

**CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN TUĞLA DOLGU
DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI**

Murat DEMİRHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜŐÜ**

**EKİM 2010
ANKARA**

Murat DEMİRHAN tarafından hazırlanan “CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN TUĞLA DOLGU DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doc. Dr. Özgür ANIL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA

Mimarlık Anabilim Dalı, G.Ü.

Doc. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 26 /10/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Murat DEMİRHAN

**CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN TUĞLA DOLGU
DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI**
(Yüksek Lisans tezi)

Murat DEMİRHAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2010

ÖZET

Çalışmanın amacı düzlem dışı yükleme etkisindeki boşluklu tuğla duvarların CFRP şeritlerle güçlendirilerek davranışının araştırılmasıdır. Ayrıca düzlem dışı yükleme etkisinde CFRP ankrajların etkinliği ve genel davranışa olan etkisi de incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında bir adet referans, on adet de güçlendirilmiş deney elemanı test edilmiştir. İncelenen değişkenler CFRP şeritlerin tuğla dolgu duvar yüzeyine yerleşim şekli ve ankrajların uygulanıp uygulanmamasıdır. CFRP şeritler geometrileri haricinde kalınlıkları 50 mm, 100 mm 150 mm olacak şekilde farklı uygulanmıştır. CFRP şeritlerin belirli bir birim deformasyon değerinden sonra yüzeyden soyulma eğilimi gösterecekleri düşünülerek ankraj uygulamasına gidilmiştir. Test sonuçları CFRP şeritlerin toplam duvar yüzey alanına oranı, şerit genişlikleri, geometrileri ve ankraj uygulaması göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Deneysel veriler incelendiğinde CFRP şeritler ile güçlendirme yönteminin tuğla dolgu duvarların düzlem dışı davranışını olumlu olarak etkilediği görülmüştür. CFRP şeritlerin yapıştırma geometrisi ve ankraj uygulamasına bağlı olarak dayanım, süneklik ve enerji tüketimini artırdığı gözlenmiştir. Özellikle ankraj uygulaması, süneklik ve enerji tüketimi yönünden çok daha olumlu artışlar sağlamıştır.

Bilim kodu : 911.1.144
Anahtar kelimeler : Düzlem dışı davranış, tuğla duvar, CFRP, güçlendirme
Sayfa adedi : 100
Tez yöneticisi : Doç. Dr. Özgür ANIL

**OUT-OF PLANE BEHAVIOUR OF BRICK-FILL WALLS
REINFORCED WITH CFRP STRIPS**

(M. Sc. Thesis)

Murat DEMIRHAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2010

ABSTRACT

The objective of the study was to investigate the out-of-plane behavior of cavity brick walls under out-of-plane loading after being reinforced with CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) strips. Out-of-plane loading activity in the CFRP anchors and the effects on general behavior were also investigated. Eleven test elements were tested, which consisted of one reference element and ten reinforced elements. Variables examined were the placement configuration of CFRP strips on the surface of brick-fill wall, and whether anchorage was applied or not. CFRP strips exhibited differences in geometry and thickness such as 50 mm, 100 mm and 150 mm. Anchorage was applied considering that CFRP strips would tend to peel off from the surface after a certain amount of unit deformation was exceeded. Test results were discussed and evaluated by taking into consideration the ratio of CFRP strips to total wall surface area, strip width, geometry and anchoring application. Analysis of the experimental data revealed that reinforcement with CFRP strips positively affects out-of-plane behavior of brick-fill walls and that the method is easily applicable. Depending on their bonding geometry and anchorage application, CFRP strips were observed to increase strength, ductility and energy consumption.

Science Code : 911.1.144
Key Words : Brick fill walls, CFRP, reinforced wall
Page Number : 100
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Bu tez kapsamında, deprem kuşağında yer alan ülkemizde önemli can kayıplarına neden olan bir problemin çözümü için teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir bir yöntem deneysel olarak incelenmeye çalışılmıştır. Taşıyıcı sistemin deprem etkisiyle hasar almadığı durumlarda bile tuğla duvarlar yıkılabilmekte, buna bağlı olarak da önemli can ve mal kayıpları gerçekleşmektedir. Tuğla duvarların tasarımı ve yapımı çoğu kez bir mühendislik hizmeti görmediğinden, ülkemizdeki mevcut yapı stoğunun deprem davranışının iyileştirilmesinde basit, ekonomik ve kolayca uygulanabilir bir güçlendirme tekniği geliştirmek önem arz etmektedir.

Bu çalışma, tuğla duvarların yıkılmasından dolayı oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi konusuna bir nebze dikkatleri çevirirse, büyük ölçüde amacına ulaşmış olacaktır.

Bu tezin ortaya çıkmasında birçok değerli insanın katkıları olmuştur. Bunları sayarak teşekkürlerimi belirtmek isterim.

Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yeni yapı teknolojilerinin uygulanması için dünya standartlarında bir çalışma ortamı gerçekleştirilmesinde emeği geçen bütün hocalarıma teşekkür ederim.

Eğitimim sırasında bilgi birikimimin oluşmasında önemli katkıları olan sayın Prof. Dr. Sinan ALTIN' a ve bu tezin gerçekleştirilmesinde başlangıcından sonuna kadar gerekli bütün yardım, tavsiye ve yönlendirmeleri yapan, karşılaştığım problemlerin çözümünde deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Özgür ANIL' a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca aileme ve değerli ortağım Emrah Cem TOZLU' ya da özveri ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
RESİMLERİN LİSTESİ	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. DENEY ELEMANLARI.....	7
2.1. Genel.....	7
2.2. Deney Elemanlarının Üretilmesi.....	8
2.3. Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	11
2.3.1. Tuğla.....	11
2.3.2. Harç	11
2.3.3. CFRP (carbon fiber reinforced polymer).....	12
2.3.4. Epoksi	13
2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanışı	15
2.4.1. Güçlendirme işlemi	15
3. DENEY DÜZENEGİ	27
3.1. Genel.....	27

Sayfa

3.2. Yükleme ve Deney Düzenegi	28
3.3. Ölçüm Düzenegi ve Veri Toplanması	30
4. DENEYLER	33
4.1. Deney elemanı 1 (referans)	33
4.2. Deney Elemanı 2	35
4.3. Deney Elemanı 3	40
4.4. Deney Elemanı 4	46
4.5. Deney elemanı 5	51
4.6. Deney Elemanı 6	55
4.7. Deney Elemanı 7	59
4.8. Deney Elemanı 8	65
4.9. Deney Elemanı 9	69
4.10. Deney Elemanı 10	75
4.11. Deney Elemanı 11	79
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	84
5.1. Deney Elemanlarının Davranışı	85
5.2. Rijitlik	93
5.3. Süneklik Oranı	94
5.4. Tüketilen Enerji	95
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	100

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Deney elemanları	10
Resim 2.2. Deney elemanları	10
Resim 2.3. Harç numuneleri.....	12
Resim 2.4. Ankraj detayı CFRP yüzeyi	16
Resim 2.5. Ankraj detayı duvar yüzeyi.....	16
Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği	27
Resim 3.2. Yük hücresi ve yükleme kirişi	28
Resim 3.3. Veri toplama.....	31
Resim 4.1. Referans elemanı derzden ayrılma	34
Resim 4.2. Referans elemanı derzden ayrılma genel.....	34
Resim 4.3. 3 Numaralı elemanı	41
Resim 4.4. CFRP yüzeyden ayrılma	43
Resim 4.5. 2. sıra tuğlaların kırılması	44
Resim 4.6. Reaksiyon kirişi mesnet altı kırılması	45
Resim 4.7. Ankraj çevresi tuğla çatlakları	45
Resim 4.8. 4 Numaralı deney elemanı	47
Resim 4.9. Kesme kırılması	49
Resim 4.10. Kopmuş CFRP şerit	50
Resim 4.11. 2. ve 3. sıra tuğlaların kırılması.....	50
Resim 4.12. Kesme kırılması.....	54
Resim 4.13. CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılması ve tuğlaların parçalanması	54
Resim 4.14. 6 Numaralı deney elemanı	56

Resim	Sayfa
Resim 4.15. Kesme kırılması ve CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmaları	58
Resim 4.16. 7 Numaralı eleman	60
Resim 4.17. Göçme genel	62
Resim 4.18. CFRP kopması	63
Resim 4.19. Kesme kırılması.....	64
Resim 4.20. Ankraj etrafının zorlanması	64
Resim 4.21. 8 Numaralı eleman	66
Resim 4.22. 2. Sıra boyunca ana diyagonallerin kırılması.....	68
Resim 4.23. 9 Numaralı eleman	70
Resim 4.24. 2. Sıra tuğla çatlakları.....	73
Resim 4.25. CFRP şerit yüzey aderansı	74
Resim 4.26. 10 Numaralı deney elemanı	76
Resim 4.27. Genel göçme	78
Resim 4.28. CFRP şeridin mesnede doğru yüzeyden ayrılması.....	78
Resim 4.29. Göçme genel.....	82
Resim 4.30. Çatlağın mesnet altından başlayıp derze doğru ilerlemeleri	83
Resim 4.31. Tuğla parçalarının CFRP şeridi kesmesi	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri	7
Çizelge 2.2. Harç dayanımları	8
Çizelge 2.3. Derz malzemeleri	11
Çizelge 2.4. CFRP yapısal özellikleri	13
Çizelge 2.5. CFRP laminat özellikleri	13
Çizelge 2.6. Cıvıklığa bağlı viskozite.....	14
Çizelge 2.7. Termal stabilite.....	14
Çizelge 2.8. Epoksi genel özellikler	14
Çizelge 5.1. Rijitlik çizelgesi.....	93
Çizelge 5.2. Süneklilik oranı çizelgesi	94
Çizelge 5.3. Tüketilen enerji	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney elemanı	9
Şekil 2.2. 2 Numaralı deney elemanı	17
Şekil 2.3. 3 Numaralı deney elemanı	18
Şekil 2.4. 4 Numaralı deney elemanı	19
Şekil 2.5. 5 Numaralı deney elemanı	20
Şekil 2.6. 6 Numaralı deney elemanı	21
Şekil 2.7. 7 Numaralı deney elemanı	22
Şekil 2.8. 8 Numaralı deney elemanı	23
Şekil 2.9. 9 Numaralı deney elemanı	24
Şekil 2.10. 10 Numaralı deney elemanı	25
Şekil 2.11. 11 Numaralı deney elemanı	26
Şekil 3.1. Moment ve kesme diyagramları.....	29
Şekil 3.2. Deney düzeneği.....	30
Şekil 4.1. Referans elemanı yük deplasman grafiği	33
Şekil 4.2. 2 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	35
Şekil 4.3. 2 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	38
Şekil 5.1. Ankrajlı elemanlar ve referans	86
Şekil 5.2. Ankrajsız elemanlar ve referans.....	86
Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	87
Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği.....	88
Şekil 5.5. Deney elemanı 6 ve 7 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği.....	89
Şekil 5.6. Deney elemanı 8 ve 9 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	90

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Deney elemanı 10 ve 11 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	91
Şekil 5.8. 100mm ve 50mm genişliğindeki ankrajsız numunelerin karşılaştırılması .	92
Şekil 5.9. 100 mm ve 50 mm genişliğindeki ankrajlı numunelerin karşılaştırılması	92

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur

Simgeler	Açıklama
	Sol mesnet çökmesi (mm)
	Eleman orta nokta deplasmanı (mm)
	Sağ mesnet çökmesi (mm)
	Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)
	Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)
	Uzama oranı (2 alınmıştır)
	Kazanç faktörü (410 alınmıştır)
	CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri

1. GİRİŞ

Yapıların tasarım aşamasında yatay ve düşey yöndeki bütün kuvvetlerin yapının taşıyıcı sistemi tarafından karşılandığı kabul edilmektedir. Gerçekte yüklerin büyük çoğunluğu yapının taşıyıcı elemanları tarafından karşılanırsa da, taşıyıcı olmayan elemanlara da belirli yükler etki etmektedir. Taşıyıcı olarak kabul edilmeyen bu zayıf elemanlar da, küçük kuvvetler etkisinde kuvvet yönüne de bağlı olarak rahatlıkla hasar görebilmekte ya da yıkılabilmektedir.

Deprem gibi yatay yükler etkisinde yapının taşıyıcı olmayan yığma duvarlarının, betonarme çerçevelerin düzlemleri içinde büyük kapasite artışları meydana getirdiği bilimsel olarak kanıtlanmış bir gerçektir. Bunun yanında yığma duvarlar düzlemleri dışında etki eden yatay kuvvetlere karşı oldukça hassas ve çabuk hasar alan elemanlardır. Deprem anında yapının taşıyıcı iskeletinde herhangi bir hasar söz konusu değilken yığma duvarların yıkıldığı, can ve mal kayıplarına sebep olduğu bilinmektedir.

Çalışmamızın ülkemiz şartlarına uygunluğu açısından, yaygın olarak uygulama alanı bulan boşluk oranı yüksek standart tuğlalar seçilmiştir. Türkiye’de hemen her yapı inşaatında bu tarz duvar uygulamalarına rastlanmaktadır.

Deprem ülkemizin en önemli problemlerinden biridir. Ülkemizde Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan deprem yönetmeliğine göre, deprem sonrası hasar görmüş yapıların can ve mal kaybına neden olmayacak şekilde yeniden güçlendirilmesi veya onarılması ve yapının yeniden kullanılabilir hale getirildikten sonra kullanılmasına izin verilmesi ile güçlendirme önemli bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkmıştır.

Betonarme sistemlerde göçme durumundaki kayıpların yanı sıra sistemin ayakta kaldığı durumlarda sistemin bir parçası olan dolgu duvarların yıkılması sonucu da can ve mal kayıpları olmaktadır. Bilindiği üzere yapının statik hesabında yatay

yükler çerçevelere ve perdelere aktarılmakta; dolgu duvarlara yatay yük gelmediği varsayımıyla tasarım yapılmaktadır. Bina kullanım alanını mimari olarak efektif hale getirmek için bölme duvarlar oluşturulur. Bu bölmeler genellikle tuğladan yapılmakta, maliyet sebebiyle seçim konusu olan tuğla duvarlar, gerek işçilik gerekse derz kalitesi itibarıyla standart dışı yapılmaktadır. Bu standart dışı ve kötü işçilik ile üretilen tuğla dolgu duvarların da göçme durumunda önemli miktarda can kayıplarına neden olduğu yaşanan son depremlerde yaygın olarak görülmüştür.

Küçük ve orta şiddetli depremler sonrası yapıda bina taşıyıcı sistemi zarar görmemiş veya az hasarlı olduğu halde bölme duvarların düzlem dışı etkiyen yatay kuvvetler etkisiyle yıkıldığı örnekler ile sıklıkla karşılaşmaktadır. Tuğla duvarların düzlem dışı performansını güçlendirme uygulayarak artırmak için çeşitli metotlar denenmiştir. En yaygın olan metotlar arasında duvarın yeni bir tuğla sırası ile örülerek güçlendirilmesi, tuğlanın boşluklarına yerleştirilen çelik çubuklar ile donatılı tuğla duvarı oluşturulması, donatılı veya lif katkılı bir sıva katmanı ile tuğla duvar yüzeyinin kaplanması olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin bir çoğu yapı içerisinde yaşayanları rahatsız eden, oldukça maliyetli, uygulanması uzun zaman alan ve birçok uygulama detayı hassas işçilik gerektiren yöntemlerdir. Bu nedenle kolay uygulanabilen, kısa sürede tamamlanan, hassas işçilik detayları içermeyen bir yöntem geliştirilmesi gerekmektedir. CFRP malzemesinin bu amaçla kullanılabilir, hafif, her yüzeye kolay uygulanabilen, yapı içerisindeki yaşayanları rahatsız etmeden uygulama yapılabilir bir malzeme olduğu düşünülerek güçlendirme yönteminde kullanılmak üzere seçilmiştir. Güçlendirme projeleri çoğunlukla yapının taşıyıcı sistemi üzerinde depreme karşı olan etkilere yönelik olmakla beraber, yapının taşıyıcı olmayan duvar gibi kısımları göz ardı edilmektedir. Taşıyıcı olmayan kısımların neden olduğu can ve mal kayıplarının da göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu çalışmada duvarların düzlem dışı yüklemeye etkisinde CFRP (carbon fiber reinforced polymer) kullanılarak güçlendirmesi için bir yöntem ve detaylarının geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Ülkemizde deprem riski altındaki yapı stokunun çok büyük miktarlarda olması nedeniyle tuğla duvarların yatay kuvvetlere karşı performanslarının iyileştirilmesi

için hızlı ve kolay uygulanabilen bir yöntemin geliştirilmesi önemli bir gereksinimdir. Bu nedenlerle CFRP malzemesi seçilmiştir. Güçlendirme yapılması planlanan sistemde, dışarıdan epoksi kullanılarak yapıştırılan CFRP (carbon fiber reinforced polymer) malzemenin çeşitli yapıştırma geometrileri için düzlem dışı dayanımını artırma amacıyla deneysel bir çalışma oluşturulmuştur. CFRP'nin tuğla dolgu duvarın üzerine uygulanma şekli ve geometrisi değişken olmak üzere 5 farklı desen belirlenmiştir. Bu belirlenen geometride yapıştırılan CFRP şeritleri, ankrajlar ile tuğla dolgu duvarın yüzeyine bağlayarak ve bağlamadan 2 ayrı seri test yapılması planlanmıştır.

