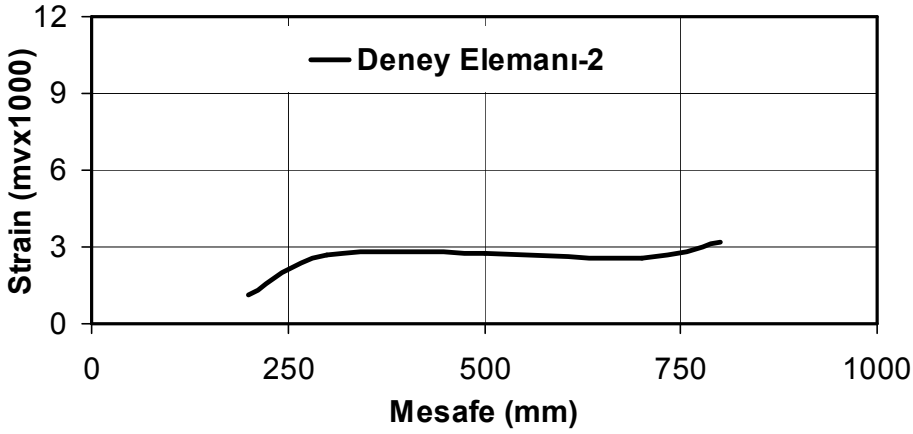
Deney elemanı tanımı : Üç adet ankraj + 4mm başlık levhası, ankraj açısı sıfır, (fc=10,2 MPa)

Deney tarihi : 16/11/2011

Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.5.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.6.'da verilmiştir. Deney elemanında kullanılan bağlantı detayının görüntüsü Şekil 4.7.'de verilmiştir. Teste hazırlanmış deney elemanında çentik bölgesinin görüntüsü ise Şekil 4.8.'de verilmiştir. 10 kN yük düzeyinde ilk eğilme çatlağı çentiğin sol ucunda oluşmuştur. 30 kN yük düzeyinde ise çentiğin iki ucunda oluşan iki eğilme çatlağına paralel olarak başlık levhası kılcal düzeyde betondan ayrılmıştır (Şekil 4.9.). Dokuzuncu çevrimde 43 kN yük- 19 mm deplasman düzeyinde deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. Çentiğin sağ tarafında çok sayıda eğilme çatlağı oluşmuştur. Başlık levhalarının ikisi de doğrusallığını kaybetmiş ve bu bölgede betondan ayrılmıştır. Daha sonraki yük çevrimleri deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. İlerleyen üç yük çevrimde başlık levhaları ankrajların bulunduğu bölümde de betondan ayrılmıştır (Şekil 4.10.).



Şekil 4.5. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-2)



Şekil 4.6. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-2)

Çekme kuvveti etkisinde olan başlık levhası ile ankrajların eksenleri arasında 17 mm ekzantriste bulunmaktadır. Bu durumun davranışa olan etkisi görülmüştür. 12. yük çevriminde 54 kN yük düzeyinde deney elemanı yaklaşık 19 kN yük kaybetmiştir. Ankrajlardan bir tanesinin yük taşıma kapasitesini kaybettiği anlaşılmıştır. Çelik şerit beton yüzeyden ayrılmamıştır. Sadece başlık levhaları beton yüzeyden tamamen ayrılmıştır. Çelik şerit akma dayanımına ulaşmamıştır. Başlık levhasının özellikle ankrajlarla birleşen bölümde kalınlığı yeterli olmamıştır.



Şekil 4.7. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-2)



Şekil 4.8. Teste hazırlanmış elemanda çentik bölgesi (Deney Elemanı-2)



Şekil 4.9. 30 kN yük düzeyinde hasar durumu (Deney Elemanı-2)



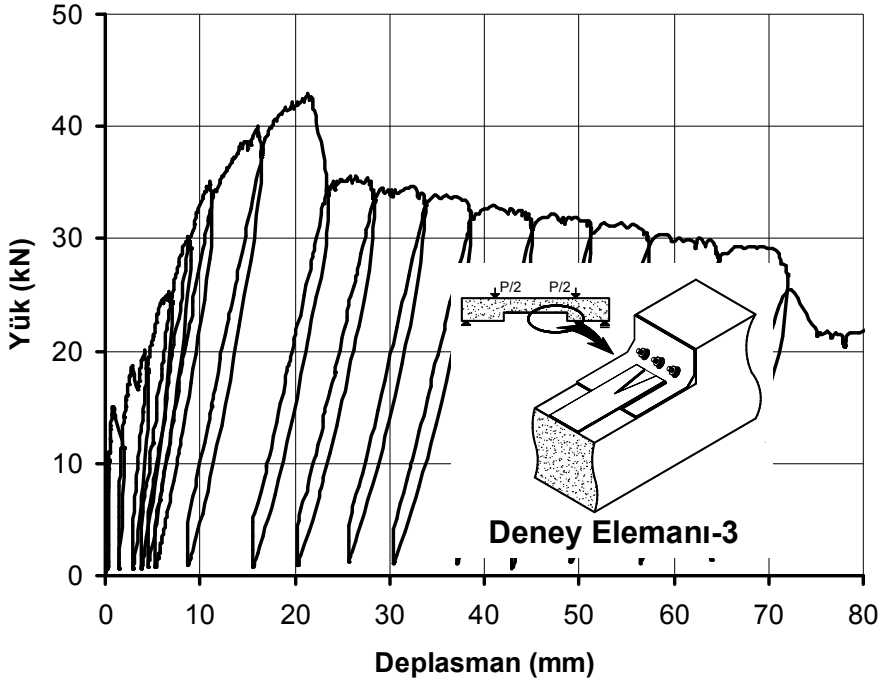
Şekil 4.10. Başlık levhasının betondan ayrılması (Deney Elemanı-2)

Deney Elemanı–3 :

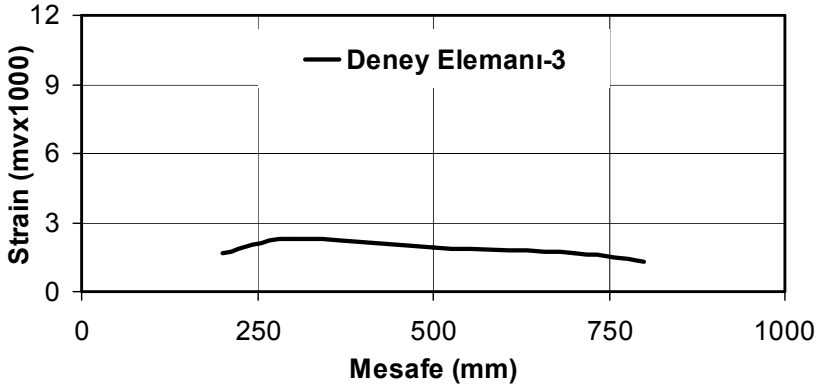
Deney elemanı tanımı : Üç adet ankraj + 4mm başlık levhası, ankraj açısı 45^{o}, (fc=12 MPa)

Deney tarihi : 16/11/2011

Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.11.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.12.'de verilmiştir. Çelik ankrajların betona 45 derece açı ile uygulanmasının davranış ve dayanım üzerine etkilerinin incelenmesi amacıyla üretilmiştir.



Şekil 4.11. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-3)



Şekil 4.12. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-3)

Deney elemanında kullanılan bağlantı detayının görüntüsü Şekil 4.13.'de verilmiştir. Teste hazırlanmış deney elemanına ait çentik bölgesinin görüntüsü ise Şekil 4.14.'de verilmiştir.



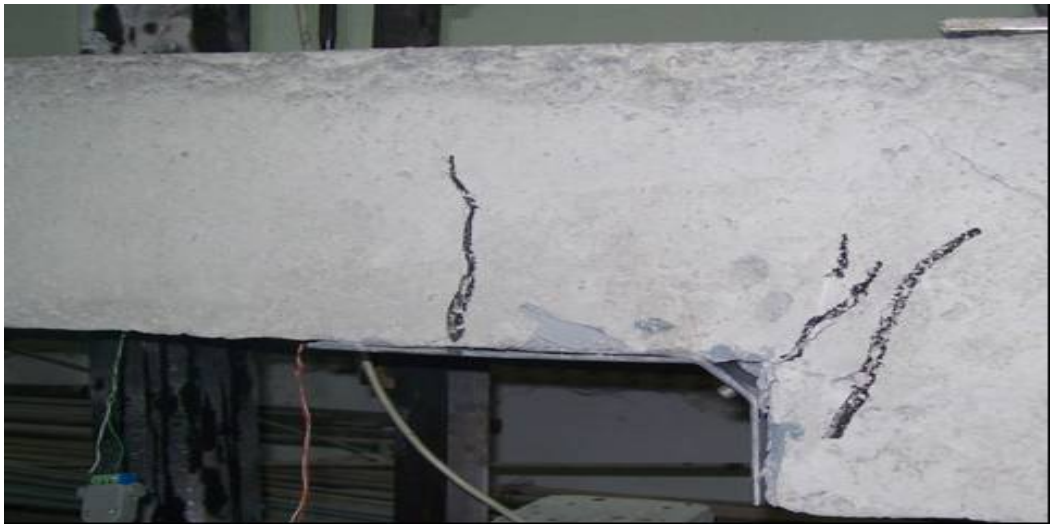
Şekil 4.13. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-3)



Şekil 4.14. Teste hazırlanmış elemanda çentik bölgesi (Deney Elemanı-3)