Düzenlenen deneysel çalışmada test edilen CFRP ile güçlendirilmiş tuğla duvarların dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve göçme modları incelenerek önerilen yöntemin performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca CFRP ankrajı kullanılan ve kullanılmayan seri karşılaştırılarak ankraj detayının süneklik, enerji tüketimi ve göçme modu gibi önemli parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. CFRP yapıştırma geometrisinin tuğla dolgu duvarların düzlem dışı performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çalışmadaki değişkenler:

- CFRP şerit genişlikleri
- CFRP şerit geometrisi
- CFRP fan ankraj

Literatürde dolgu duvarın düzlem dışı performansların artırmak ve güçlendirilme ile ilgili çok fazla araştırma bulunmamakla beraber çalışmaları, duvar yüzeyine CFRP uygulanması ve üretim safhasında derze CFRP uygulanması olarak sınıflandırabiliriz. Ayrıca güçlendirmeyi esas almayan, sadece davranış esaslı düzlem dışı yükleme etkisinde yığma yapılarla ilgili çalışmalar da bulunmaktadır. Bu araştırmalardan seçilen ve tez kapsamında yürütülen deneysel çalışma ile ilgili önemli bulgular içeren araştırmalardan seçilen örnekler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

E. Hamed, O. Rabinovitch 2008 yılında yaptıkları 2010 yılında yayınlanan makalelerinde analitik ve deneysel çalışmayı birleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında 1200 x 2100 mm ölçülerinde duvarlar kullanılmıştır. Sadece düşey yönde CFRP şeritlerle güçlendirilmiş elemanlara yer verilmiştir. Deneysel çalışmada göçme mekanizmasına bağlı olarak yapısal yönden duvarları etkileyen mekanik parametreler ve malzeme özelliklerinin etkisi incelenmiştir. Bunun yanında yığma yapının CFRP şeritlerle güçlendirilmesi, dayanım ve sünekliklerinin artırılması hedeflenmiştir. Deneyler dört nokta yüklemesi olarak tanımladığımız momentin ortada, kesme kuvvetinin mesnet bölgelerinde sabit tutulması şeklinde yapılmıştır. Yükü homojen olarak yaymak için duvar yüzeyi boyunca ince plaklarla yük aktarımı yapılmıştır. Deneylerde eksenel yük göz önüne alınmıştır. Deney sonuçlarında deney elemanlarının kesme açıklıklarından kesme baskın olarak göçtüğü gözlemlenmiştir [1].

J. M. Gilstrap, C. W. Dolan 1998 yılında yayınlanan Wyoming üniversitesinde yaptıkları çalışmalarında deneysel elemanlarda üç farklı fiber malzeme (aramid, carbon, Eglass) kullanmışlardır. Ayrıca dört farklı yapıştırma malzemesi ve bunların CFRP şeritler ve yüzey arasındaki performansı incelenmiştir. Araştırmada iki ayrı parametre incelenmiş ve bu yönde çalışmalar sürdürülmüştür. Birincisinde beşer bloktan kirişler yapıp bunların eğilme kapasitelerine bakılmıştır. Her kiriş farklı şekilde güçlendirilmiştir. İkinci olarak farklı geometrilerde farklı açılardan güçlendirilmiş elemanlar test edilmiştir. Çalışmada dördü saçlarla, üçü de fiberlerle güçlendirilmiş, biri de referans olmak üzere toplamda sekiz adet deney elemanı test edilmiştir. Çalışma sonucunda istenilen ölçüde kapasite artışı sağlanmıştır [2].

Antonella Cecchi, Gabriele Milani, Antonio Tralli 2005 yılında yayınlanan makalelerinde yığma yapıların CFRP şeritler ile güçlendirilmesini inceledikleri analitik çalışmalarında bir duvarın ön kısmına dikey, arka kısmına da çaprazlar şeklinde modelledikleri CFRP şeritler ile güçlendirilen dolgu duvarları sonlu elemanlar metoduyla analiz etmişlerdir [3].

Sameer Hamoush, Mark McGinley, Paul Mlakar, Muhammad J. Terro 2002 yılında yayınlanan Amerika-Kuveyt ortak çalışması makalelerinde farklı ölçülerde dikey fiberlerle güçlendirilmiş onsekiz farklı numuneyi test etmişlerdir. Deney numunesi boyutlarını 900 x 600 mm olarak seçen ekip, on yedisi güçlendirilmiş biri referans olmak üzere toplamda onsekiz adet eleman denemişlerdir. Deneyler dört nokta yüklemesiyle yapılmışlardır. Deneylerde aksel yük ve ön yükleme gibi farklı değişkenlerde göz önüne alınmış olup dört farklı lineer ölçüm alınmıştır. Deney sonuçlarında iki farklı göçme modu meydana gelmiştir. Bu göçme modları kesme açıklıklarında kesme baskın olarak iki farklı kesme kırılması olarak sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak dışarıdan uygulanan CFRP şeritlerin sünekliği ve kapasiteyi artırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca mesnetlere kadar uzanan ve birden fazla kat fiberin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Fiber alanlarının ve mesnetlere kadar uzanan şeritlerin kazandırdıkları süneklik ve dayanıma karşın halen yığma yapılarıdaki parametrelerin çokluğu sebebiyle araştırmaların devam edilmesi yönünde önerilerde bulunmuşlardır [4].

C.R. Willis, R.Seracino, M.C. Griffith tarafından Avustralya - School of Civil, Environmental and Mining Engineering, The University of Adelaide ve Amerika Birleşik Devletleri Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North Carolina State üniversitelerinde ortak olarak yürütülen CFRP (carbon fiber reinforced polymer) şeritlerle yaptıkları çalışma bizim çalışmamıza ışık tutmuştur. Çalışma biri referans dördü kontrol olmak üzere beş elemandan oluşmaktadır. Çalışma 1000x1000 mm elemanlar üzerinden yürütülmüştür. Çalışma bizim çalışmamızın aksine, Amerika ve Avusturya da yaygın olarak kullanılan dolu tuğla veya ülkemizde ateş tuğlası olarak bilinen elemanlarla yapılmıştır. Çalışma sonucunda FRP şeritlerin dikey yönde eğilme kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Gerilme yığılmalarının genelde FRP şeritleri etrafında toplandığı görülmüştür. Göçme mekanizması FRP şeritlerin yüzeyden ayrılmalarıyla gerçekleşmiştir. Yükleme monolitik olduğundan depreme benzeştirmek esası üzerinden değil de tekil tek yüzeyli yükleme esasında bazı noktalar göz ardı edilmiştir. Aynı zamanda matematik modelleri de yapılmış olan deneylerin yapılan teorik hesaplarla uyduğu görülmüştür [5].

C.R. Willis, R.Seracino, M.C. Griffith tarafından Avustralya - School of Civil, Environmental and Mining Engineering, The University of Adelaide ve Amerika Birleşik Devletleri Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering, North Carolina State üniversitelerinde ortak olarak yapmış oldukları diğer bir çalışmada boşluklu dolgu duvarların düzlem dışı yükleme etkisinde FRP şeritlerle onarılması ile ilgili çalışmaları da göze çarpmaktadır. Deney elemanları 2500x4000 mm ebadında olup 1500x1000 mm pencere açıklığı niteliğinde boşluk barındırmaktadır. Deney içeriği bir referans ve dört kontrol elemanı olmak üzere beş elemandan oluşmaktadır. Deney belirli yük etkisinde çatlamış olan duvarlara FRP şeritlerle onarılmasıyla yapılmıştır. Deney sonuçları olarak FRP şeritlerle kapasitenin artırıldığı aynı zamanda duvarların onarıldığı gözlemlenmiştir [6].

Nestore Galati, Gustavo Tumialan, Antonio Nanni 2006 yılında Missouri-Rolla, üniversitesinde yaptıkları çalışmadan sonra yayınlamış oldukları makalelerinde yüzeyden güçlendirilmiş on beş adet numuneyi teste tabi tutmuşlardır. Deney elemanlarına şeritler, kare ve dikdörtgen parçalar halinde CFRP uygulanmıştır. Deneyler dört nokta yüklemesi olarak tanımladığımız momentin ortada, kesme kuvvetinin mesnet bölgelerinde sabit tutulması şeklinde yapılmıştır. Yüğü homojen olarak yaymak için duvar yüzeyi boyunca ince plaklarla yük aktarımı yapılmıştır. Eğilme ve kesme göçmeleri olarak iki farklı göçme modu gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarında FRP alanının duvar genişliği ve kalınlığına oranı olarak yorumlayıp sonuçları bu şekilde sunmuşlardır [7].

2. DENEY ELEMANLARI

2.1. Genel

Duvarların yapılarıdaki konumları ve geometrileri göz önünde bulundurularak deneyler sırasında boyut etkisini ortadan kaldırmak amacıyla deney elemanları 1000x1500 mm boyutlarında seçilmiştir. Bir deney elemanı, bünyesinde kırkdört adet tuğla barındırmaktadır. Tuğla boyutları 190x190x135 mm' dir. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve tuğlaların yerleşim şekli Şekil 2.1'de verilmiştir. Bir adet tuğlaya ait aksenal basınç dayanımı 3,3 MPa' dır. Elemanın toplam ağırlığı 200 kg' dır. Deney elemanları muhtelif derz dayanımlarında olup, her deney elemanı üretilirken silindir numuneler alınmıştır. Genellikle standartlarda derz dayanımları 5 MPa olarak öngörülmüştür. Fakat deney elemanları üretimi sonrasında deney elemanlarının derz dayanımları 5,36~7,18 MPa arasında farklılık göstermiştir. Programda yer alan deney elemanlarında 5 farklı tip CFRP şerit yapıştırma düzeni belirlenmiştir. CFRP şerit yapıştırma düzenlerinden deney elemanlarında kullanılan şerit genişlikleri 150, 100 ve 50 mm olarak belirlenmiştir. Belirlenen 5 farklı CFRP yapıştırma düzeni 2 seri olarak CFRP ankraj uygulanmadan ve uygulanarak üretilmiştir. Deney elemanlarının özellikleri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Spec #	Mortar Compression Strength f_m (MPa)	CFRP Strip Properties*			Ankraj
		Vertical Strip # / dist. (mm)	Horizontal Strip # / dist. (mm)	Diagonal Strip # / dist. (mm)	
1	5,4	Reference (without CFRP strip strengthening)			No
2	5,2	----	----	2 / ----	No
3	5,4	2 / 900	2 / 1400	2 / ----	No
4	5,6	----	----	10 / 300	No
5	6,0	3 / 400	3 / 550	----	No
6	5,8	3 / 300	5 / 300	----	No
7	7,1	----	----	2 / ----	Yes
8	6,1	2 / 900	2 / 1400	2 / ----	Yes
9	6,6	----	----	10 / 300	Yes
10	6,3	3 / 400	3 / 550	----	Yes
11	6,5	3 / 300	5 / 300	----	Yes

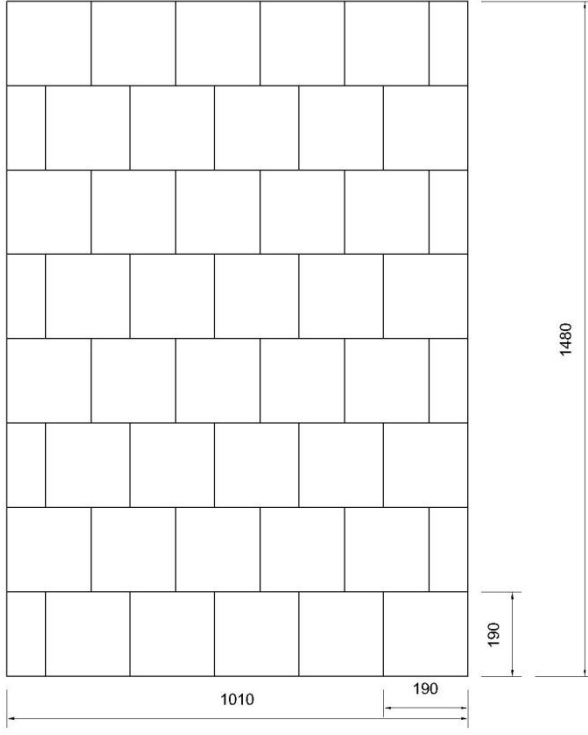
2.2. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deney elemanları üretilirken şantiye koşulları göz önüne alınmış olup derz üretimi ve duvar tuğla sıralaması şantiye koşullarına göre yapılmıştır. Deney elemanlarının üretimine öncelikle derzde kullanılacak malzemelerin hazırlanmasıyla başlanmıştır. Hazırlanan malzemeler mikser de karıştırılıp homojen bir karışım elde edilmiştir. Deney elemanları hazırlanırken CFRP yapıştırılacak yüzeyin düzlüğü CFRP' den gerekli verimin alınması için büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle boşlukların giderilmesi ve düzgün bir yüzey elde edilebilmesi için yapıştırıcı kullanılmıştır. Deney elemanlarının hazırlanışı ve imal edildikten sonra çekilen fotoğraflar Resim 2.1, Resim 2.2. Deney elemanları gösterilmektedir.

Üretilen deney elemanlarının derzlerinde kullanılan harç için özdeş bir karışım kullanılmasına rağmen deney elemanlarının harç dayanımları aynı olması karışımda kullanılan malzemelerin çeşitliliği ve uygulamada meydana gelebilecek ufak farklılıklardan dolayı mümkün olmamıştır. Bu nedenle harç dayanımının tespiti için deney elemanlarının üretimi sırasında her eleman için yeniden hazırlanan karışımdan 150x300 mm boyutlarında silindir numuneler alınmıştır. En az üç adet alınan numunelere aksenal basınç testi uygulanarak deney elemanlarının harç basınç dayanımının belirlenmesine çalışılmıştır. Harçların testleri deney elemanları ile aynı şartlarda saklanıp, testlerin yapıldığı gün deney elemanları ile birlikte test edilmiştir.

Çizelge 2.2. Harç dayanımları

Eleman no	Gerilme (MPa)
1	6,06
2	7,00
3	6,63
4	5,63
5	5,36
6	5,96
7	7,15
8	5,83
9	6,34
10	6,49
11	5,38



Şekil 2.1. Deney elemanı



Resim 2.1. Deney elemanları



Resim 2.2. Deney elemanları

2.3. Kullanılan Malzeme Özellikleri

2.3.1. Tuğla

Tuğla boyutları 190x190x135 mm, tuğla tane ağırlığı 3 kg' dır. Bir adet tuğlaya ait basınç dayanımı 3,3 MPa' dır. Deney elemanlarının üretiminde Türkiye'de oldukça yaygın olarak kullanılan boşluklu tuğlalar seçilmiştir. Duvarlarda toplam 44 adet tuğla kullanılmıştır. Toplamda sekiz sıra tuğla şaşırtmalı olarak örülmüştür.

2.3.2. Harç

Harç tuğla dolgu duvarların genel performansı açısından son derece önemli olan ve tuğla birimlerini bir arada tutan bağlayıcı bir malzemedir. Bu sebeple derzlerde kullanılacak harcın dayanımı önem arz etmektedir. Her bir duvar için ayrı ayrı numuneler (Resim 2.3. Harç numuneleri) alınmıştır. Üretilen duvarların derz dayanımları 5-8 MPa arası değişim göstermektedir. Kullanılan malzemeler ağırlıkça yüzdeleriyle beraber Çizelge 2.3'te verilmiştir. Harç dayanımları için sonuç Çizelge 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Derz malzemeleri

Malzeme	Ağırlıkça yüzde
Çimento	% 10,5
Kireç	% 10,5
Agrega	% 60
Su	% 19



Resim 2.3. Harç numuneleri

2.3.3. CFRP (carbon fiber reinforced polymer)

Türkçe karşılığı olarak birçok isim tamlaması kullanılan CFRP malzemesi için en yaygın kullanılan tanımlamalardan biri de yapısal güçlendirme için örgülü karbon lifli elyaf olarak verilmiştir. Çok geniş uygulama alanlarına sahip olup hemen her yüzeye uygulanabilmektedirler. Yapısal güçlendirmeden sismik performansın artırılmasına kadar her türlü güçlendirme işleminde kullanılırlar. Deneylerde sika firmasının SikaWrap 230c ürününü kullanılmıştır. Kullanılan CFRP tek yönlü liflere sahip olup kuru uygulama için uygun bir malzemedir. CFRP yapısal olarak lif tipine göre orta dayanımlı karbon fiber olarak sınıflandırılmıştır. Elyafın yapısı ise tek doğrultulu, lif çözgü dokuması siyah karbon fiberler toplam ağırlığın %99 olarak, atkı dokuması ise beyaz termoplastik ısıtılabilir tabii tutulmuş fiberler ağırlığın %1 olarak verilmiştir. CFRP' nin özellikleri için bkz. Çizelge 2.4 Sikadur330 ile emprenye edilmiş laminat özellikler için bkz. Çizelge 2.5

Çizelge 2.4. CFRP yapısal özellikleri

Özellik	
Birim ağırlık	230 g/m ² ± 10g/m ²
Dokuma tasarım kalınlığı	0,131 mm (karbon fiberin toplam alanına göre)
Çekme dayanımı	4 300 N/mm ² (nominal)
Çekme elastisite modülü	238 000 N/mm ² (nominal)
Kopma uzaması	% 1,8 (nominal)

Çizelge 2.5. CFRP laminat özellikleri

Laminat özellik	
Laminat kalınlığı	1,0 mm kat başına
Nihai yük taşıma	350 kN/m (1,0 mm tipik laminat kalınlığı için)
E-modülü	28 kN/mm ² (1,0 mm tipik laminat kalınlığı için)

2.3.4. Epoksi

İki bileşenli epoksi esaslı doyurma reçinesi CFRP' nin yüzeye olan aderansının sağlanması açısından önemli bir teşekkülü mevcuttur. Başlıca avantajlarından yüksek mekanik özellikleri ve her yüzeye uygulama kolaylığı sayılabilir. Deneylerde Sikadur 330 iki bileşenli epoksi kullanılmıştır. İki bileşen yalnız başlarına aktif olmayıp bire dört oranında karıştırılınca aktifleşmektedir. Karıştırıldıktan sonra 30 dakika içinde uygulanması gerekmektedir. 30 dakika içinde piriz almaya başlayan epoksi bir haftada nihai mukavemetine ulaşmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan epoksinin özellikleri Çizelge 2.6, 2.7 ve 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Sıcaklığa bağlı viskosite

Sıcaklık	Vikosite
+10°C	~10 000mPas
+23°C	~6 000mPas
+35°C	~5 000mPas

Çizelge 2.7. Termal stabilite

Kür süresi	Sıcaklık	HDT(ısıl deformasyon sıcaklığı)
7 gün	+10°C	+36°C
7 gün	+23°C	+47°C
7 gün	+35°C	+53°C
7 gün, ardından +10°C de 7 gün, +23°C	-	+43°C

Çizelge 2.8. Epoksi genel özellikler

Özellik	Değer
Kimyasal yapı	Epoksi reçine
Birim ağırlık (reçine karışımı)	1,31 kg/l (+23°C de)
Termal genişleme katsayısı	45 x 10 ⁻⁶ / °C (-10°C ile +40°C arası)
Servis sıcaklığı	(-40°C ile +50°C arası)
Çekme dayanımı	30 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Yapışma dayanımı	Kumlanmış yüzeyde >1 gün
Eğilme E-modülü	3800 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Çekme E-modülü	4500 N/mm ² (+23°C de 7 günlük)
Kopma uzaması	%0,9 (+23°C de 7 günlük)
Termal dayanım	+50°C de sürekli etkiye dayanır

2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanışı

2.4.1. Güçlendirme işlemleri

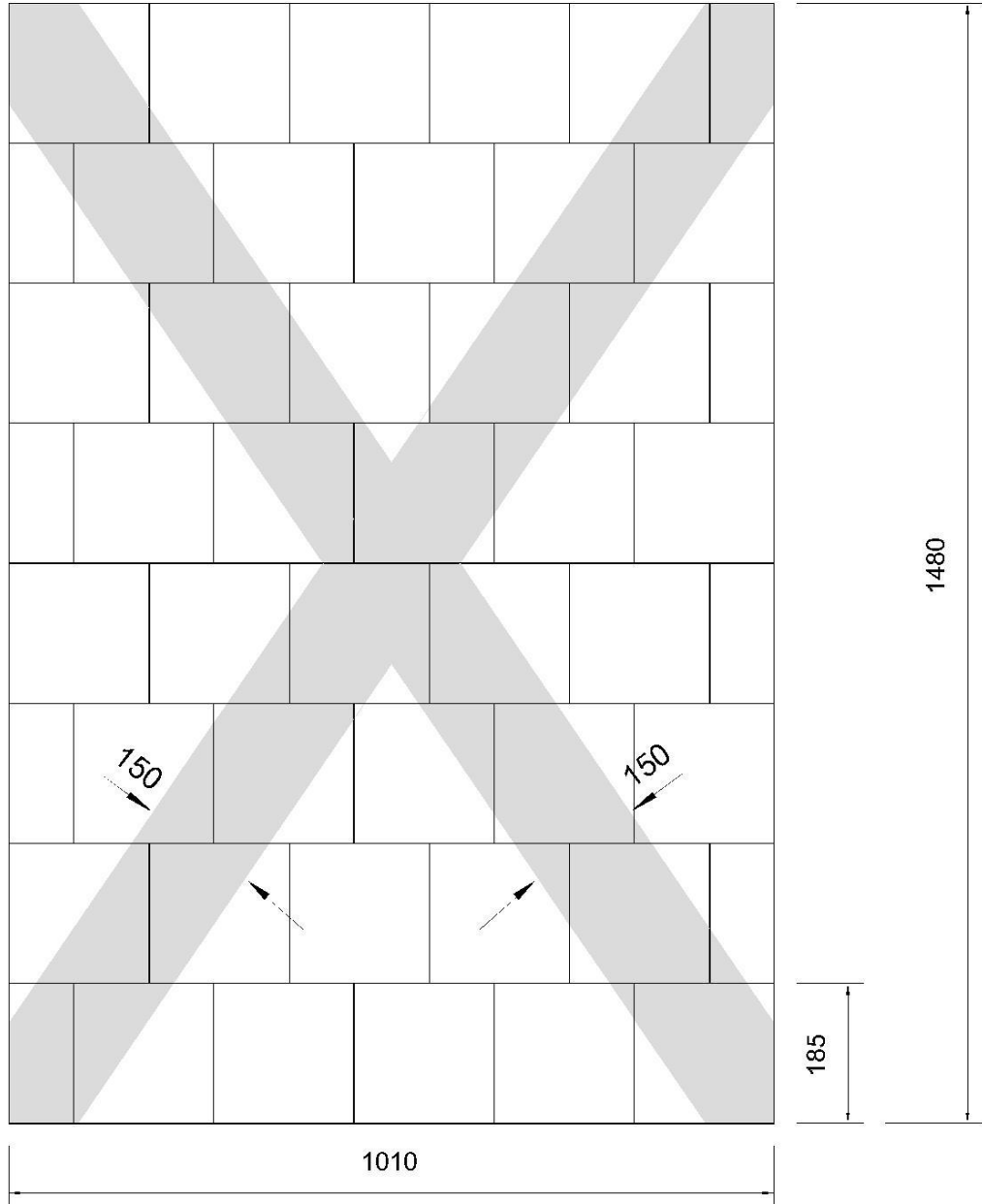
Uygun ölçülerde kesilen CFRP şeritler duvarlar üzerine uygun geometride çizilen detayların üzerine sürülen epoksi reçinesine yedirilerek yapıştırılmıştır. Güçlendirme için uygulanan diğer bir detay ankrajlardır. Ankraj uzunluğu 300 mm olup fan ankraj şeklinde sekiz eş parçaya bölünmüştür. Güçlendirme için seçilen yerleşim şeklinde CFRP şeritler yapıştırıldıktan sonra daha önceden açılan deliklerin yerleri bir tel yardımıyla işaretlendiği için bu teller kullanılarak CFRP ankrajları yerleştirilmiştir. 300x100 mm boyutlarında kesilen CFRP parçaları kullanılarak ankrajlar üretilmiştir. CFRP ankrajları ana taşıyıcı lifleri doğrultusunda sarılarak ankraj oluşturulmuştur. Sarılmadan önce ankrajların duvar yüzeyinde açılıp CFRP şerit üzerine fan şeklinde yapışacak bölümleri 8 eşit parçaya bölünerek önceden hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan ankrajlar deliklerin yerlerinin belirlenmesi için şeritler yapıştırılmadan bırakılan çelik telleri ucuna bağlanarak bu tel ile tuğla duvarın içerisinde açılan delikten geçirilmiştir. Daha sonra 8 eşit parçaya bölünen uç bölümler fan şeklinde açılarak CFRP şeritlerin üzerine yapıştırılmıştır. Son olarak CFRP ankrajın tuğla dolgu duvarı içerisinde kalan bölümüne şırınga ile epoksi enjeksiyonu yapılarak bu bölümünde yapıştırıcı alması sağlanmıştır. Ankraj üretimi sırasında alınmış fotoğraflardan bazı örnekler Resim 2.4 ve 2.5’ de sunulmuştur. Deney elemanlarına CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirme detayları Şekil 2.2- 2.11’ de verilmiştir. Deney elemanları iki seri olarak düzenlenmiştir. Seçilen beş farklı CFRP şerit yerleşim düzeni hem ankrajlı hem de ankrajsız olarak test edilmiştir.