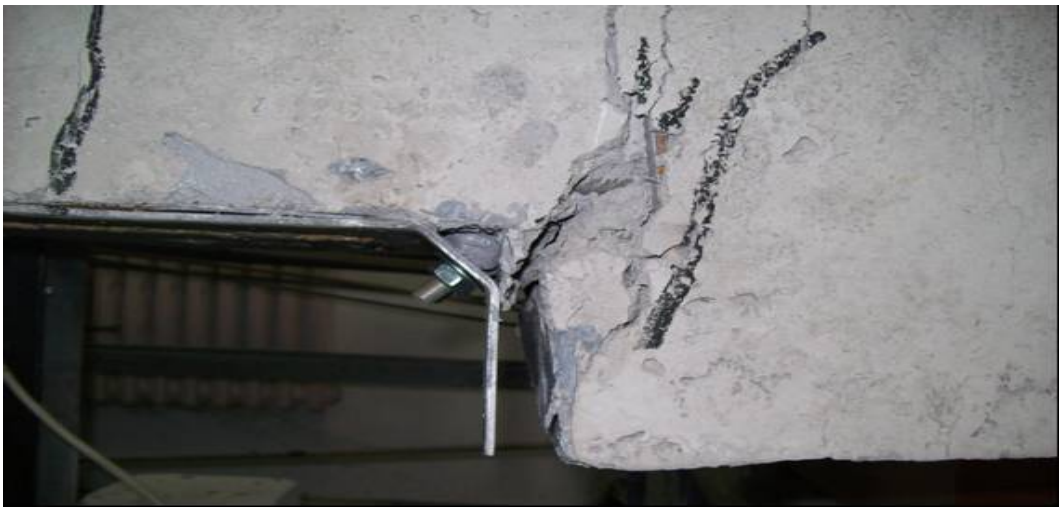
15 kN yük düzeyinde ilk eğilme çatlağı çentiğin sağ ucunda oluşmuştur. 20 kN yük düzeyinde çelik levha sol ucunda betondan ayrılmıştır. 25 kN yük düzeyinde ise çentiğin sağ ucunda uygulanan ankraja paralel bir çatlak oluşmuştur. Bu yük düzeyindeki deney elemanının fotoğrafi Şekil 4.15'de verilmiştir.

35 kN yük düzeyinden sonra deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. 45 kN yükleme yapılan çevrimde 42 kN yük düzeyinde Şekil 4.15'da görülen ankraj eksenine paralel çatlak genişlemiş ve çelik ankraj sesli bir şekilde taşıma gücünü kaybetmiştir. Bu çevrimden sonra teste deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deney elemanı sonraki çevrimde 35 kN yük taşımıştır.



Şekil 4.15. 25 kN yük düzeyinde hasar durumu (Deney Elemanı-3)

Deney elemanında göçme sadece sağ uçta bulunan ankrajların olduğu bölümde gerçekleşmiştir (Şekil 4.16). Deney elemanında çelik şeritte akma gerçekleşmemiştir. Levha beton yüzeyinden ayrılmamıştır.



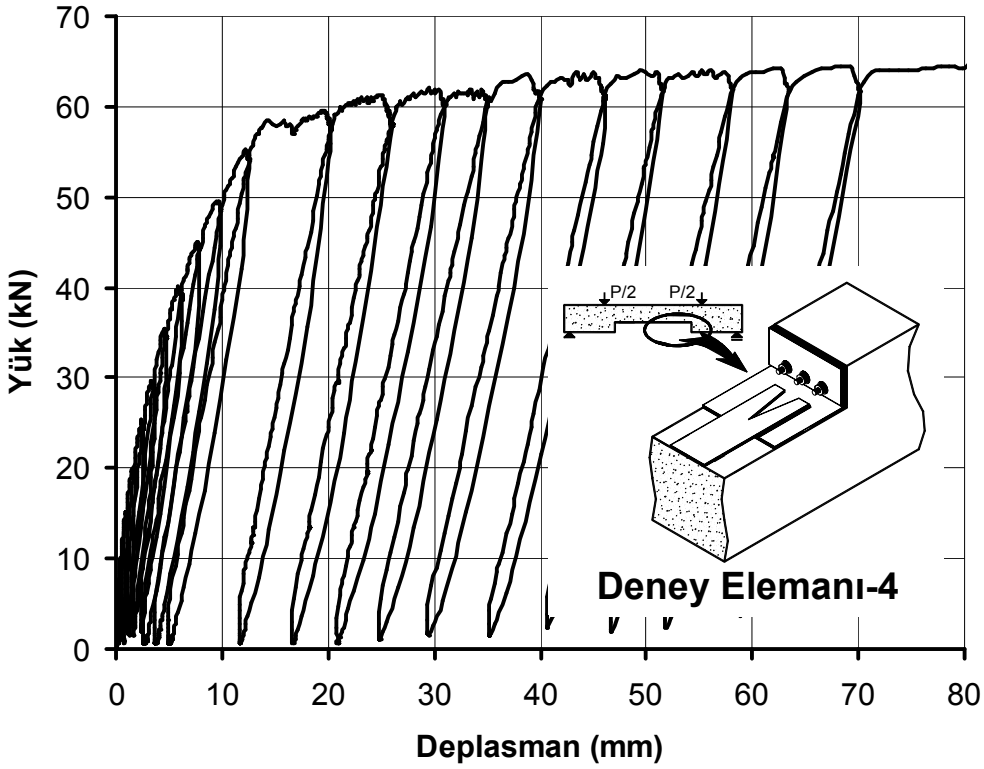
Şekil 4.16. Ankrajın göçmesi (Deney Elemanı-3)

Deney Elemanı–4 :

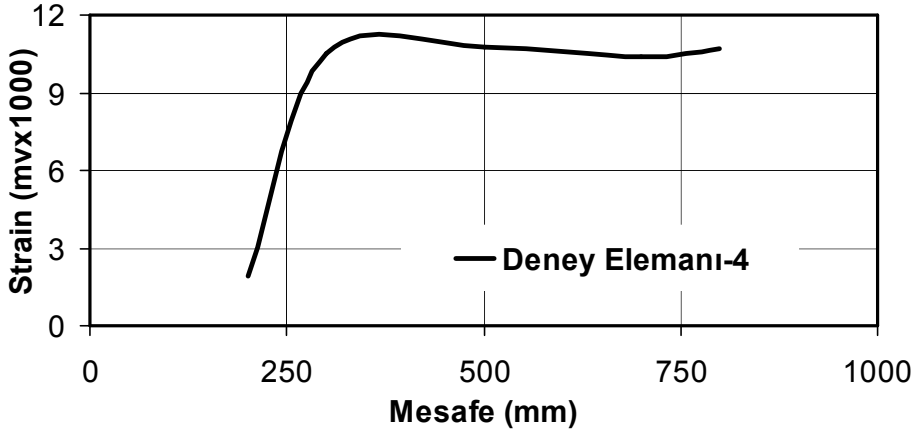
Deney elemanı tanımı : Üç adet ankraj + 4mm başlık levhası + 10 mm levha ankraj açısı sıfır, (fc=10 MPa)

Deney tarihi : 12/03/2012

Deney elemanına 21 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.17.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.18.'de verilmiştir. Deney Elemanı-2'de başlık levhasının şekil değiştirmesi nedeniyle davranış olumsuz etkilenmiştir. Bu amaçla başlık levhasının ankraj yapılan bölümünde 96x200 mm boyutunda ve kalınlığı 10 mm olan ilave bir levha kullanılmıştır. Deney elemanında kullanılan bağlantı detayının görüntüsü Şekil 4.19'da verilmiştir. İlk dört yük çevriminde deney elemanında eğilme çatlağı oluşmamıştır. 25 kN yük uygulanan çevrimde levhanın orta kısmında ilk eğilme çatlağı kılcal düzeyde oluşmuştur. Ankraj bölgesinde çatlak gelişmemiştir. 40 kN yük düzeyinde diğer deney elemanlarından farklı olarak çentik boyunca çok sayıda kılcal eğilme çatlağı oluşmuştur (Şekil 4.20.).



Şekil 4.17. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-4)



Şekil 4.18. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-4)

50 kN yük düzeyinde başlık levhası sağ uçta yüzeyden ayrılmıştır. 55 kN yük düzeyinde çentik ortasında çatlak genişliği 1 mm'ye yaklaşmıştır. Daha sonraki çevrimde ise 58 kN yük düzeyinde rijitlik önemli oranda azalmıştır. Bu yük düzeyinde orta nokta deplasmanı 15 mm ölçülmüştür. Çelik şerit akmıştır. Bu çevrimden sonra teste deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü çevrimlerde çelik levha tamamen yüzeyden ayrılmıştır. Ancak ankraj bölgesinde başlık levhasında ayrılma gözlenmemiştir. 31 mm deplasman uygulanan yük çevriminde 61 kN yük düzeyinde deney elemanının çentik bölgesinin fotoğrafı Şekil 4.21.'de verilmiştir. Deney elemanında çelik şerit bir gergi çubuğu gibi çalışmıştır. 80 mm deplasman değerinde deplasman ölçerin kapasitesi dolmuştur. Yüklemeye devam edilmiştir. Deney elemanı basınç bölgesinde betonun ezilmesi ile göçmüştür (Şekil 4.22.).



Şekil 4.19. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-4)



Şekil 4.20. 40 kN yük düzeyinde eğilme çatlakları (Deney Elemanı-4)



Şekil 4.21. Akmadan sonra levhanın yüzeyden ayrılması (Deney Elemanı-4)



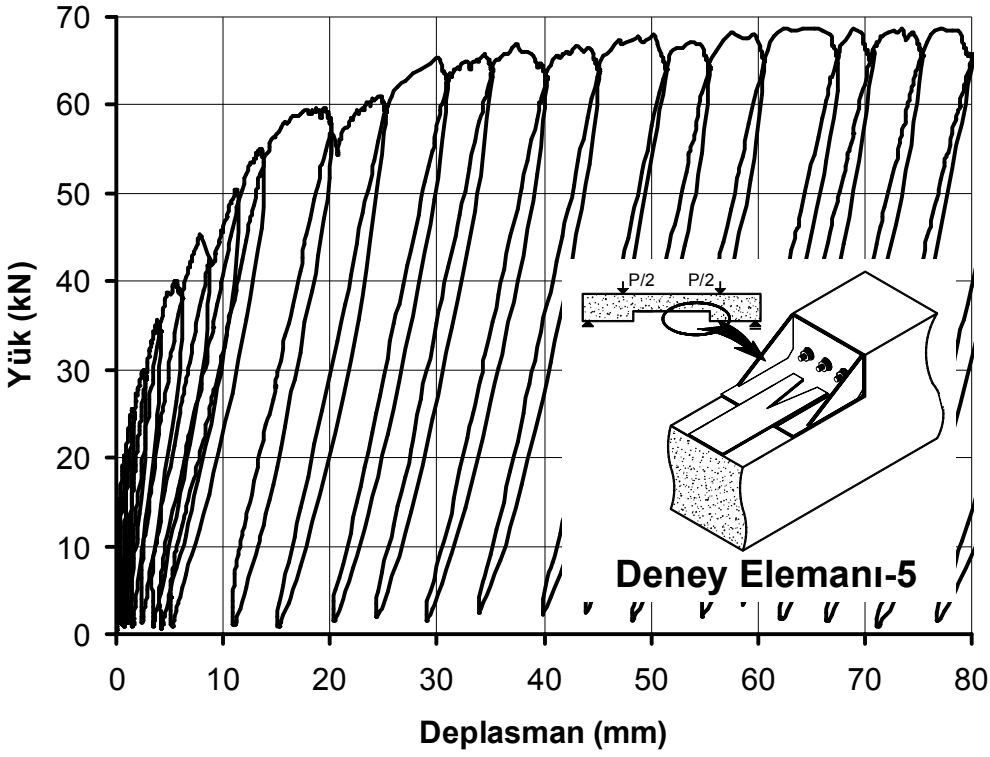
Şekil 4.22. Deney Elemanı-4'ün 21. Yük çevrimi

Deney Elemanı–5 :

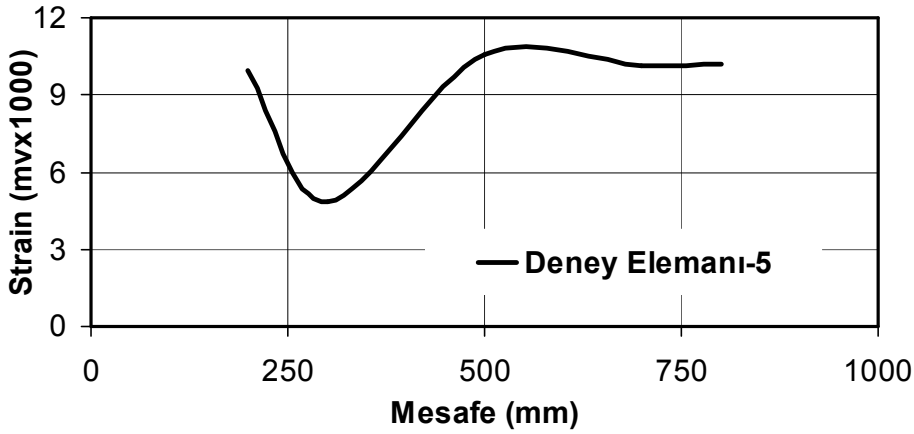
Deney elemanı tanımı : Üç adet ankraj + 4mm başlık levhası + iki adet 4 mm kalınlığında nervür levhası, (fc=12 MPa)

Deney tarihi : 19/04/2012

Deney elemanına 27 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.23.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.24.'de verilmiştir. Başlık levhasının 90 derece bükülmüş 100 mm boyundaki kısmının rijitliğinin artırılması amacıyla iki adet üçgen formunda levha kullanılmıştır. Deney elemanında kullanılan bağlantı detayının görüntüsü Şekil 4.25.'de verilmiştir. Dördüncü çevrimde 20 kN yük düzeyinde çentik bölgesinde ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. 35 kN yük düzeyinde çentik bölgesinde kılcal düzeyde eğilme çatlakları ve başlık levhasının betona ankrajla bağlandığı bölümde kılcal çatlak oluşmuştur. (Şekil 4.26.). 45 kN yük düzeyinde başlık levhası sağ uçta yüzeyden ayrılmıştır.



Şekil 4.23. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-5)



Şekil 4.24. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-5)

12. Çevrimde 60 kN yük, 20 mm deplasman düzeyinde deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. Bu çevrimden sonra teste deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü çevrimlerde başlık levhaları yüzeyden ayrılmıştır. Deney elemanına çok sayıda yük çevrimi uygulanmıştır. Deplasman ölçerin kapasitesi 96 mm'de dolmuştur. Yüklemeye devam edilmesi sonucunda basınç bölgesinde betonun ezilmesi ile teste son verilmiştir.



Şekil 4.25. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-5)



Şekil 4.26. 35 kN yük düzeyinde oluşan çatlaklar (Deney Elemanı-5)

Deney elemanının göçme anında alınan fotoğrafı Şekil 4.27'de verilmiştir. Testten sonra deney elemanında yapılan detaylı incelemede başlık levhasının ankrajla betona birleştiği bölümün yeterince dayanıklı olamadığı ve formunun bozulduğu belirlenmiştir. Buna rağmen deney elemanının başarılı olduğu kabul edilmiş, çelik levhanın aktığı belirlenmiştir.



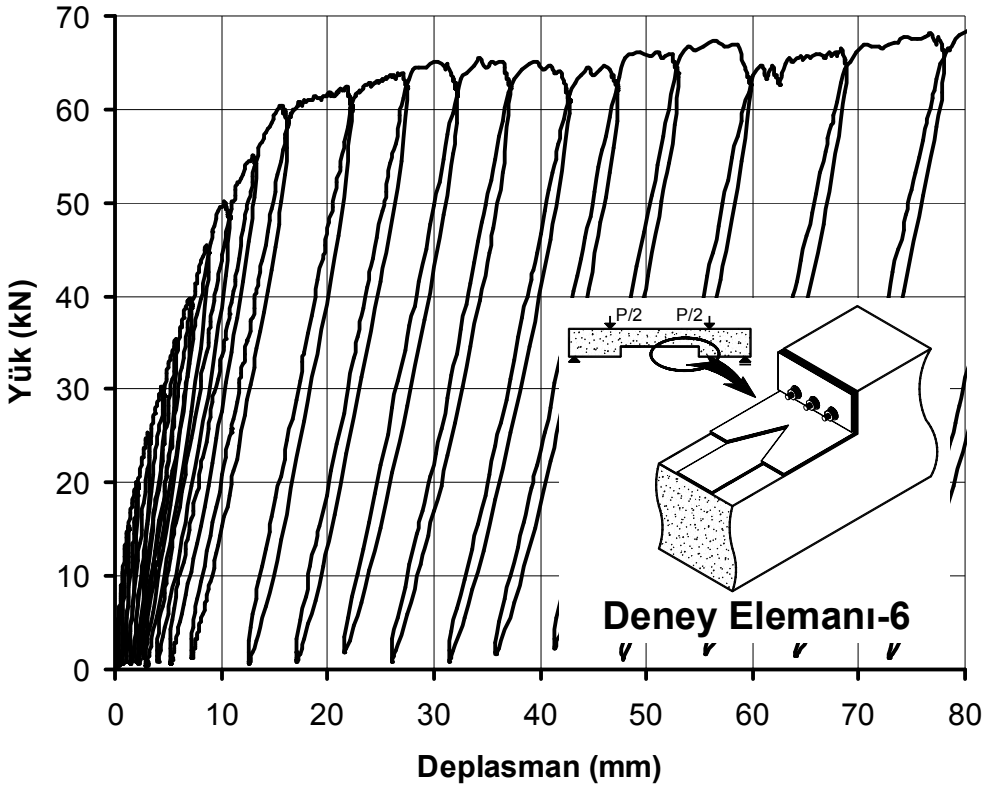
Şekil 4.27. Deney Elemanı-5'de maksimum hasar durumu

Deney Elemanı–6 :

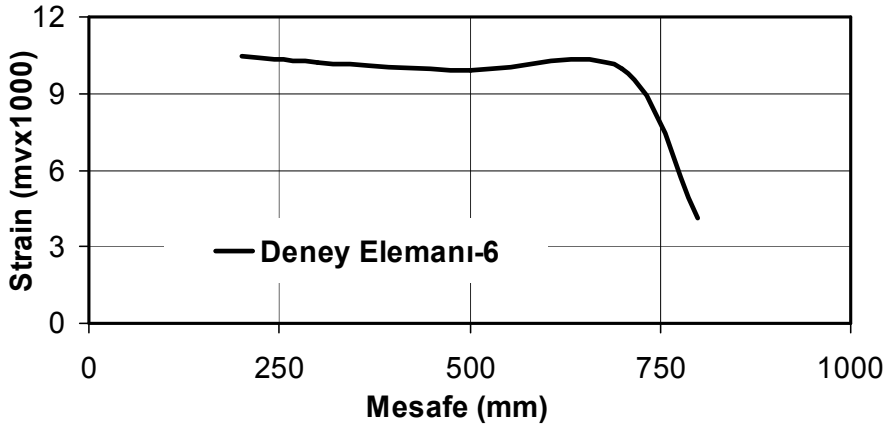
Deney elemanı tanımı : Üç adet ankraj + 4mm başlık levhası + 10 mm levha, (fc=11 MPa)

Deney tarihi : 28/05/2012

Deney elemanına 24 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.28.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.29.'da verilmiştir. Çelik şerit başlık levhasının altında kullanılmıştır. Bu nedenle başlık levhasına uygulanan ekzantriste momenti başlık levhasının kalınlığı kadar artmıştır. Deney elemanında kullanılan bağlantı detayının görüntüsü Şekil 4.30.'da verilmiştir. Üçüncü çevrimde 15 kN yük düzeyinde çentik bölgesinde ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. 40 kN yük düzeyinde sol uçta başlık levhası yüzeyden ayrılmış, çentik bölgesinde çok sayıda eğilme çatlağı oluşmuştur (Şekil 4.31.). 45 kN yük düzeyinde başlık levhası sağ uçta yüzeyden ayrılmıştır.