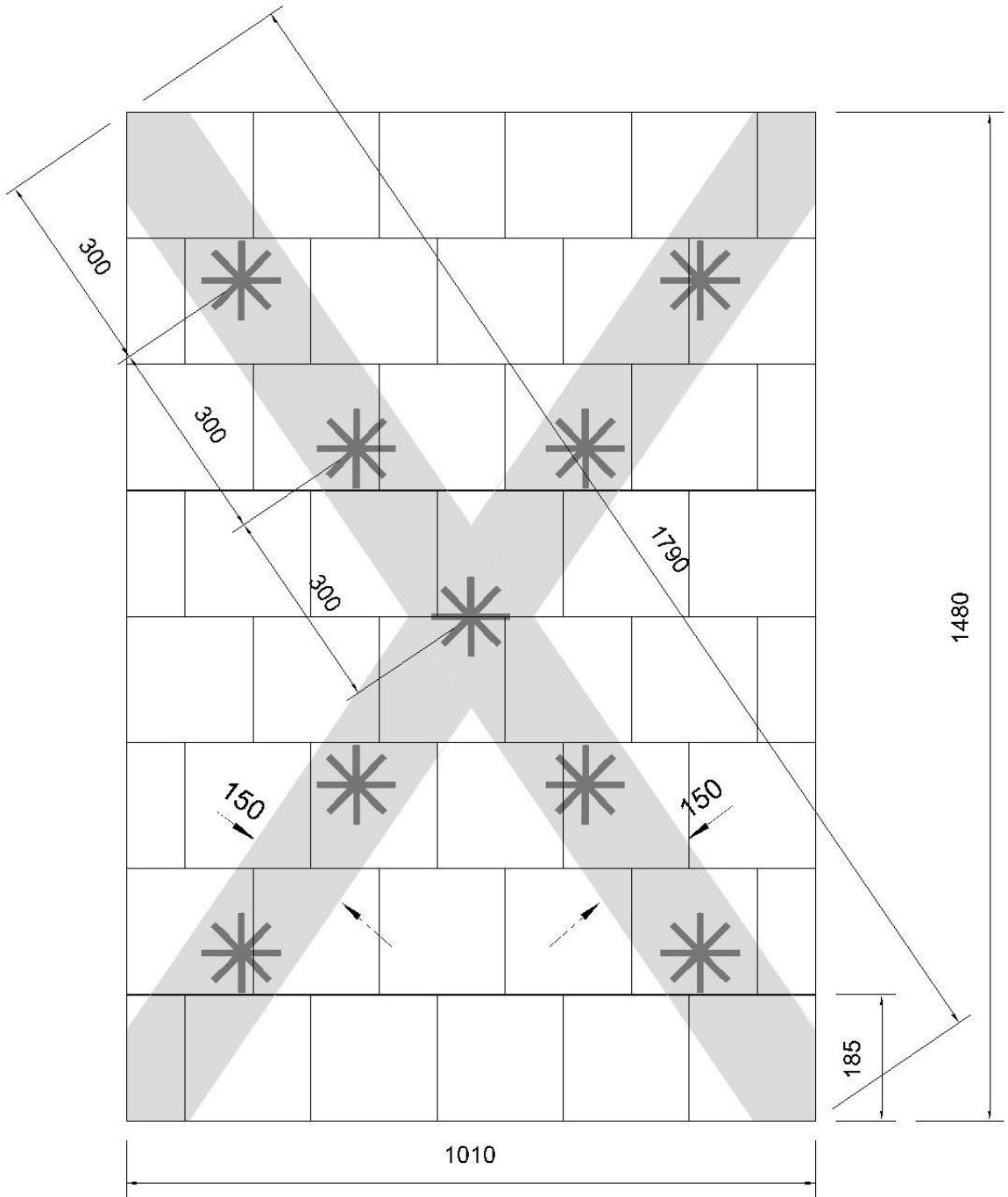
Resim 2.4. Ankraj detayı CFRP yüzeyi



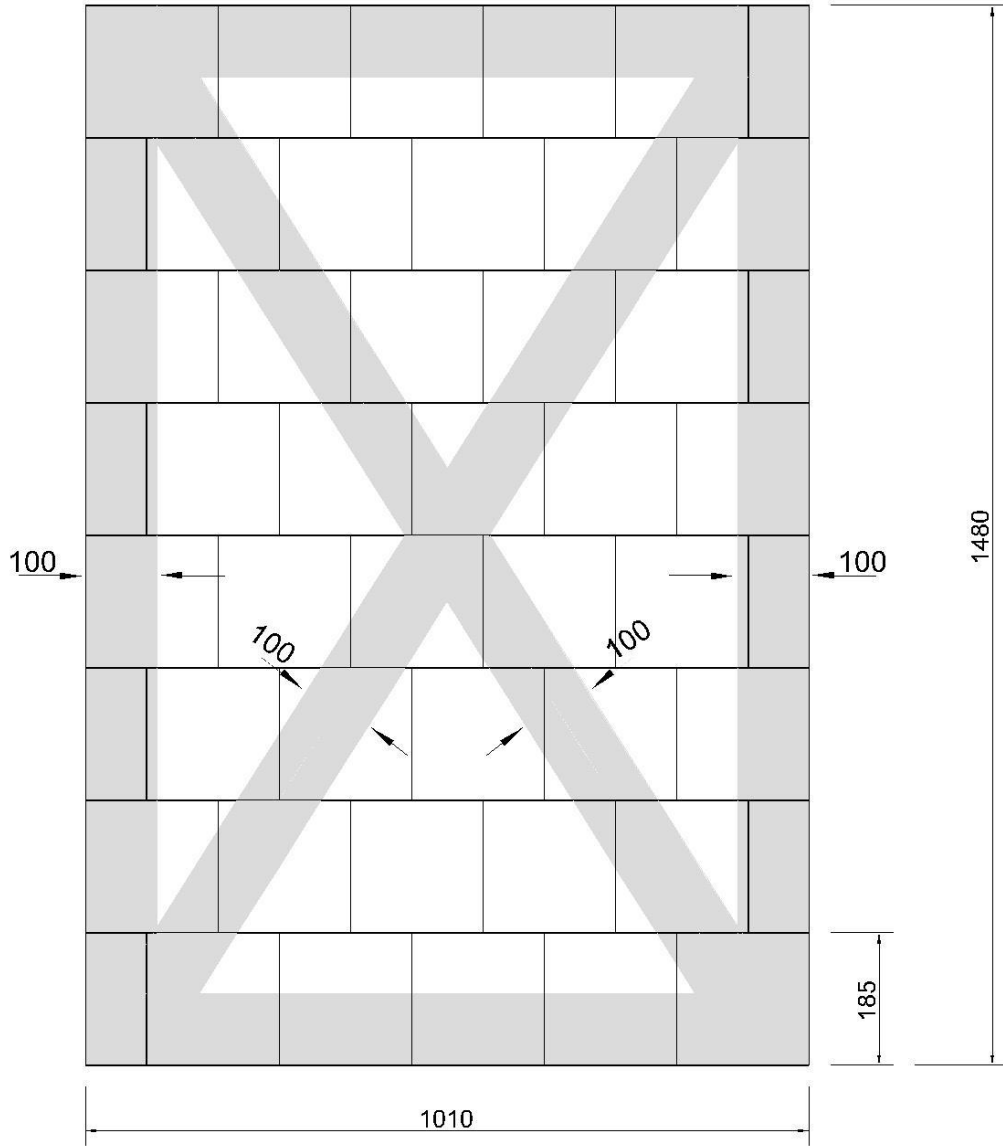
Resim 2.5. Ankraj detayı duvar yüzeyi



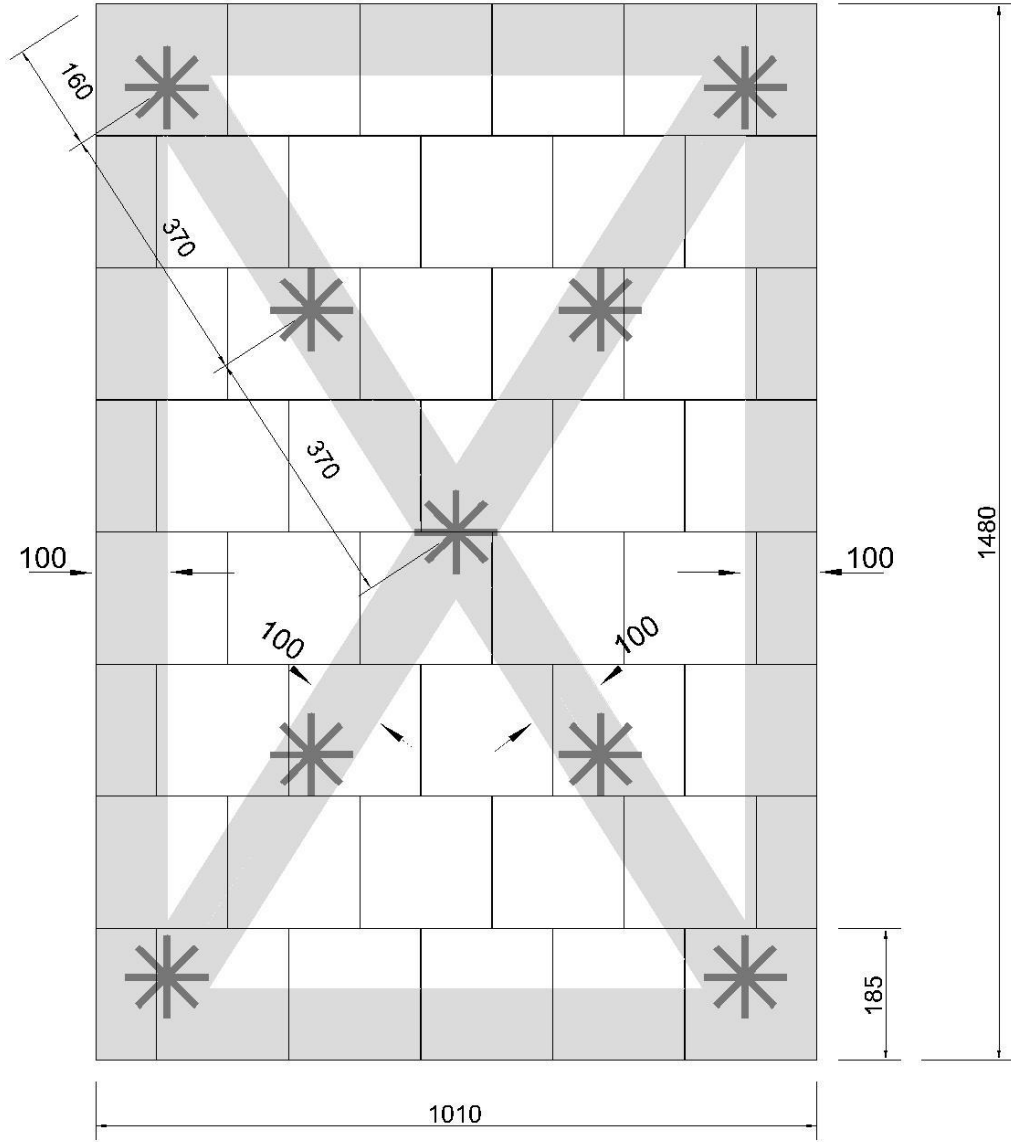
Şekil 2.2. 2 Numaralı deney elemanı



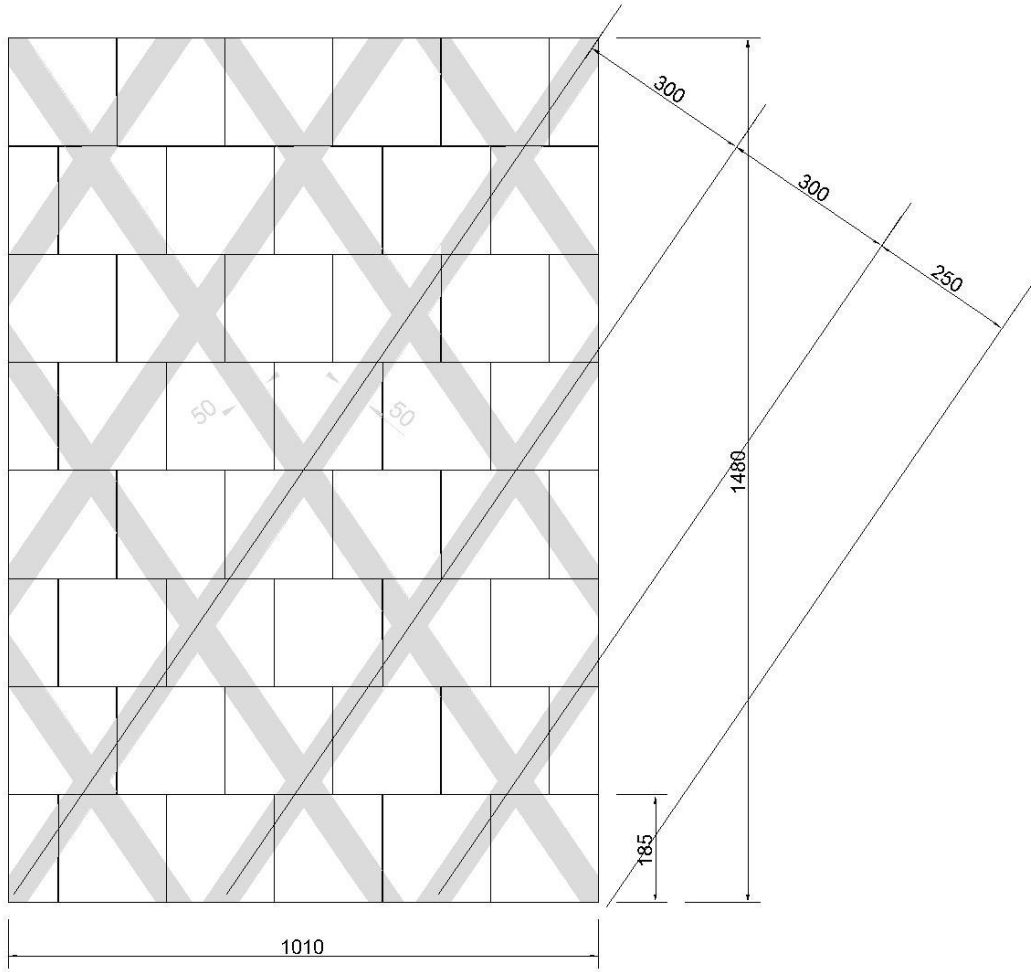
Şekil 2.3. 3 Numaralı deney elemanı



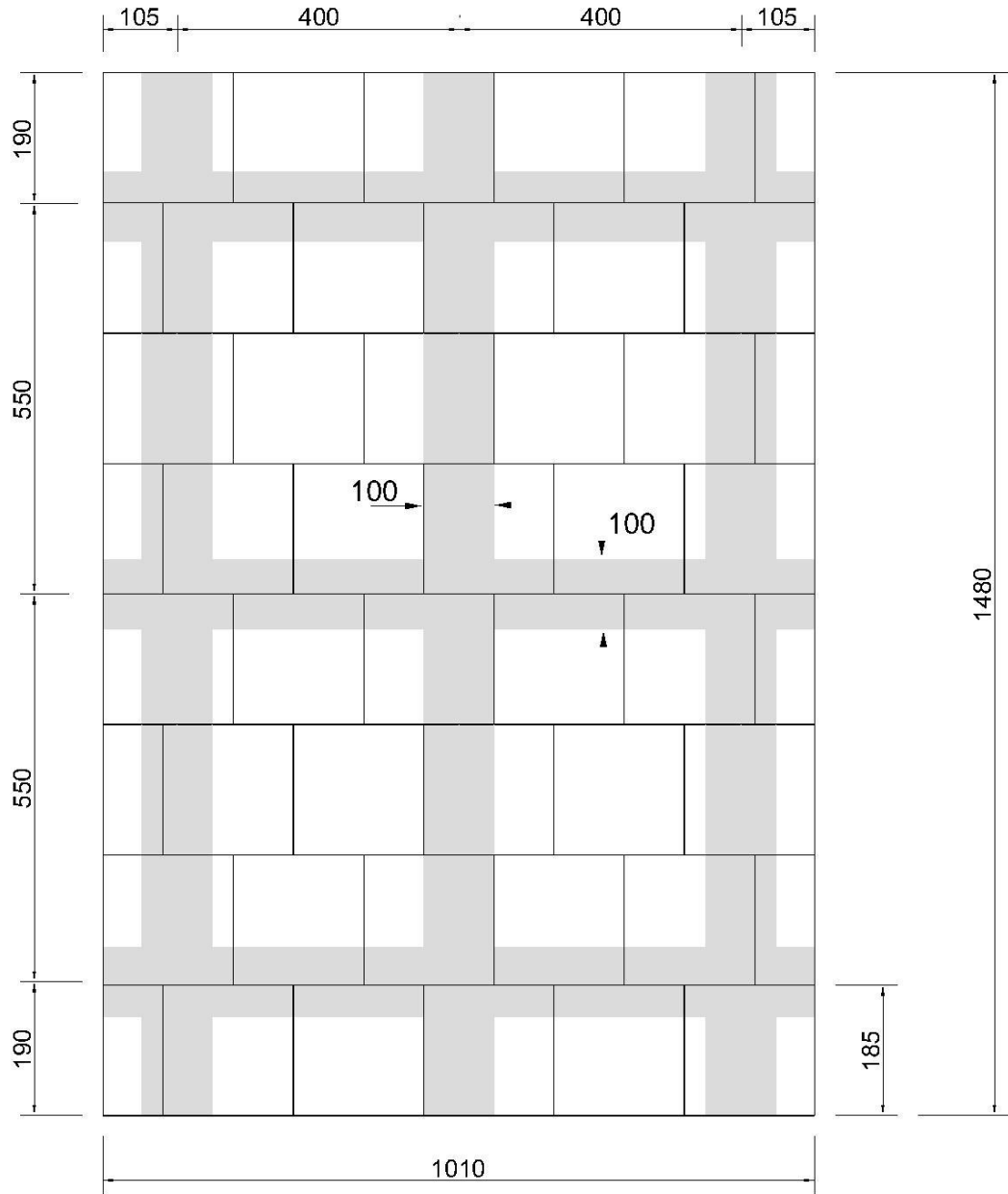
Şekil 2.4. 4 Numaralı deney elemanı



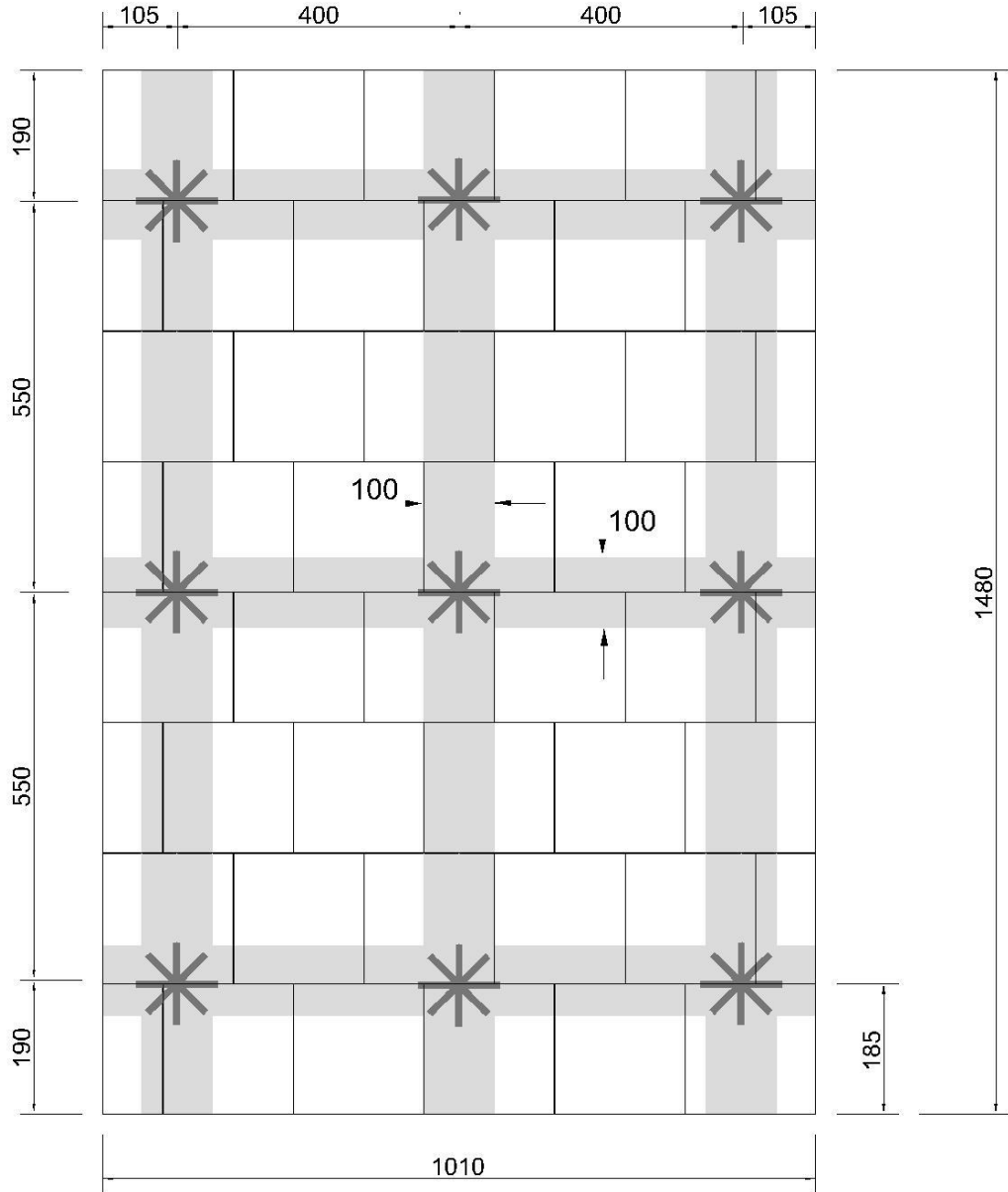
Şekil 2.5. 5 Numaralı deney elemanı



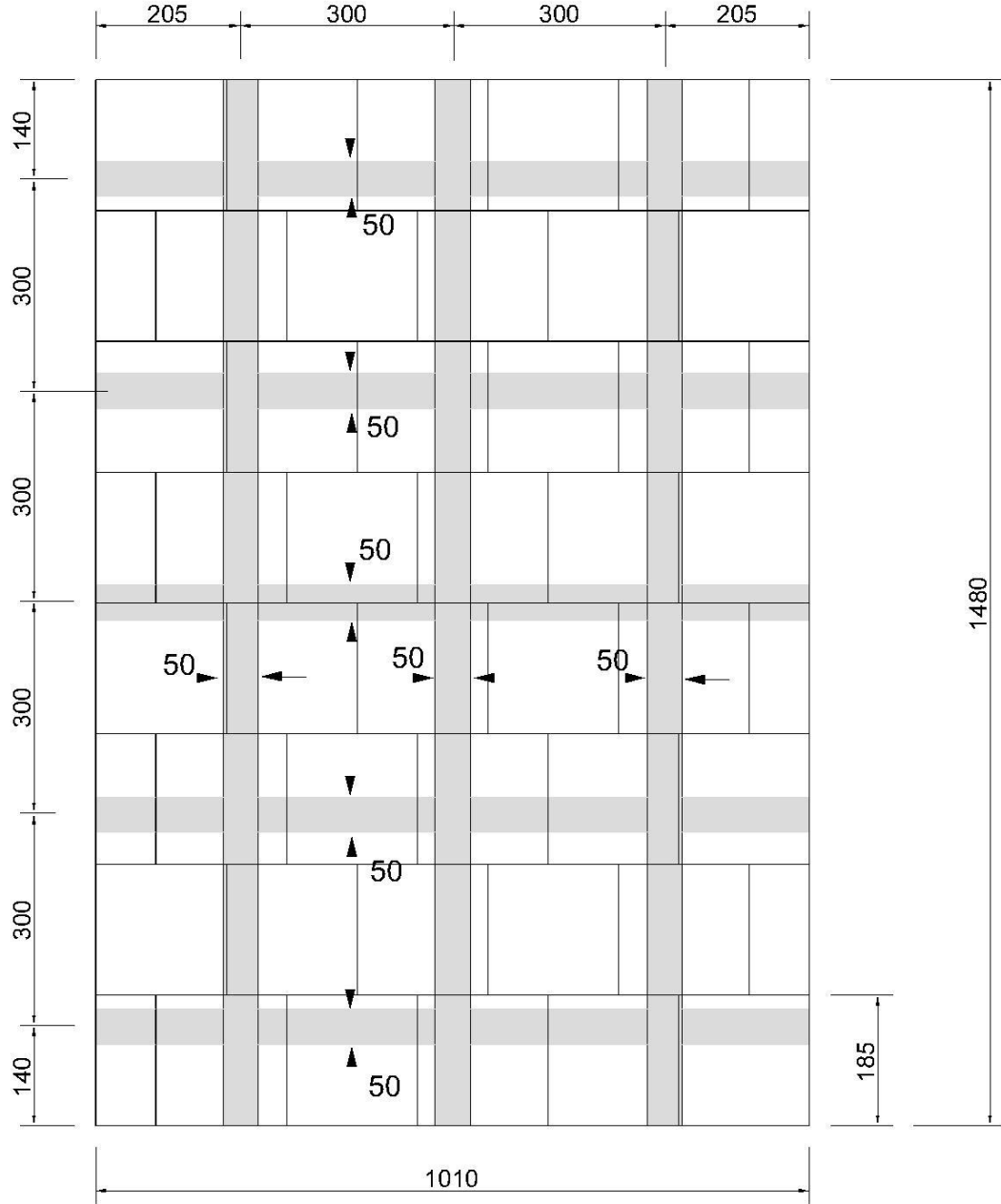
Şekil 2.6. 6 Numaralı deney elemanı



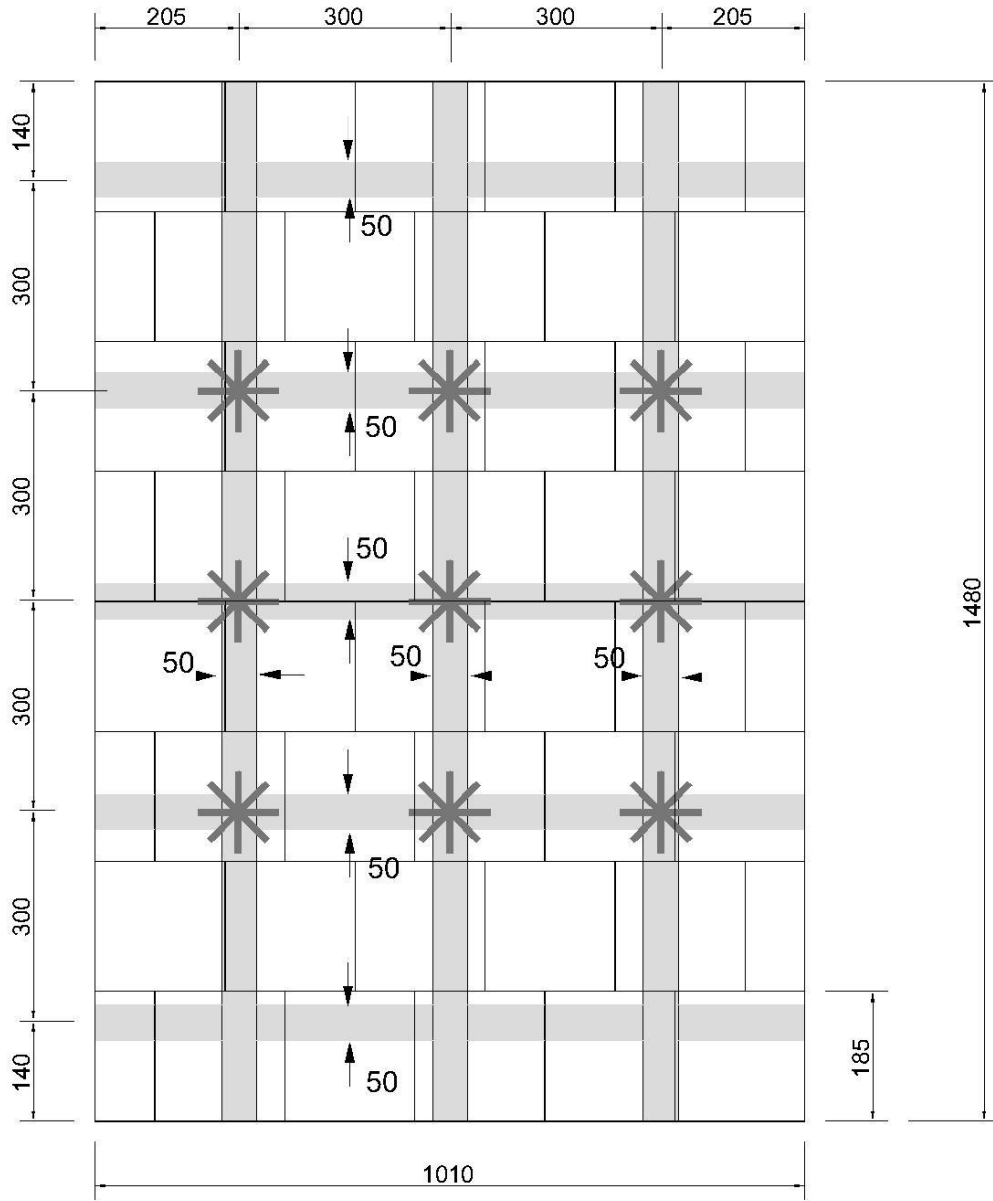
Şekil 2.8. 8 Numaralı deney elemanı



Şekil 2.9. 9 Numaralı deney elemanı



Şekil 2.10. 10 Numaralı deney elemanı



Şekil 2.11. 11 Numaralı deney elemanı

3. DENEY DÜZENEGİ

3.1. Genel

Deneyle Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan kapalı çerçeve sistemde gerçekleştirilmiştir. (Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği) Deneyle