Şekil 4.28. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-6)



Şekil 4.29. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-6)



Şekil 4.30. Bağlantı detayı (Deney Elemanı-6)



Şekil 4.31. 40 kN yük düzeyine oluşan çatlaklar (Deney Elemanı-6)

13. Çevrimde 62 kN yük düzeyinde deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. Çelik şerit akmıştır. Bu çevrimden sonra teste deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü çevrimlerde başlık levhaları ve çalik şerit betondan ayrılmıştır. Başlık levhasının betona ankrajla bağlandığı bölümlerde çatlak oluşmamıştır. Bu yük düzeyinde çentik bölgesinde oluşan hasarın fotoğrafı Şekil 4.32.'de verilmiştir. Deney elemanına çok sayıda yük çevrimi uygulanmıştır. Deplasman ölçerin kapasitesi 95 mm'de dolmuştur. Yüklemeye devam edilmesi sonucunda basınç bölgesinde betonun ezilmesi ile teste son verilmiştir. Deney elemanının göçme anında alınan fotoğrafı Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.32. Göçme anındaki hasar durumu (Deney Elemanı-6)



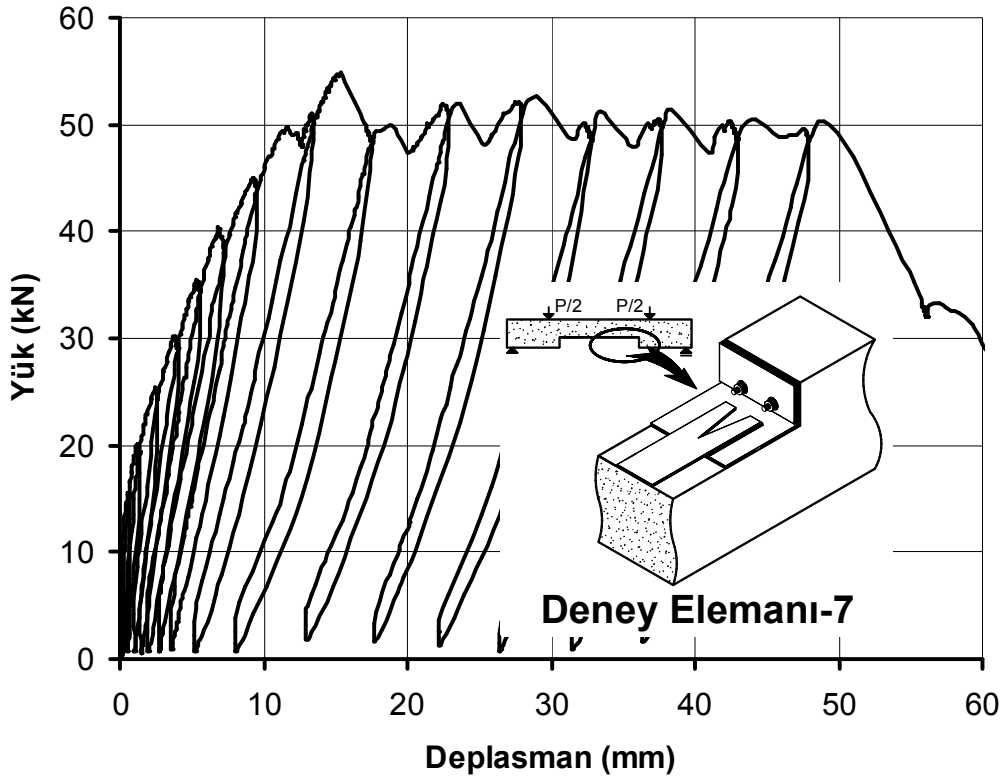
Şekil 4.33. Deney Elemanı-6'da maksimum hasar durumu

Deney Elemanı–7 :

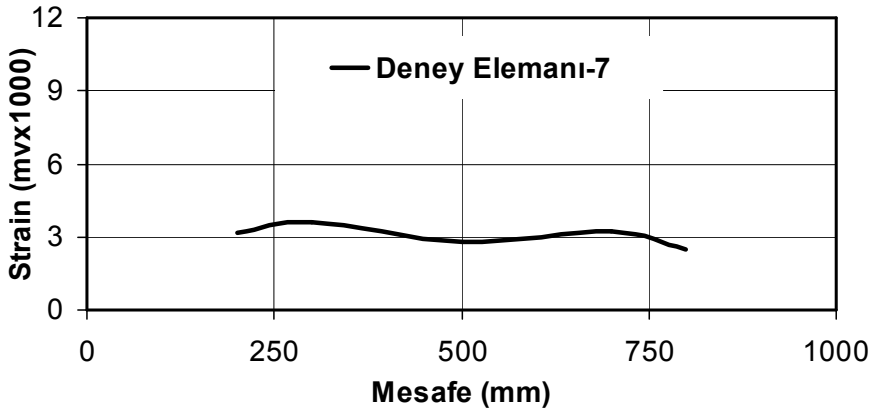
Deney elemanı tanımı : İki adet ankraj + 4mm başlık levhası + 10 mm levha ankraj açısı sıfır, (fc=13 MPa)

Deney tarihi : 28/05/2012

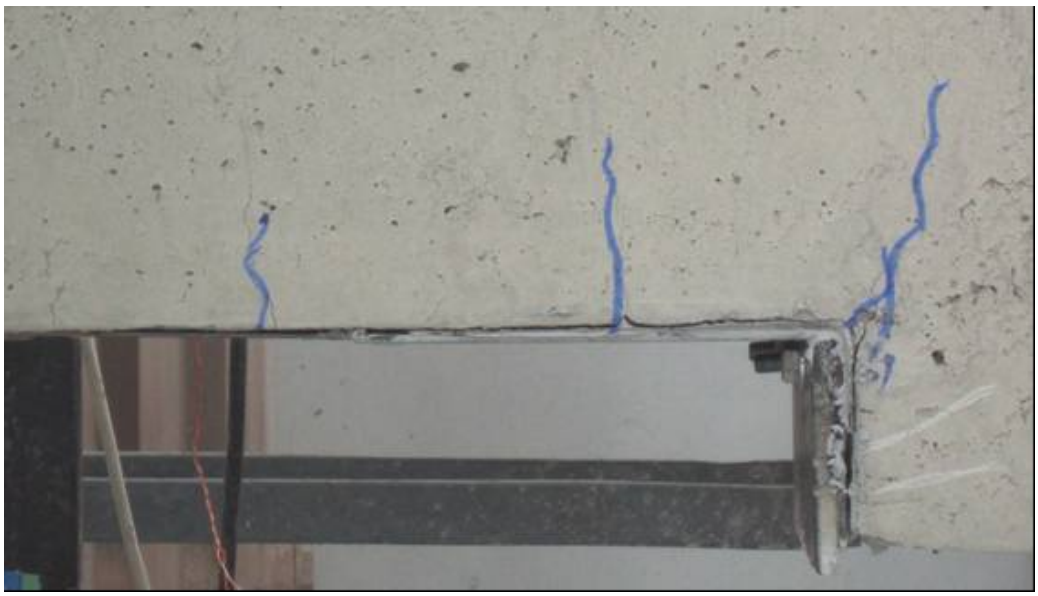
Deney elemanına 17 yük çevrimi uygulanmıştır. Yük Deplasman grafiği Şekil 4.34.'de, levhadan ölçülen maksimum şekil değişiminin levha boyunca değişimi ise Şekil 4.35.'de verilmiştir. Deney Elemanı-4'de başlık levhası 10 mm kalınlığında ilave bir levhayla güçlendirilmiştir. Deney elemanı 7'de ise Deney Elemanı-4'de kullanılan bağlantının aynısı iki ankrajla hazırlanmış ve test edilmiştir. 20 kN yük düzeyinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. 30 kN yük düzeyinde başlık levhaları iki uçta da yüzeyden ayrılmıştır. 10. çevrimde 50 kN yük düzeyinde deney elemanına uygulanan yükte yaklaşık 5 kN azalma olmuştur. Daha sonraki çevrimde 55 kN yük düzeyinde ise deney elemanında sol uçtaki bir ankrajın vida dişlerinde sıyrılma olmuş, yük yaklaşık 7 kN azalmıştır(Şekil 4.36.).



Şekil 4.34. Yük-deplasman grafiği (Deney Elemanı-7)



Şekil 4.35. Levha boyunca birim deformasyon değişimi (Deney Elemanı-4)



Şekil 4.36. 55 kN yk düzeyinde başlık levhasının ayrılması(Deney Elemanı-7)

Bu çevrimden sonra teste deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Uygulanan her yük çevriminde grafik inişli-çıkışlı bir seyir izlemiştir. Ankraj bulonlarının her çevrimde birkaç vida dişi sıyrılmıştır. Deplasman kontrollü çevrimlerde başlık levhası sağ uçta betona ankrajlarla bağlandığı bölümden tamamen ayrılmıştır. 48 kN yük, 53 mm deplasman uygulandığında çentik bölgesindeki hasar Şekil 4.37.'de verilmiştir.



Şekil 4.37. Başlık levhasının yüzeyden ayrılması (Deney Elemanı-7)

Yapılan testte iki adet 10 mm çapında çelik ankraj çelik şeridin taşıdığı kuvveti başarıyla aktaramamıştır. Ankraj bulonlarının vida dişlerinin sıyrılması beklenen bir göçme türü değildir. Ancak ankrajlara gelen yükün eksenel çekme olmadığı, önemli oranda da moment bulundurduğu değerlendirilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde deney sonuçları davranış ve dayanım, birin deformasyon, rijitlik ve göçme şekilleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı çelik şeritlerin iki ucundan en iyi şekilde betona ankrajla bağlanabilmesi ve bunun sonucunda akma gerilmesine ulaşmasıdır. Dolaysıyla davranış ve göçme modu ve birim şekil değiştirmelerin karşılaştırılması uygun bulunmuştur. Süneklik, enerji tüketimi gibi büyüklükler değerlendirilmemiştir. Davranış ve dayanım, deney elemanlarının zarf eğrileri, birim uzamalar ve göçme şekli göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sağlıklı olabilmesi için elemanlar gruplandırılmıştır. Deney elemanlarının maksimum yük taşıma kapasiteleri, 15 kN yük düzeyi için hesaplanmış başlangıç rijitlikleri ve maksimum yük düzeyinde rijitlik değerleri Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

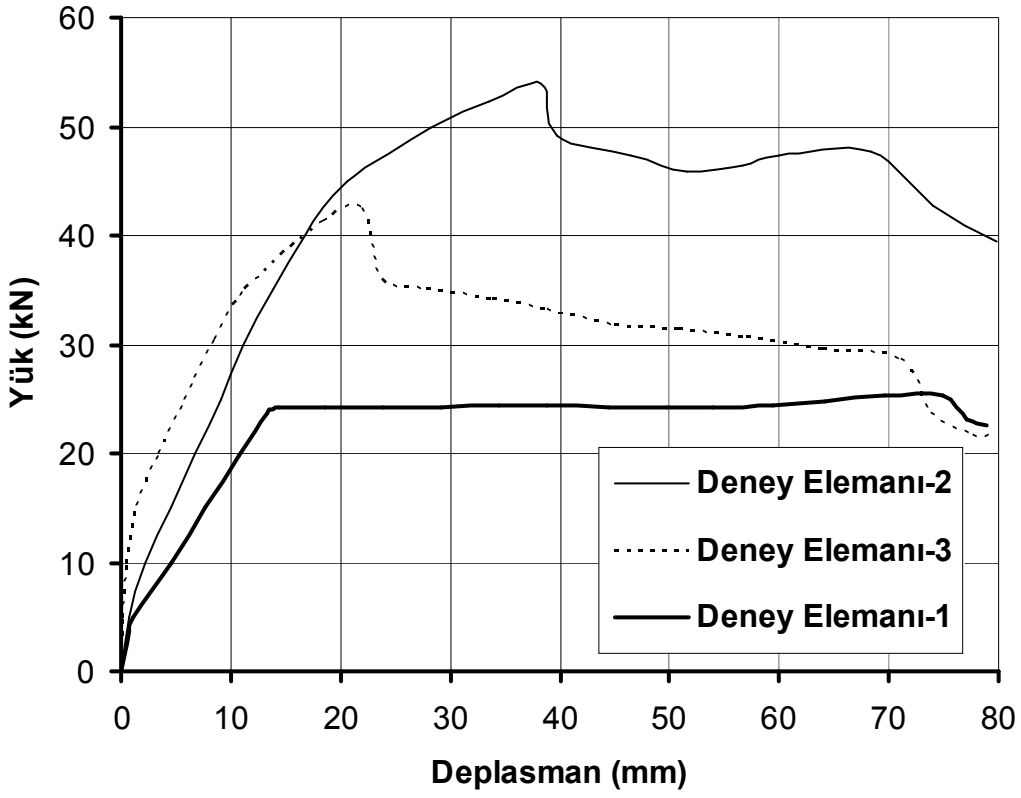
Çizelge 5.1. Deney sonuçları

Deney Elm. No	Maks. Yük (kN)	Rijitlik (Maks. Yük) (kN/mm)	Rijitlik (15 kN Yükte) (kN/mm)	Göçme Modu
1	24	1,67	1,94	Eğilme
2	54	1,41	3,07	Başlık levhasının eğilmesi
3	42	1,95	7,13	Ankrajların göçmesi
4	58	4,01	30,67	Levhanın akması
5	59	3,04	65,52	Levhanın akması
6	60	3,34	12,50	Levhanın akması
7	54	3,64	26,78	Ankraj bulonlarının sıyrılması

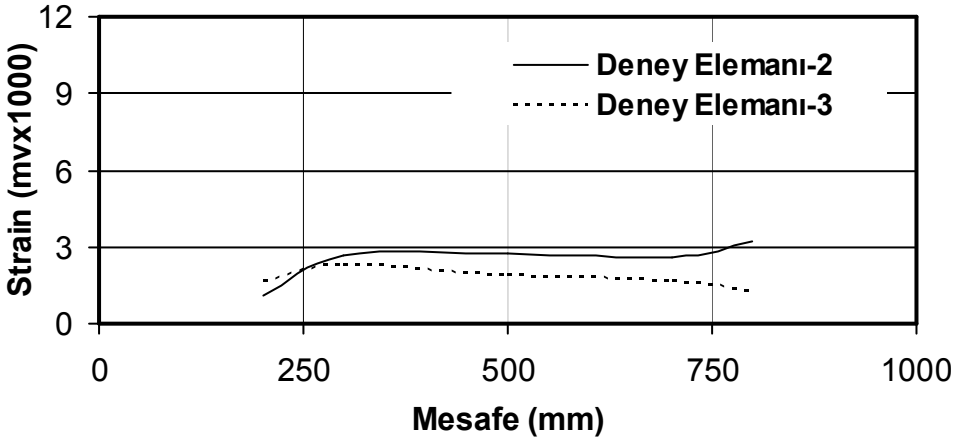
5.1. Çelik Ankrajların Farklı Açılarda Uygulanması

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde ankrajların uygulanmasında farklı zorluklar çıkmaktadır. En yaygın olanı ise ankraj yapılacak noktada demir donatı bulunmasıdır. Bu durumda ankrajlar projede önerilenden farklı açılarda uygulanmaktadır. Deney Elemanı-2 ve Deney Elemanı-3 bu amaçla üretilmiştir. Deney Elemanı-2'de düz olarak kullanılan üç ankraj Deney Elemanı-3'de 45 derce eğimli olarak uygulanmıştır.

Deney elemanlarının kontrol elemanı olan Deney Elemanı-1 ile birlikte dayanım zarfları Şekil 5.1'de verilmiştir. Ayrıca maksimum birim uzamaların şerit boyunca gösterildiği grafikler ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Dayanım zarfları (Deney Elemanı-1, 2 ve 3)



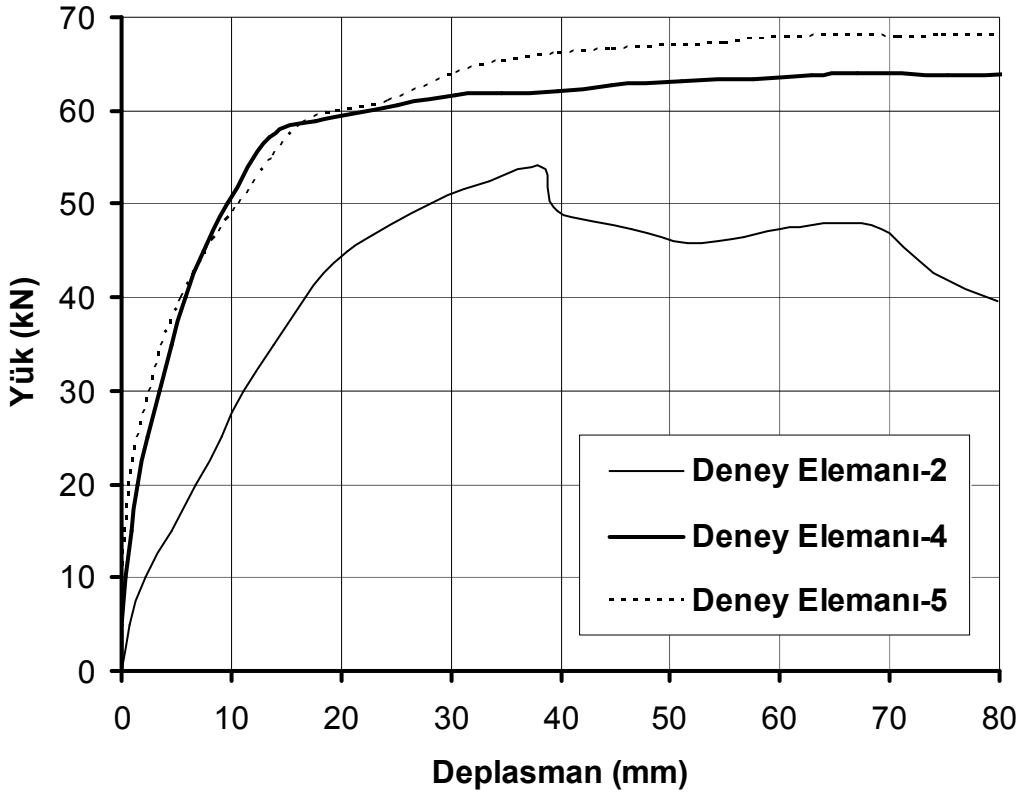
Şekil 5.2. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elemanı-1, 2 ve 3)