elemanları tek düze yükleme altında eleman kırılıncaya kadar devam ettirilmiştir. Yükleme hidrolik kriko vasıtasıyla yük hücresine aktarılmış ve yük hücresinden de elemana yükleme kirişli vasıtasıyla aktarılmıştır.



Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği

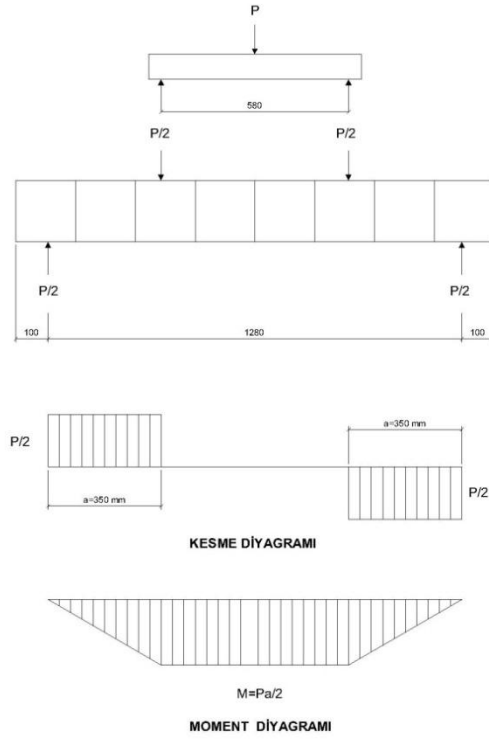
3.2. Yükleme ve Deney Düzeneği

Deney elemanının sağ ve sol uçlarından 100 mm mesafede mesnetlenmişlerdir. Reaksiyon kirişi ise mesnetlerden 300 mm mesafede deney elemanına etkimektedir. Yük hücresiyle yükleme kirişine gelen yük eleman üzerine aktarılmış ve elemanın etkilmiştir.(Resim 3.2. Yük hücresi ve yükleme kirişi)

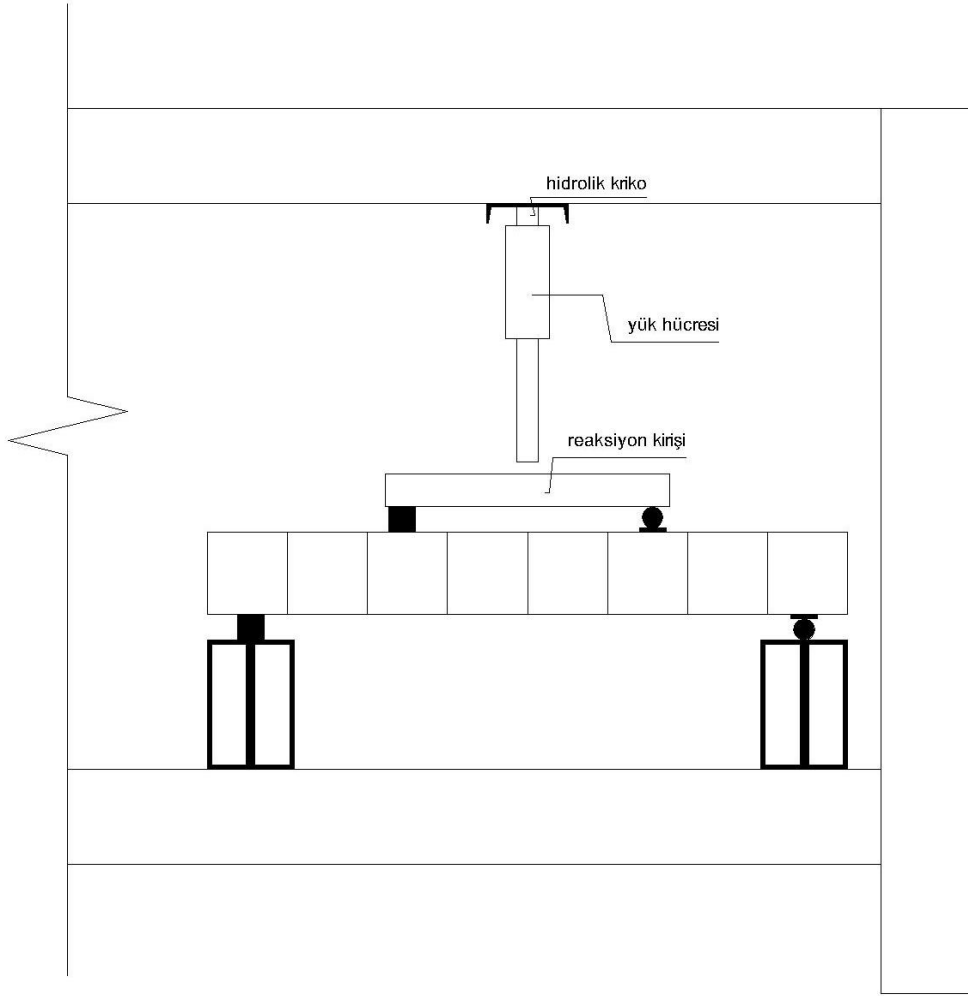


Resim 3.2. Yük hücresi ve yükleme kirişi

Deney elemanlarının dört nokta yüklemesi ile eğilme testi uygulanmıştır. Bu yükleme düzeni sonucunda deney elemanlarına oluşan moment ve kesme kuvveti tesiri grafikleri Şekil 3.1’de ve deney düzeneğinin şematik görünüşü ise Şekil 3.2 ‘de verilmiştir.