24 kN dayanımı olan Deney Elemanı-1'e göre her iki deney elemanında da önemli randa artış sağlanmıştır. Deney Elemanı-2 43 kN yük düzeyinde rijitliğini önemli oranda kaybetmesine rağmen 54 kN dayanım sergilemiştir. Eğimin değiştiği bu bölümde başlık levhası, büküldüğü eksen ile, ankrajların ekseni arasındaki 17 mm ekzantriste nedeniyle şekil değiştirmiştir. Ankrajların 45 derece eğimli olduğu Deney Elemanı-3'de bu ekzantriste ortadan kaldırılmıştır. Ancak deney elemanı %22 daha az dayanım sergileyerek 42 kN yük taşımıştır. Ankrajlar eksenlerine 45 derce eğimli olan çekme kuvveti etkisinde kalmışlardır. Ancak ankrajların 45 derece eğimli olması ilk üç çevrimde rijitliği Deney Elemanı-2'ye göre ortalama 2,3 kat artırmıştır. Maksimum yük düzeyinde ise Deney Elemanı-3 daha az dayanım sergilemesine rağmen rijitliği %38 oranında daha fazla hesaplanmıştır. Her iki deney elemanında da maksimum birim şekil değiştirmeler önemli düzeylere çıkmamış, maksimum %0.3 düzeyinde kalmıştır. Çelik şeritler akmamıştır. Sonuç olarak birleşimde ekzantristenin ortadan kaldırılması düşük yük düzeyleri için başarılı olsa da maksimum yük düzeyinde davranışı olumsuz etkilemiştir. Deney Elemanı-2'nin testi sonucunda, başarılı yük aktarımının elde edilmesinde, başlık levhasında ilave önlem alınmasının gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca Deney Elemanı-3'de elde edilen olumsuz sonuca göre, çelik ankrajların levha eksenine paralel kullanılmasının davranış ve dayanım açısından oldukça önemli olduğu belirlenmiştir.

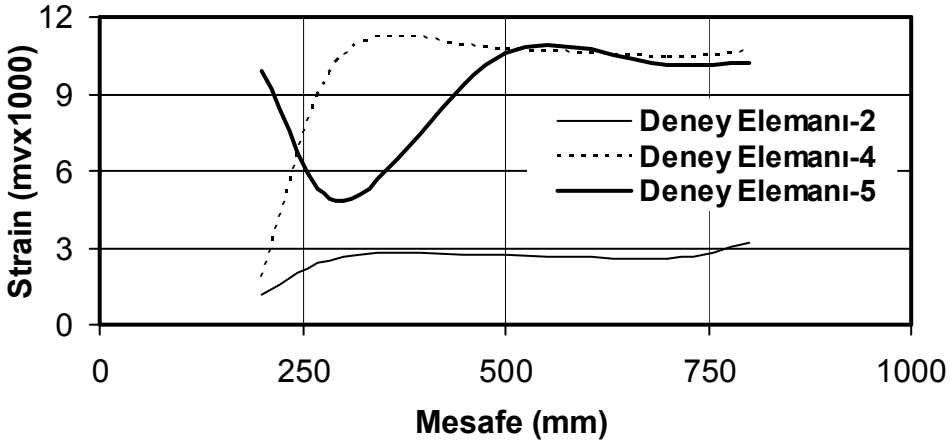
5.2. Başlık Levhasında İlave Yöntemlerin Uygulanması

Deney Elemanı-2 ve Deney Elemanı-3'de uygulama başarılı olamamıştır. Elde edilen sonuç başlık levhasının 200x200 mm boyutunda olan kısmı ile ankraj bulonları arasında, yükün sağlıklı bir şekilde aktarılması gerektiğidir. Bu amaçla Deney Elemanı-2'de kullanılan bağlantı: Deney Elemanı-4'de 10 mm kalınlığında bir levha kullanılarak, Deney Elemanı-5'de ise üçgen formunda nervürler kullanılarak güçlendirilmiş ve bağlantının eğilme rijitliği artırılmıştır. Deney Elemanı-4 ve 5'in, Deney Elemanı-2 ile birlikte dayanım zarfları Şekil 5.3'de verilmiştir. Ayrıca maksimum birim uzamaların şerit boyunca gösterildiği grafikler ise Şekil 5.4'de verilmiştir. Deney Elemanı-4, 15 kN yük düzeyinde 30,67 kN/mm rijitlik sergilerken, bu değer 10 mm kalınlığında levhanın kullanılmadığı Deney Elemanı-2'nin rijitliğinin yaklaşık 10 katı daha fazla olarak hesaplanmıştır. 15 kN yük düzeyinde Deney Elemanı-5'ise, Deney Elemanı-4'ün Yaklaşık 2,1 katı olan 65,52 kN/mm rijitlik sergilemiştir.

Maksimum yük düzeyinde ise Deney Elemanı-4, Deney Elemanı-5'e oranla ortalama %25 daha rijit davranmıştır. Deney Elemanı-4 58 kN dayanım sergilemiştir. Bu yük düzeyinde birim deformasyon ölçümleri %1 düzeyini aşmıştır. Testin ilerleyen çevrimlerinde 5 adet birim deformasyon ölçerden 4 tanesinde ölçümler %1 düzeyini geçmiştir. Çelik ankrajlarda ve başlık levhasının formunda bozulma olmamıştır. Çelik şeritte akma gerçekleşmiştir.



Şekil 5.3. Dayanım zarfları (Deney Elemanı-2, 4 ve 5)

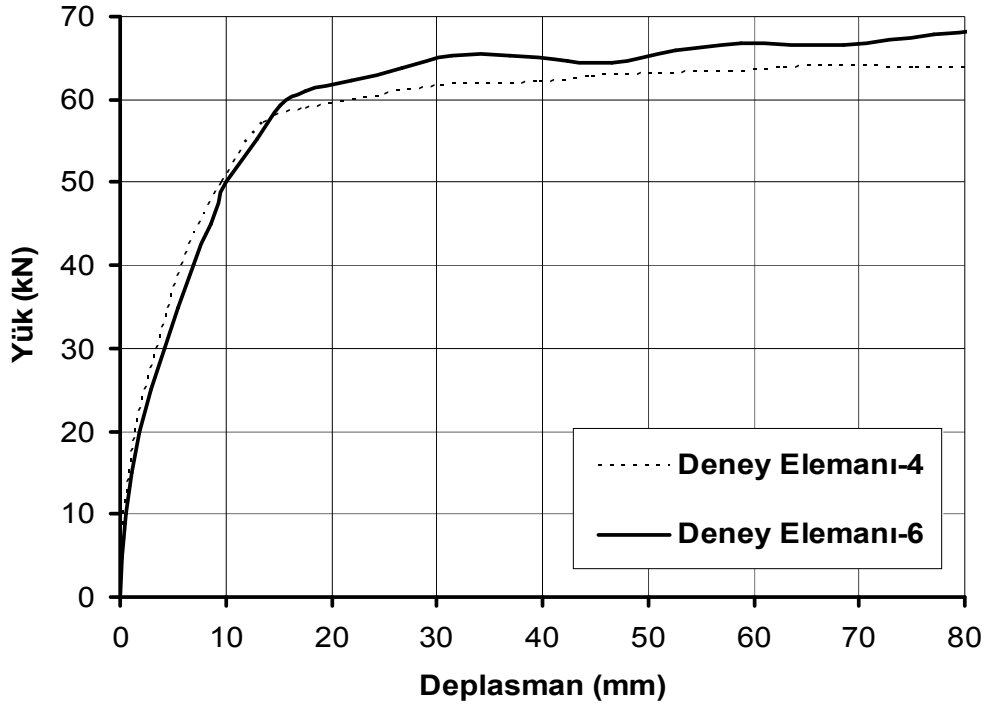


Şekil 5.4. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elemanı-2, 4 ve 5)

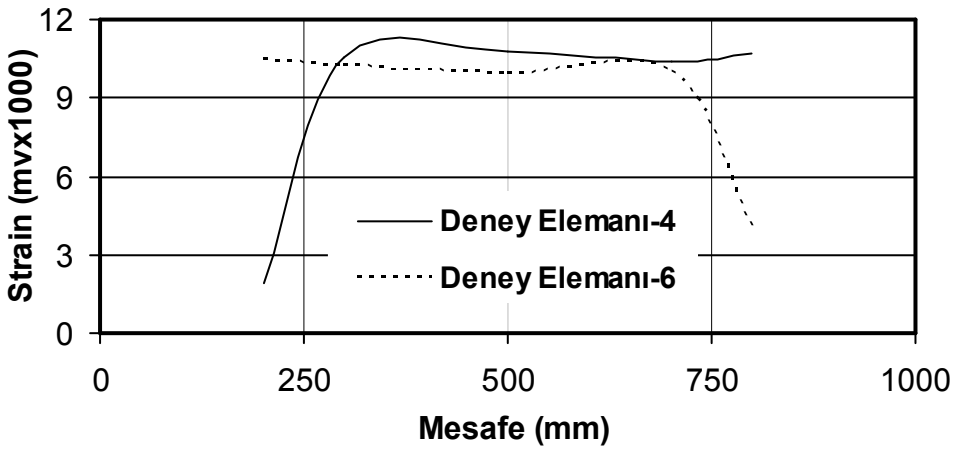
Üçgen formunda nervürlerin kullanıldığı Deney Elemanı-5'de de Deney Elemanı-4'e benzer davranış sergilemiştir. 50 kN yük düzeyinde deney elemanının rijitliği önemli oranda azalmıştır. Testin ilerleyen çevrimlerinde Deney Elemanı-4'de olduğu gibi 4 adet birim deformasyon ölçerde %1 düzeyinin üzerinde uzama ölçülmüştür. Şekil 5.4'de bu durum açıkça görülmektedir. Çelik şeritte akmanın gerçekleşmesinden sonra uygulanan deplasman kontrollü çevrimlerde Deney Elemanı-5 daha yüksek dayanım sergilemesine rağmen başlık levhasının formunun kısmen bozulduğu belirlenmiştir. Her iki deney elemanında da çelik levha akmıştır. Bağlantıda kullanılan ankrajlarda hasar oluşmamıştır.

5.3. Çelik Levhanın Konumunun Davranış ve Dayanıma Etkisi

Betonarme yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında çelik levhaların ilk önce yapıştırılması ve daha sonra başlık levhalarının veya profillerinin uygulanması sıkça kullanılan bir çözüm yöntemidir. Bu nedenle Deney Elemanı-4'ün aksine, Deney Elemanı-6'da çelik şerit başlık levhasının altında olarak üretilmiştir. Deney Elemanı-4 ve Deney Elemanı-6'nın dayanım zarfları Şekil 5.5'de verilmiştir. Ayrıca maksimum birim uzamaların şerit boyunca gösterildiği grafikler ise Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5. Dayanım zarfları (Deney Elemanı-4 ve 6)



Şekil 5.6. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elemanı-4 ve 6)

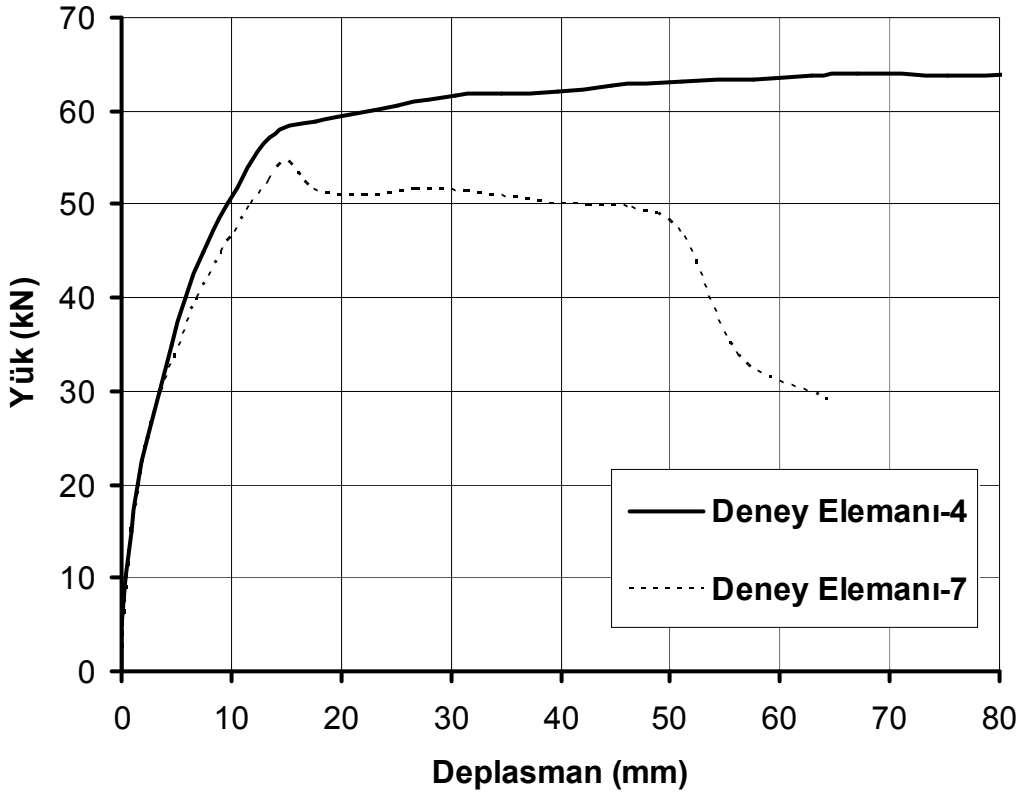
Deney elemanının başlangıç ve maksimum yük düzeyindeki rijitlikleri sırasıyla Deney elemanı4'e göre %59 ve %17 oranında azalmıştır. Dayanım ise benzer düzeyde gerçekleşmiştir. Her iki deney elemanının dayanım zarfları benzer şekilde elde edilmiştir. Şekil 5.6'da verilen maksimum birim uzamalarda ise her iki deney elemanında da %1 düzeyi aşılmıştır. Her iki deney elemanında da çelik levha akmıştır. Testin sonunda ankrajlarda hasar oluşmamıştır.

5.4. Çelik Ankrajların Sayısının Davranış ve Dayanıma Etkisi

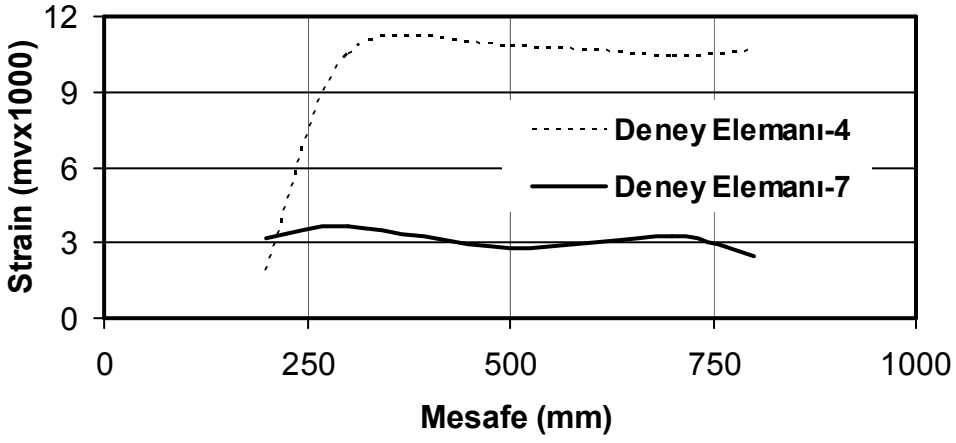
Çelik levhaların betona ankrajla bağlanmasında ankraj sayısı oldukça önemli bir değişkendir. Bu amaçla çelik levhanın aktığı ve başarılı bir deney elemanı olan Deney Elemanı-4'de kullanılan bağlantı Deney Elemanı-7'de iki çelik ankrajlı olarak kullanılmıştır. Deney Elemanı-4'e göre ankraj sayısı bir ankraj eksik olan Deney Elemanı-7'nin dayanım zarfları Şekil 5.7'de, maksimum birim uzamaların şerit boyunca gösterildiği grafikler ise Şekil 5.8'de verilmiştir.

Ankraj sayısının azaltılmasına rağmen Deney Elemanı-7, Deney Elemanı-4'e oranla dayanım ve rijitlik olarak oldukça başarılı bulunmuştur. Deney Elemanının, Deney Elemanı-4'e göre başlangıç rijitliği %13, maksimum yük düzeyindeki rijitliği ise %9 oranında azalmıştır. Dayanım ise sadece %7 oranında azalmıştır. Deney elemanlarının arasındaki en önemli fark ise Deney Elemanı-7'nin göçmesinde çelik bulonların dişlerinin sıyrılmasıdır.

Kesiti 90x2 mm olan çelik levhanın taşıdığı kuvveti iki adet ankraj betona aktaramamıştır. Buna rağmen ankrajların betona gömülen kısımlarında bir hasar gözlenmemiştir.



Şekil 5.7. Dayanım zarfları (Deney Elemanı-4 ve 7)



Şekil 5.8. Levha boyunca birim uzamalar (Deney Elemanı-4 ve 7)

6. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans çalışmasında betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan, çekme kuvveti etkisindeki çelik levhaların uç bölgelerinden ankraj ile betona bağlanması araştırılmıştır. Mevcut bir yapıya sonradan ilave edilen çelik farklı malzemelerden yapılan ilavelerin başarısı, doğrudan mevcut yapı ile ilave malzemenin bağlanmasına bağlı olmaktadır. Betonarme çerçeve türü yapıların, dolgu duvarına çelik levhalar yapıştırılarak ve uçlarından çerçeve kolon ve kirişlerine ankrajla bağlandığı çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda doğrudan çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesindeki artış üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla gerek ankraj çubuklarının çapı, gerekse levha boyutları oldukça büyük seçilmektedir. Sonuç olarak göçme mekanizmalarının sistemi oldukça zorlayan şekillerde ortaya çıktığı görülmektedir. En önemli sonuç ise nerdeyse bütün çalışmalarda diyagonal doğrultuda kullanılan ve teorik olarak basınç kuvveti taşımayan levhaların, basınç kuvveti etkisinde burkularak sistemin göçmesine neden olmasıdır. Bu araştırmada, çekme kuvveti etkisinde ve betona yapıştırılmış levhanın, iki ucundan ankrajlanmasında levhayı akıtacak uç bağlantısı araştırılmıştır. Levha ucunda ankraj yapılabilecek bölgenin genişletilebilmesi amacıyla başlık levhası tasarlanmıştır. Levha ucunda teorik olarak levhadan fazla dayanıma sahip olacak şekilde üç adet 10 mm çapında ve 150 mm gömülme boyunda çelik ankrajlar kullanılmıştır. Bir kontrol amaçlı üretilen yedi deney elemanından Deney Elemanı-4, 5 ve 6'da çelik levha akma dayanımına ulaşmıştır. Deney Elemanı-2, 3 ve 7'de ise bağlantı başarılı olamamıştır. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- ✓ Çelik levhanın uç bölgesinde kullanılan 10 mm çapında çelik bulonların hiçbirinde betondan kaynaklanan istenmeyen bir göçme şekli oluşmamıştır. 150mm olarak belirlenen gömülme boyu, 10 MPa düzeyinde olan donatılı betonda başarılı olmuştur.