Şekil 3.1. Moment ve kesme diyagramları



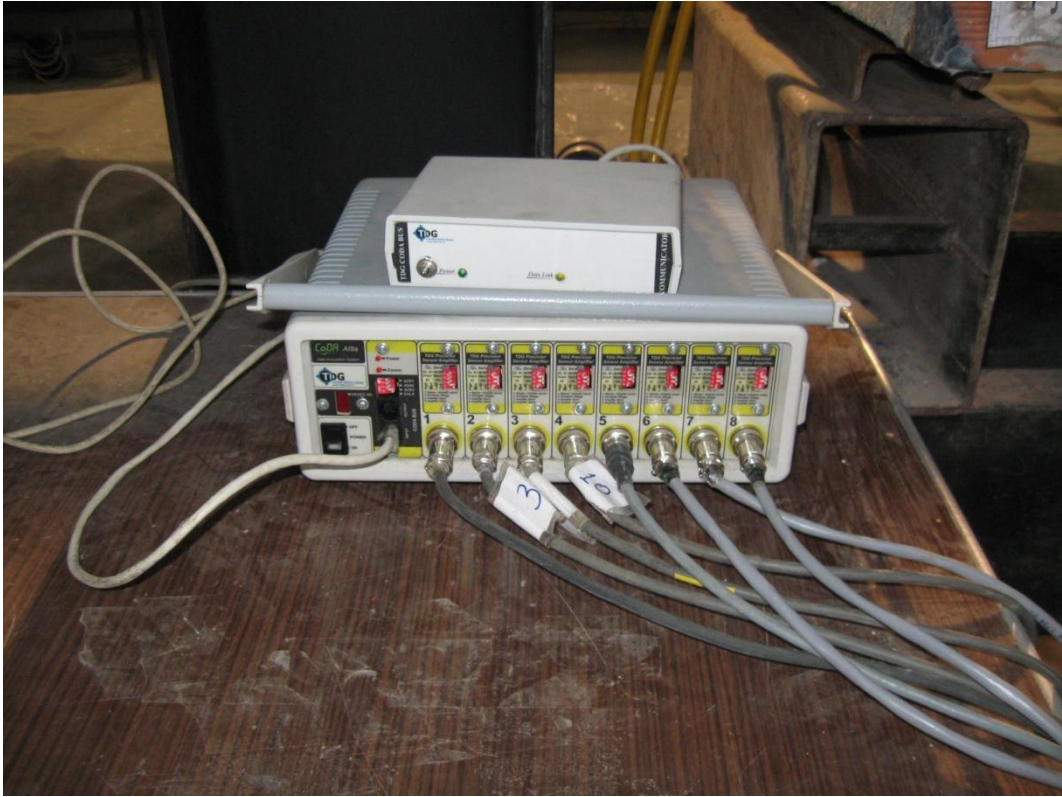
Şekil 3.2. Deney düzeneği

3.3. Ölçüm Düzeneği ve Veri Toplanması

Deney elemanı üzerinden ikisi mesnetlerde birisi açıklıkta olmak üzere toplamda üç adet LVDT ölçümü alınmıştır. Aynı zamanda CFRP şeritlerden 4 farklı noktadan birim deformasyon ölçer yardımıyla her şeritten ikişer adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Birim deformasyon ölçümleri mv cinsinden olup sonradan birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Veriler ve yükleme data logger vasıtasıyla bilgisayara kaydedilmiş ve sonradan gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Deneylerde kullanılan veri toplam asistemi Resim 3.3' de verilmiştir.

Mesnet oturması ölçümleri duvarın her iki ucundan 100 mm mesafede alınmıştır. Açıklığın tam ortasından tuğla duvar ota nota deplasmanı ölçülmüş ve deneyler bu grafik takip edilerek yapılmıştır. Deney elemanlarının performanslarının incelenmesinde bu değer kullanılmıştır.

Toplamda biri yük, üçü lineer deformasyon, dördü birim şekil değiştirme olarak toplamda sekiz farklı kanaldan ölçüm alınmıştır.



Resim 3.3. Veri toplama

Deney elemanın orta nokta net deplasman değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

- : sol mesnet çökmesi (mm)
- : eleman orta nokta deplasmanı (mm)
- : sağ mesnet çökmesi (mm)

CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri aşağıda yazılı olan eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{E}{2} \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot K$$

- : Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)
- : Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)
- : Uzama oranı (2 alınmıştır)
- : Kazanç faktörü (410 alınmıştır)
- : CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri

Rijitlik değeri deney elemanı rijitliğinde ilk değişimin yaşandığı yani yük-deplasman grafiğinde ilk eğim değişiminin meydana geldiği noktanın yük ve deplasman değerlerinin oranı olarak hesaplanmıştır.

Deplasman süneklik oranı maksimum taşıma gücüne ulaşılan noktanın yük değerinin %85 ine kadar düştüğü noktanın deplasman değerinin maksimum taşıma gücü noktasının deplasman değerine oranlanarak hesaplanmıştır.

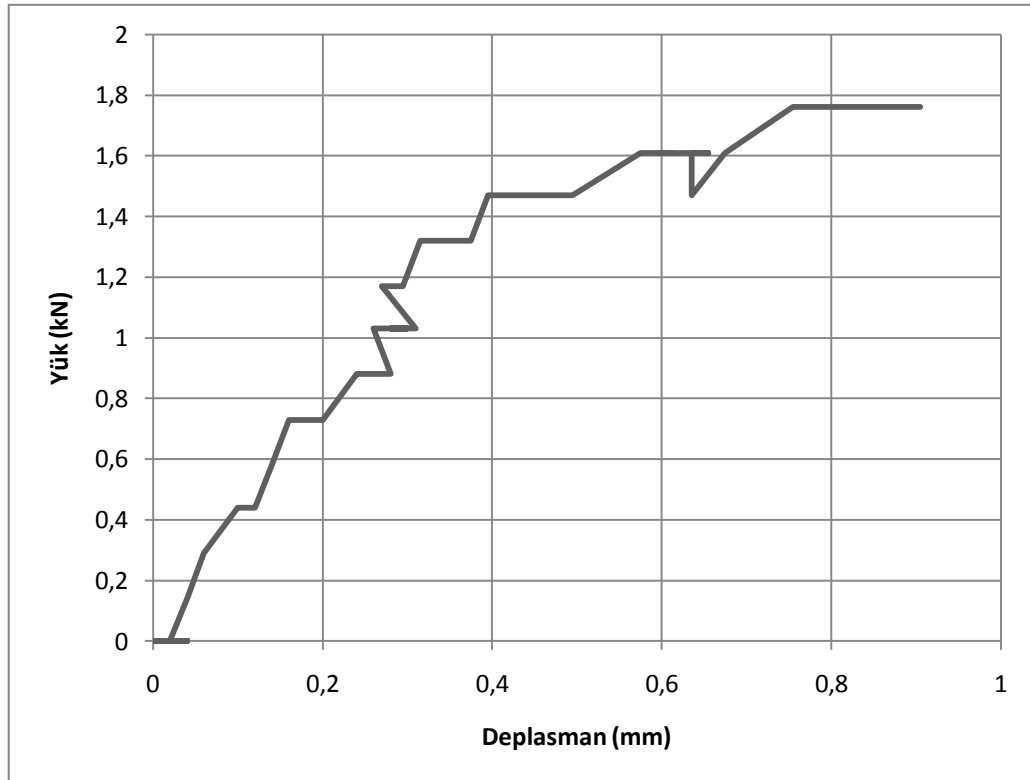
Enerji tüketim değerleri süneklik oranının hesaplanmasında kullanılan göçme noktası olarak kabul edilen nokta olan maksimum taşıma gücü değerinin %85' ine düştüğü noktaya kadar yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanı hesaplanarak belirlenmiştir.

4. DENEYLER

4.1. Deney elemanı 1 (referans)

Referans elemanı güçlendirme uygulanmadan test edilmiştir. Bu elemandan elde edilen sonuçlar, ankrajlı ve ankrajsız güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin performansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Referans elemanı 1,76 kN gibi çok düşük bir yük değerinde ikinci derzin açılmasıyla (Resim 4.1, Resim 4.2) göçmüştür. Göçme yüküne karşılık gelen maksimum net deplasman 0,9 mm olarak ölçülmüştür. Referans elemanına ait yük deplasman grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. Referans elemanına ait rijitlik 1,85 kN/mm olarak hesaplanmış, göçme yüküyle maksimum yük aynı olduğu için deplasman süneklik oranı 1,0 olarak bulunmuştur. Ayrıca referans elemanı 53,91 kN-mm enerji tüketim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.1. Referans elemanı yük deplasman grafiği



Resim 4.1. Referans elemanı derzden ayrılma



Resim 4.2. Referans elemanı derzden ayrılma genel

4.2. Deneysel Eleman 2

Deneysel eleman-2 150 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin tuğla dolgu duvarının diyagonaline yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Deneysel elemanında güçlendirme için CFRP ankraj kullanılmamıştır (Resim4.3). Deneysel elemanın taşıdığı maksimum yük 8,22 kN olarak elde edilmiştir. Rijitliği 1,34 kN/mm gibi referans elemanına göre daha düşük olsa da taşıdığı yük açısından referans elemanının dört katına ulaşmıştır. Deneysel elemanını taşıma gücüne ulaştığı ana karşılık gelen deplasman 6,15 mm olarak ölçülmüştür. Göçme yükü maksimum taşıma gücünün %85'i olarak 6,99 kN olarak hesaplanmış ve bu yük düzeyine karşılık gelen deplasman ise 6,89 mm olarak ortaya çıkmıştır. Elemanın süneklik oranı ise 1,12 olarak hesaplanmıştır. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Deneysel eleman 37,06 kN-mm enerji tüketmiştir.



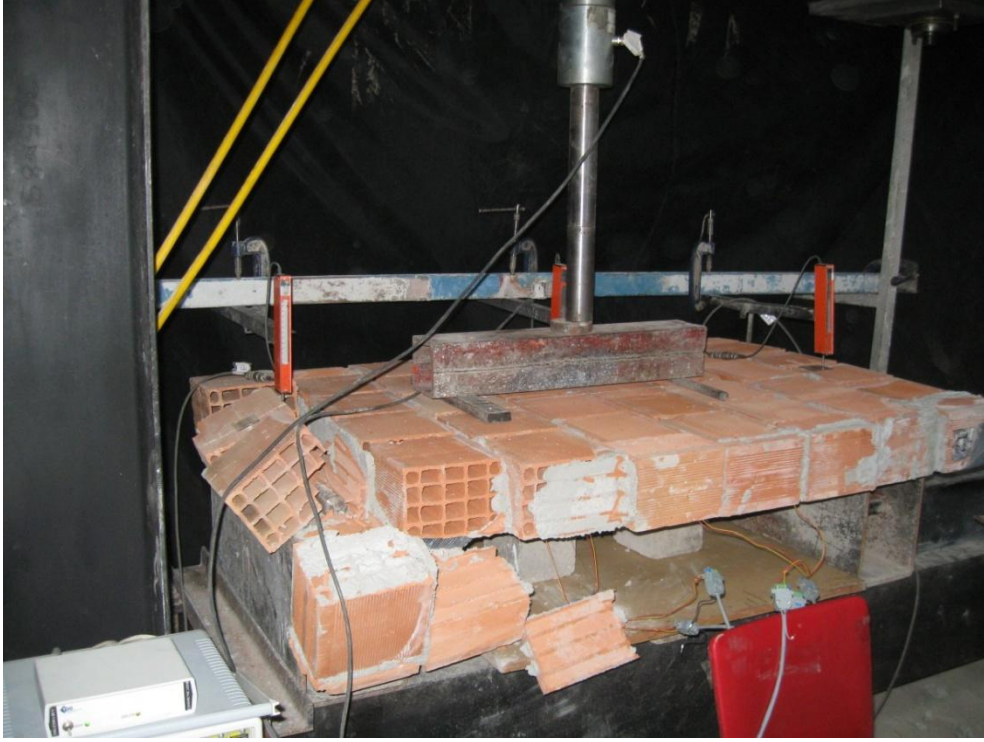
Şekil 4.2. 2 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

Deney elemanı göçme yüküne karşılık gelen yükte sol mesnedi ezerek (Resim 4.4) göçmeye uğramıştır. Oldukça gevrek bir kırılma gözlemlenmiştir.

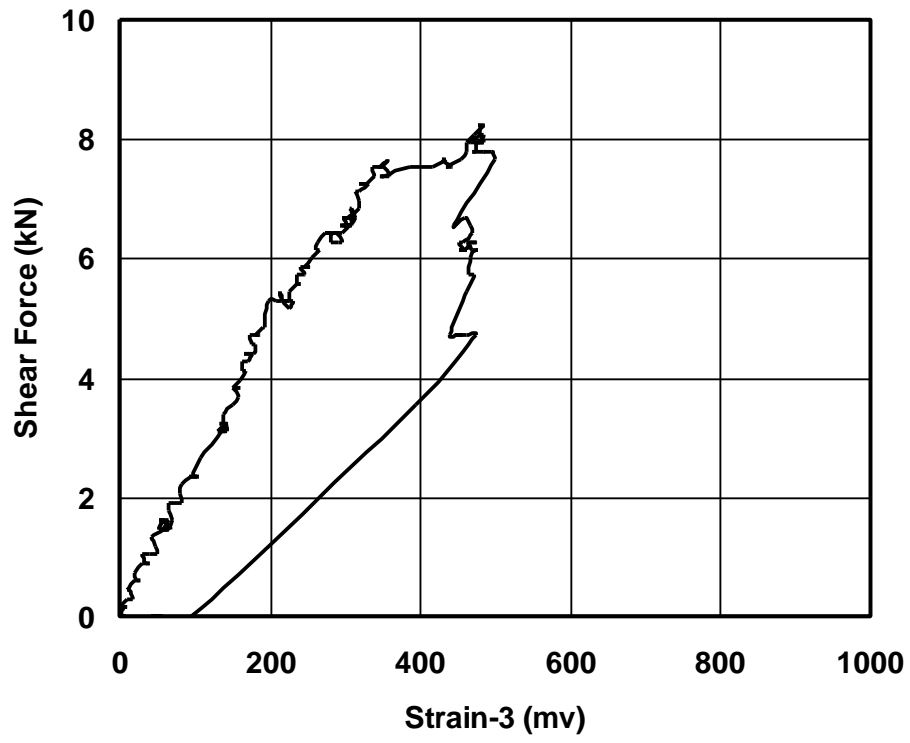
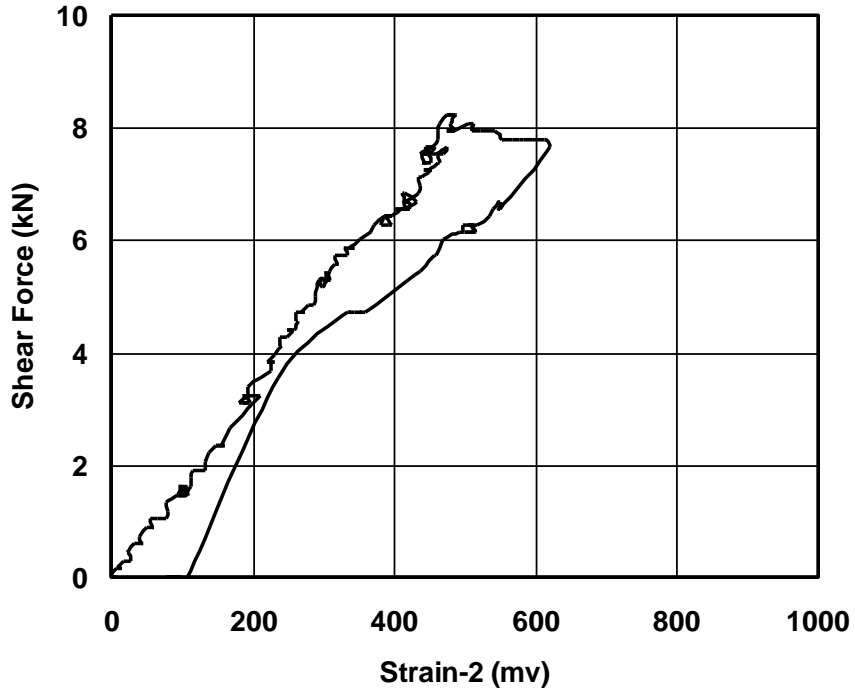
Bunun yanında CFRP şeritlerden ikişer adet birim deformasyon ölçerlerle (Şekil 4.3) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.4'de verilmiştir.