- ✓ Epoksi ile yapıştırma şeklinde yapılan güçlendirme uygulamalarında kaynak yapılması önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Epoksinin yüksek ısıdan alevlenmesi uygulamanın başarısını olumsuz etkilemektedir.

✓ 4 mm olan başlık levhasının kalınlığı, ankraj uygulamasında yeterli olamamıştır. Levhanın 90 derece büküldüğü eksen ile ankrajlar arasında olan mesafe nedeniyle bağlantı yeterince rijit olamamış, başlık levhası bükülmüştür.

✓ Çelik levha ucunda kullanılan ankrajların betona uygulanma açısı önemli olduğu belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda ankrajların levha eksenine paralel olmasının, dayanım olarak çekip çıkarma deneylerinde belirlenen, ankrajın taşıma gücünü sağlamıştır. Levha ekseni ile 45 derece eğimli olarak uygulanan ankrajlarda, bağlantı oldukça rijit olmuştur. Deney elemanının rijitliği %38 oranında artmıştır. Ancak maksimum yük düzeyinde ankraj eksenine dik çatlak gelişmiş ve ankrajlar yük kaybetmiştir. Ankrajların 45 derece eğimli olması ile dayanım %22 azalmıştır.

✓ Başlık levhasının çelik ankraj çubuklarıyla bağlandığı yüzeyine 10 mm kalınlığında ilave bir levha kullanılması davranışı önemli oranda etkilemiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda bu bölgelerde, büyük ebatlarda L profiller veya oldukça güçlü ilave levhalar kullanılmıştır. Sadece ankrajların uygulandığı yüzeyin 10 mm kalınlığında levha ile güçlendirilmesi yeterli olmuş, çelik levha akma dayanımına ulaşmıştır.

✓ Başlık levhasında üçgen formunda ilave parçaların kullanılması başarılı olmuştur. Çelik levha gergi çubuğu gibi davranış göstermiş ve akma dayanımına ulaşmıştır.

✓ Başlık levhasına ilave olarak, 10 mm kalınlığında levha kullanılması, üçgen formunda nervürlerin kullanılmasıyla benzer sonuç vermiştir. Ancak iki deney elemanı arasında uygulama zorluğu oldukça farklıdır.

✓ Başlık levhasının çelik levhanın altında veya üstünde olması dayanım üzerinde büyük etki yapmamıştır. Ancak çelik levhanın altta olması ekzantristeyi 6 mm kadar artırmıştır. Bu durum deney elemanının rijitliğinin, başlangıçta %59 oranında, maksimum yükte ise %9 oranında azalmasına neden olmuştur.

✓ Başlık levhasına 10 mm kalınlığında levha ilave edilmesinde, levha ucunda üç ankraj kullanılması başarılı olmuş, çelik levha akmıştır. Ancak aynı birleşimde iki adet ankraj kullanılması benzer uygulamalarda hiç beklenmeyen ve istenmeyen göçme şeklini ortaya çıkarmıştır. Ankraj olarak kullanılan çelik bulonların vida dişi kuvveti aktaramamış ve sıyrılmıştır.

✓ Çelik bulonlardan üretilen ankrajlar 10 MPa düzeyinde dayanımı olan donatılı betonda oldukça başarılı olmuştur. Konuyla ilgili yapılan çekip çıkarma deneylerinde ankrajlara eksenleri doğrultusunda kuvvet uygulanmaktadır. Ancak yerinde yapılan uygulamalarda ankrajlar eksenlerinin dışında kuvvetlerle karşılaşmaktadırlar. Bu durum davranışı olumsuz etkilemektedir.

KAYNAKLAR

Adhikary BB, Mutsuyoshi H, Sano M, 2000. Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beam web:Experiment sand analysis. Constr. Build. Mater., 14(5): 237-244.

Almusallam TH, Al-Salloum YA, 2001. Ultimate strengthpredictionfor RC beamsexternallystrengthenedbycompositematerials. Compos.Part B-Eng., 32(7): 609-619.

Altin, S., Anil, Ö., Kara, M.E. and Kaya, M., 2007. "An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips."Elsevier, Composite Part B: Engineering. (39), 680-693.

Appleton J, Gomes A, 1997. Reforço de estyruturas de betãoarmadoporadição de armadurasexteriores. Revista Portuguessa de Engenharia de Estruturas, n^{o} 41, pg 15-20.

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.

Aykaç S., 2001. Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Aykaç S, Özbek E, 2011. T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Çelik Levhalar ile Güçlendirilmesi, İMO Teknik Dergi, Cilt 22, 5319-5334.

Baran, M., and Tankut, T., 2011. Retrofit of Non-Ductile RC Frames with Precast Concrete (PC) Wall Panels., Advances in Structural Engineering, Vol:14, No:6, 1149-1166.

Bayat, K., 2011. Betona yapıştırılmış ve ankrajlı lifli polimer levhaların araştırılması., Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Binici, B. and Camli, U.S., 2007. Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry. Construction and Building Materials, (21), 1431-1446.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Goldar D, Singh H, Ali MSM, 2005. Strengthening of Reinforced Concrete Beams by Bolting of Steel and GFRP Plates.

Hamoush SH, Ahmad SH (1990). Debonding of steel-plate strengthened concrete beams. J. Struct. Eng-ASCE, 116(2): 356–371.

Hussain M, Sharif A, Basunbul IA, Baluch MH, Al-Sulaimani GJ, 1995. Flexural behavior of precracked reinforced concrete beams strengthened externally by steel plates. ACI Struct J., 92(1): 14–22.

Jones R, Swamy RN, Ang TH, 1982. Under- andover-reinforced concrete beams with glued steel plates. Int. J. Cem. Compos. Lightweight Concrete, 4(1): 19-32.

Jones R, Swamy RN, Charif A., 1988. Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy bonded steel plates. Struct. Eng., 66(5): 85–94.

Jumaat MZ ve Alam A, 2008. Behaviour of U and L ShapedEndAnchored Steel Plate Strengthened Reinforced Concrete Beams, European Journal of Scientific Research, 22(2), 184-196

Kopraman, Y., 2010. Tuğla dolgulu sünek olmayan betonarme çerçevelerin çelik şeritlerle güçlendirilmesi., Doktara Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kuran, F., 2006. Yığma yapıların çelik şeritlerle rehabilitasyonu., Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Macdonald MD, Calder AJJ, 1982. Bonded steel plating for strengthening concrete structures. Int. J. Adhes. Adhes., 2(2): 119-127.

Oehlers DJ, 1992. Reinforced concrete beams with plates glued to their soffits. J. Struct. Eng-ASCE, 118(8): 2023–2038.

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.

Raoof M, El-Rimawi JA, Hassanen MAH, 2000. Theoretical and experimental study on externally plated R.C. beams. Eng. Struct., 22(1): 85-101.

Saadatmanesh H, Ehsani MR, 1991. RC beams strengthened with GFRP plates. I: Experimental study. J. Struct. Eng-ASCE, 117(11):3417–3433.

Smith ST, Teng JG, 2001. Interfacial stresses in plated beams. Eng.Struct., 23(7): 857-871.

Swamy RN, Jones R, Bloxham JW, 1987. Structural behavior of reinforced concrete beams streng the nedby epoxy-bonded steel plates. Struct. Eng., 65(2): 59–68.

Swamy RN, Jones R, Charif A., 1989. The effect of external plate reinforcement on the strengthening of structurally damage dRC beams. Struct. Eng., 67(3): 45–56.

Taghdi, M., Bruneau, M., and Saatcioglu, M., 1998. Seismic Retrofitting of Existing Low-Rise Masonry and Concrete Walls by Steel Strips., Ottawa Carleton Earthquake Engineering Research Center report OCEERC 98-21, Ottawa, Ontario.

Tankut T, Arslan M, 1992. Epoksili Çelik Plaka ile Güçlendirilmiş Betonarme Kiriş Davranışı, IMO Teknik Dergi, 3, 4, 575-584.

Teng JG, Zhang JW, Smith ST, 2002. Interfacial stresses in reinforced concrete beams bonded with a soffitplate: A finite element study. Constr. Build. Mater., 16(1): 01-14.

Ye JQ, 2001. Interfacial shear transfer of RC beams strengthened by bonded composite plates. Cem. Concr. Compos., 23(4-5): 411-417.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	**:**	Erdal KONUK
Doğum Yılı	**:**	1977

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans	**:**	Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2000
Yüksek Lisans	**:**	**-**
Doktora	**:**	**-**

İletişim Bilgileri

Adres	**:**	Evren Mah. 3'ncü Komd. Tug. K.lığı Loj. Apart Otel No:6 SİİRT/Merkez
Telefon	**:**	0 505 408 31 99
E-posta	**:**	erdalkonuk@yahoo.com