Resim 4.3. 2 Numaralı elemanı



Resim 4.4. Mesnet ezilmesi



Şekil 4.4. Deney elemanı-2'nin birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

4.3. Deneysel Eleman 3

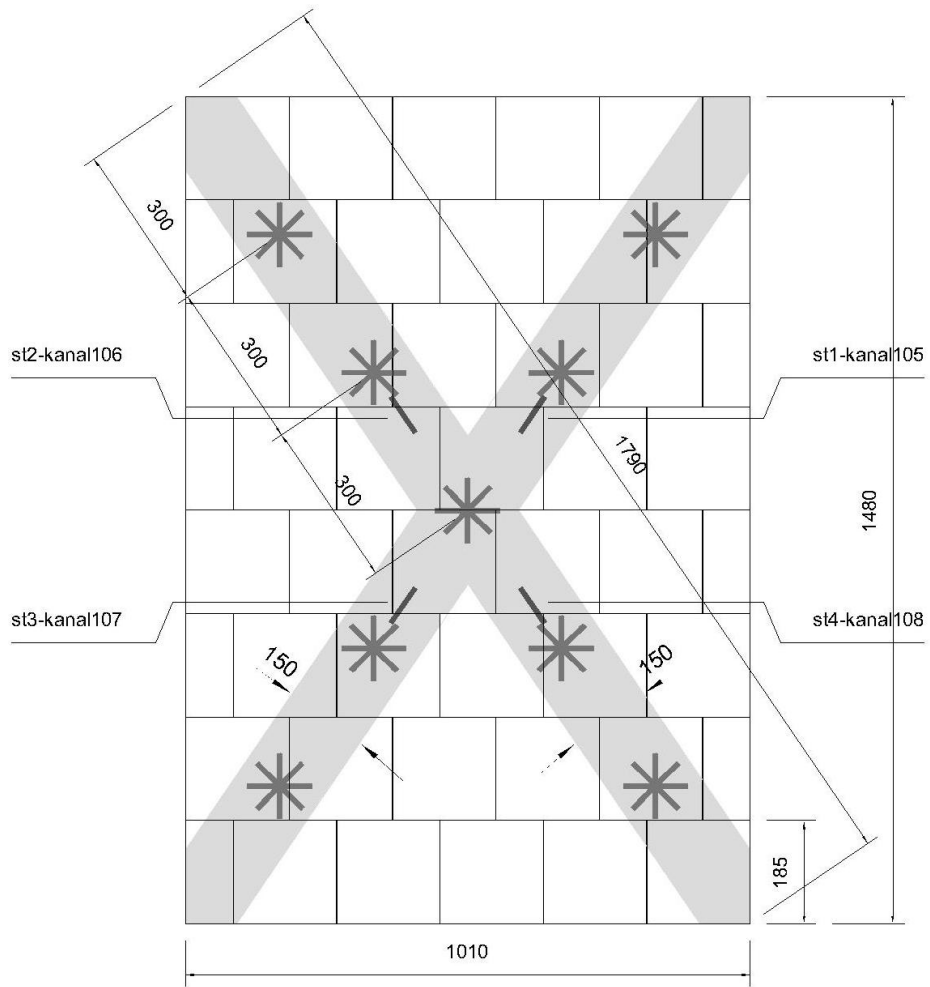
Deneysel eleman-3 150 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin tuğla dolgu duvarın diyagonaline yerleştirilmesi ile güçlendirilmiş olup ayrıca CFRP ankrajları kullanılmıştır (Resim 4.5). Deneysel eleman maksimum 13,82 kN yük taşımıştır. Deneysel eleman 12,50 kN yük düzeyine kadar rijitlikte bir değişim meydana gelmeden yük taşımış ve bu yüke karşılık olarak 7,50 mm deformasyon yapmıştır. Göçme yükü 10,63 kN ve bu yük düzeyine karşılık gelen deplasman değeri 18,79 mm'dir. Rijitlik değeri 1,67 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 2,51 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel eleman 237,38 kN-mm'lik bir enerji tüketimi kapasitesi sahiptir. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.5 'de verilmiştir. Ayrıca deneysel elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet birim deformasyon ölçümü alınmış (Şekil 4.6) olup, yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.7'de verilmiştir.



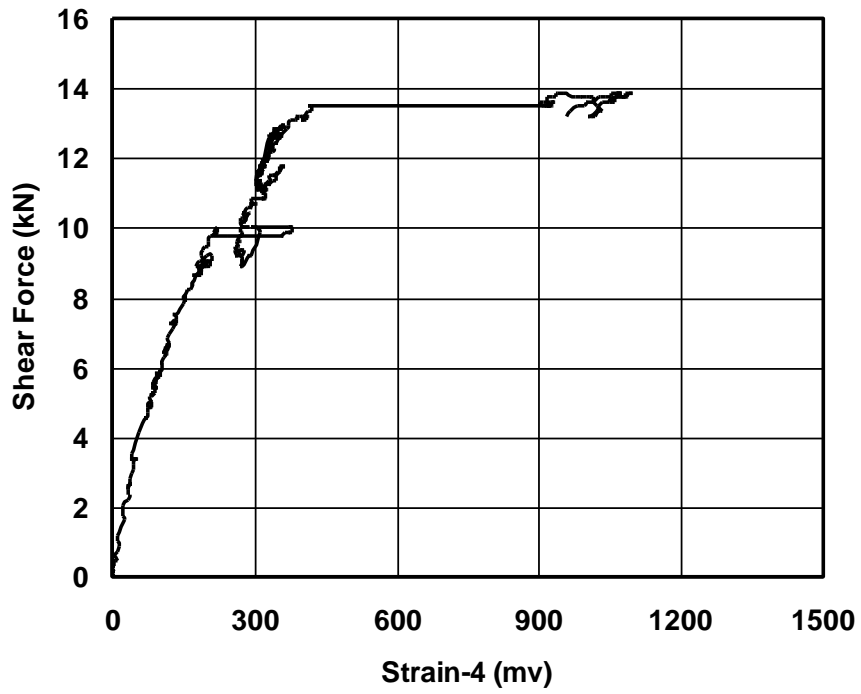
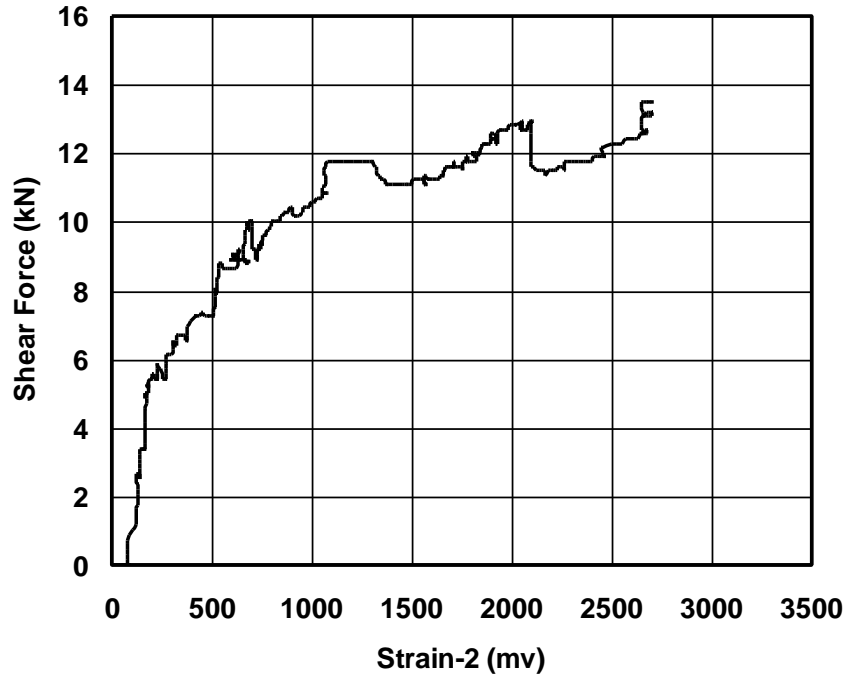
Şekil 4.5. 3 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.3. 3 Numaralı elemanı



Şekil 4.6. 3 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.7. Deney elemanı-3'ün birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

Ankrajların da etkisiyle yüzeye çok sıkı aderans sağlayan CFRP şeritler davranışı oldukça sünek hale getirmiştir. Yük 12 kN civarında iken sağ mesnet birinci ve ikinci sıra tuğlaların derz ve tuğlalarında çatlamlar meydana gelmiş ve bu çatlamlar sebebiyle CFRP yüzeyden ayrılma eğilimi göstermiştir (Resim 4.6, Resim 4.7). Maksimum yük olan 13,82 kN da reaksiyon kirişi sol mesnedi altı tuğlalar ezilmiş ve bu noktada sonra sağ mesnet birinci ve ikinci sıra tuğlaları kırılarak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır (Resim 4.6). Ayrıca yer yer ankrajlar etrafında tuğla çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir (Resim 4.7).



Resim 4.4. CFRP yüzeyden ayrılma



Resim 4.5. 2. sıra tuğlaların kırılması



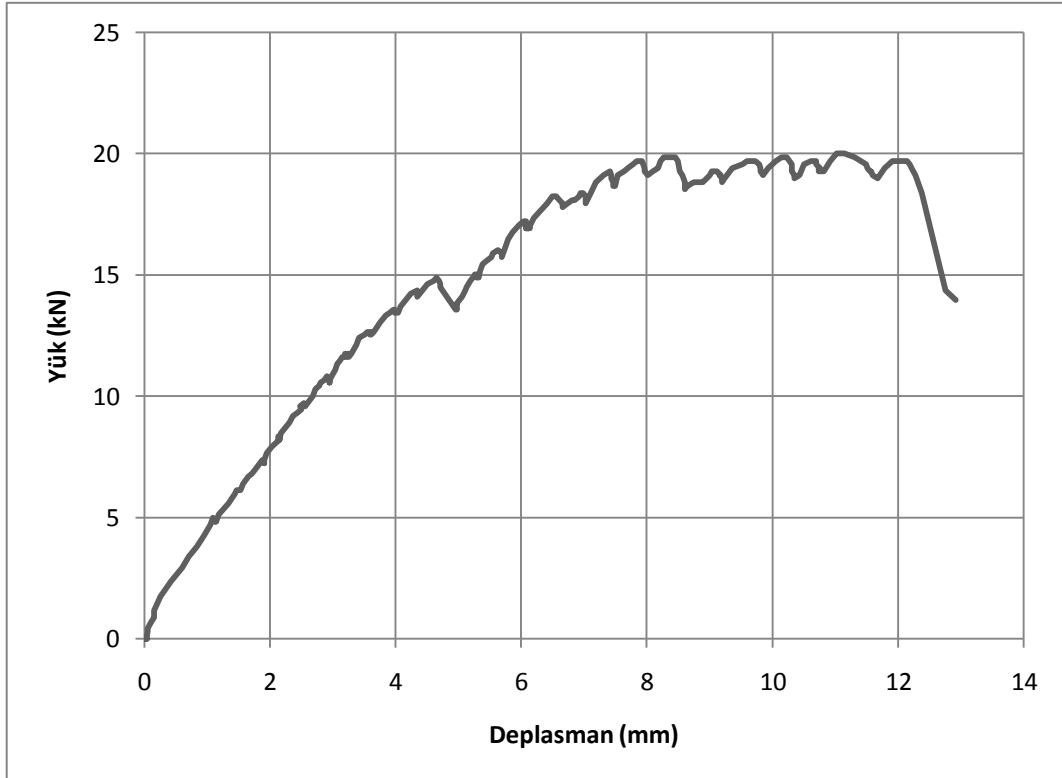
Resim 4.6. Reaksiyon kirişi mesnet altı kırılması



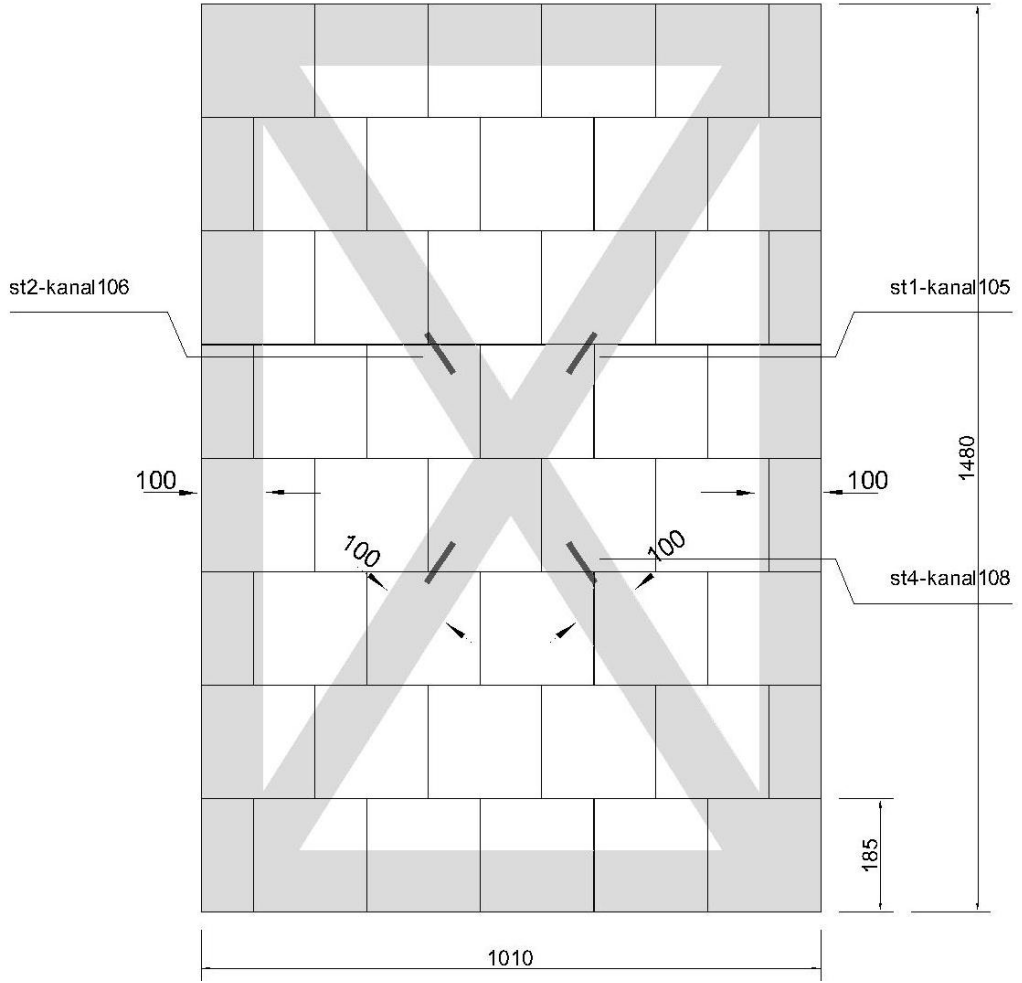
Resim 4.7. Ankraj çevresi tuğla çatlakları

4.4. Deneysel Eleman 4

Deneysel eleman-4 100 mm genişliğindeki diyagonal şeritler ile aynı genişlikteki yatay ve düşey şeritlerden meydana gelen bir desen ile güçlendirilmiştir. CFRP ankrajı kullanılmamıştır (Resim 4.10). Deneysel elemanın maksimum 20 kN yük taşımıştır. Deneysel eleman 19,70 kN yükte rijitliğinde değişim meydana gelmiş ve bu yüke karşılık olarak 7,84 mm deformasyon yapmıştır. Akma yükünün %85 olan 16,75 kN yüke karşılık 15,87 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,51 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 2,02 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel elemanı 190,73 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel yük deplasman grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir. Ayrıca deneysel elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.9) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.10'da verilmiştir.



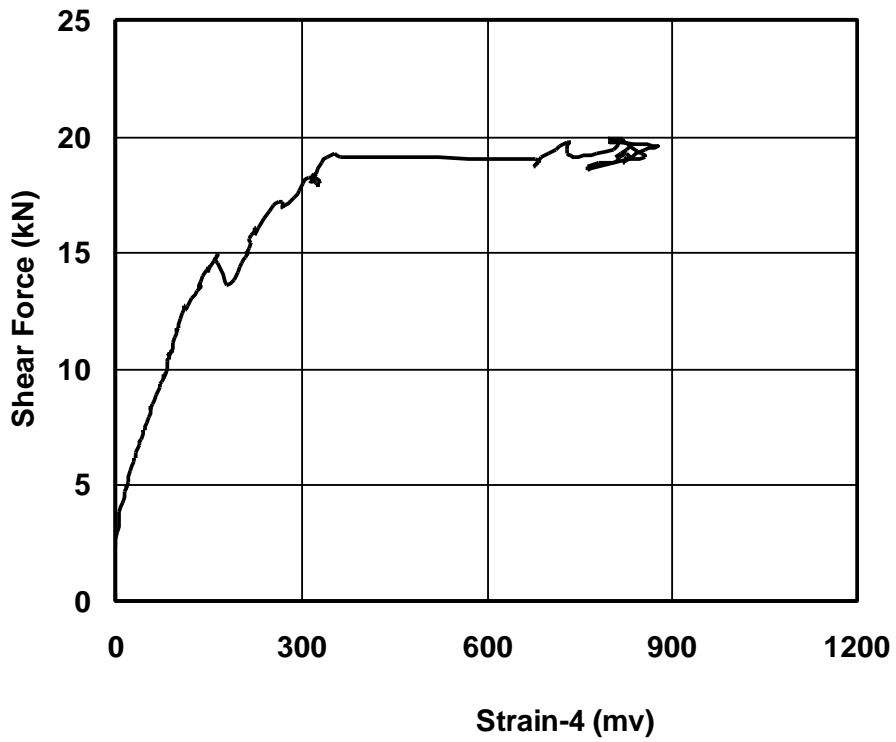
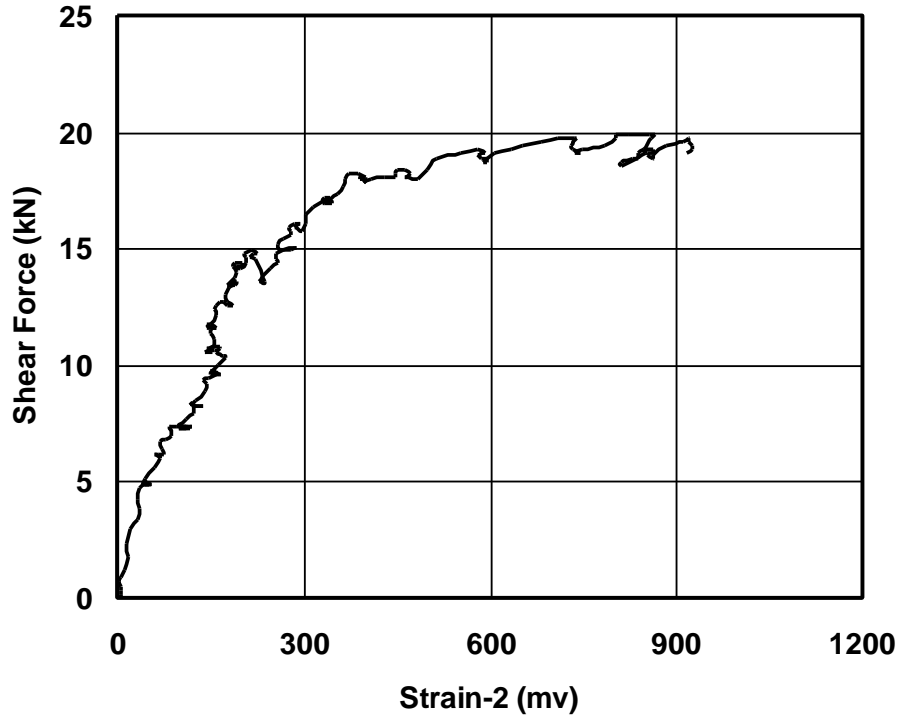
Şekil 4.8. 4 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Şekil 4.9. 4 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli

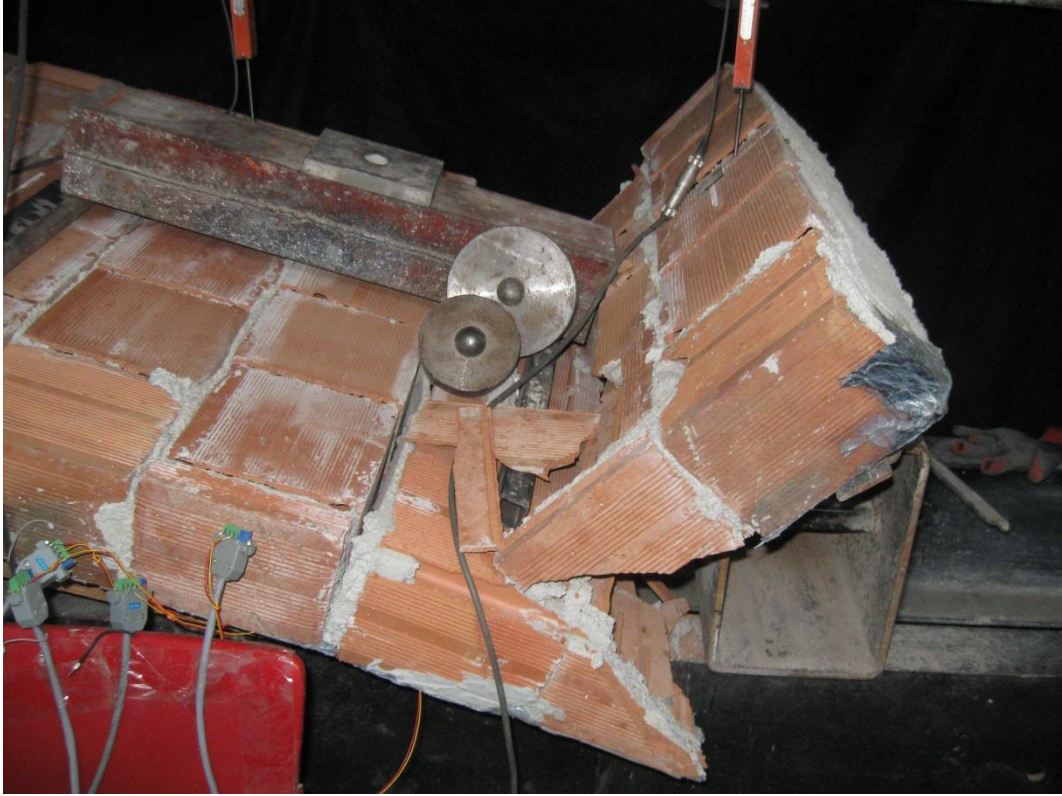


Resim 4.8. 4 Numaralı deney elemanı



Şekil 4.10. Deney elemanı-4'ün birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

Çaprazların yanı sıra kapasiteyi artırmak adına dikey CFRP şeritler eklenen elemanın taşıma gücünde artış sağlanmıştır. Ayrıca 13 mm maksimum deformasyon yapmıştır. Kırılma anına kadar neredeyse hiç çatlak oluşmamış aşırı gevrek bir kesme kırılmasıyla eleman kesme açıklığından kesme kırılmasıyla (Resim 4.9) göçmüştür. Üçüncü sıra tuğlaların da çoğunda kesme çatlağı boyunca kısmi kırılmalar meydana gelmiştir. Yüzeydeki ikinci sıra boyunca bütün CFRP şeritlerin koptuğu (Resim 4.10) gözlemlenmiştir. Kırılmada ikinci sıra tuğlaların hemen hepsi kırılmış (Resim 4.11) hatta ufak parçalar ayrılmıştır.



Resim 4.9. Kesme kırılması



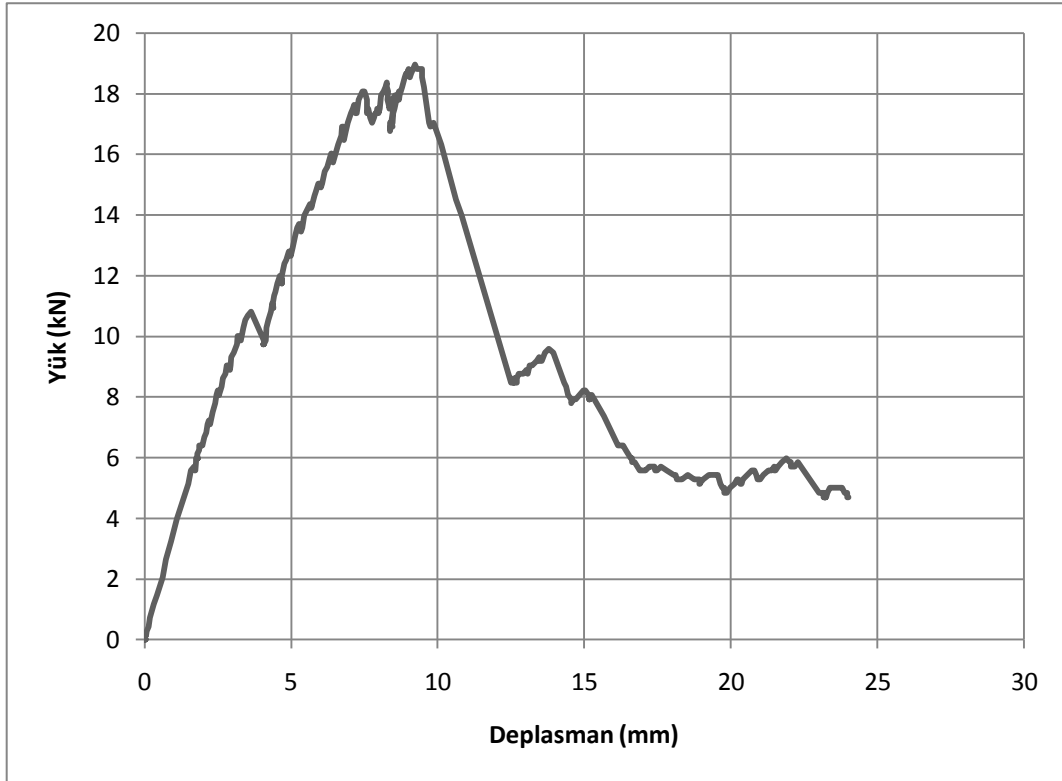
Resim 4.10. Kopmuş CFRP şerit



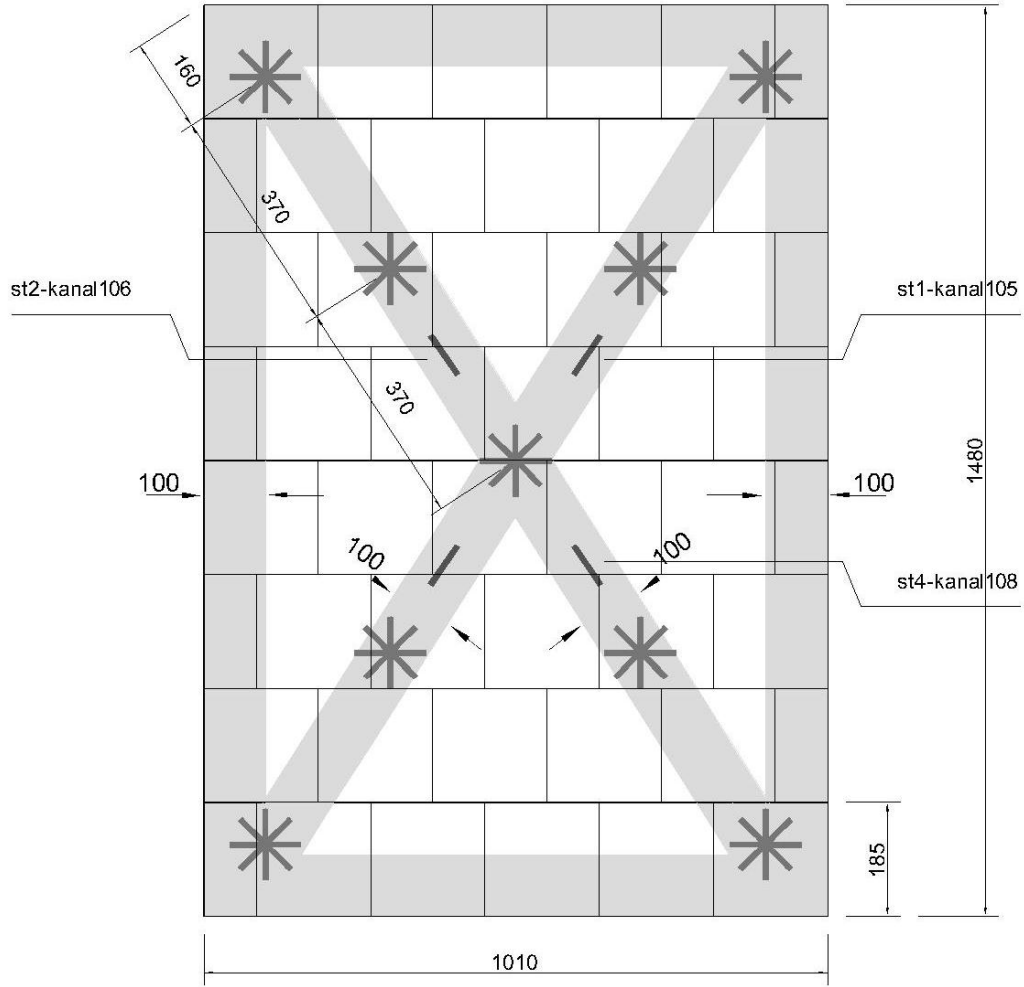
Resim 4.11. 2. ve 3. sıra tuğlaların kırılması

4.5. Deneysel eleman 5

Deneysel eleman-5 100 mm genişliğindeki diyagonal şeritler ile aynı genişlikteki yatay ve düşey şeritlerden meydana gelen bir desen ile güçlendirilmiştir. Ayrıca CFRP ankrajları da kullanılmıştır. Deneysel eleman maksimum taşıma gücüne 18,97 kN yük taşıyarak ulaşmıştır. Deneysel eleman 18,08 kN yük düzeyine rijitliğinde önemli sayılabilecek bir değişim olmadan ulaşmış ve bu yüke karşılık olarak 7,51 mm deformasyon yapmıştır. Maksimum taşıma gücünün %85 olan 15,37 kN yük düzeyinde göçme noktası olarak kabul edilmiş olup deneysel eleman bu noktaya gelene kadar 9,85 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,41 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 1,31 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel eleman 144,90 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.11 olarak verilmiştir. Ayrıca deneysel elemandaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.12) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.13'de verilmiştir.

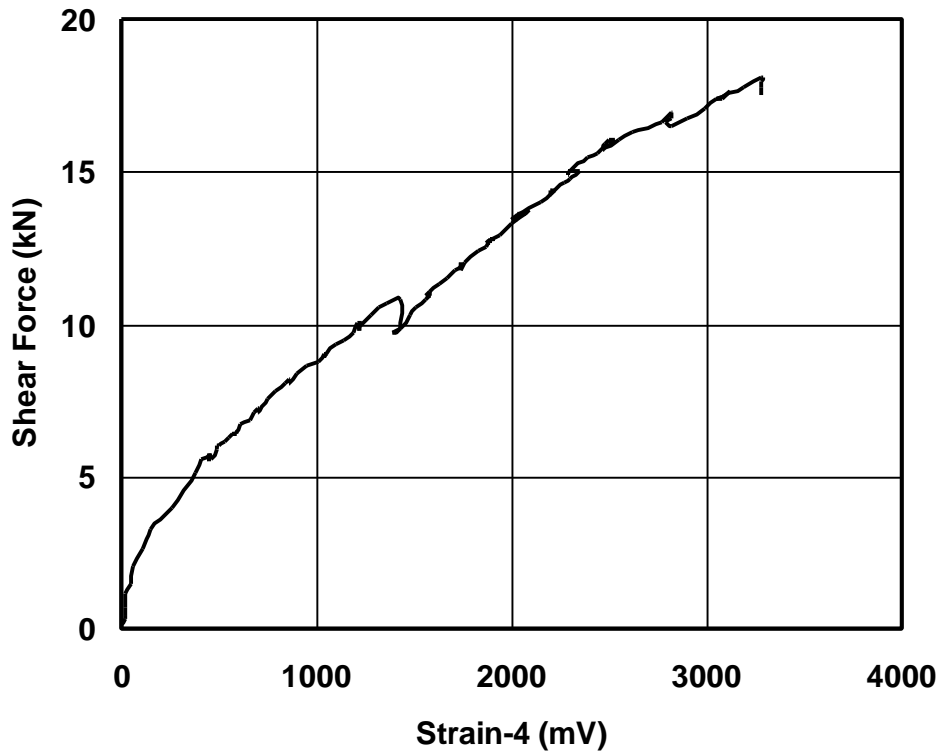
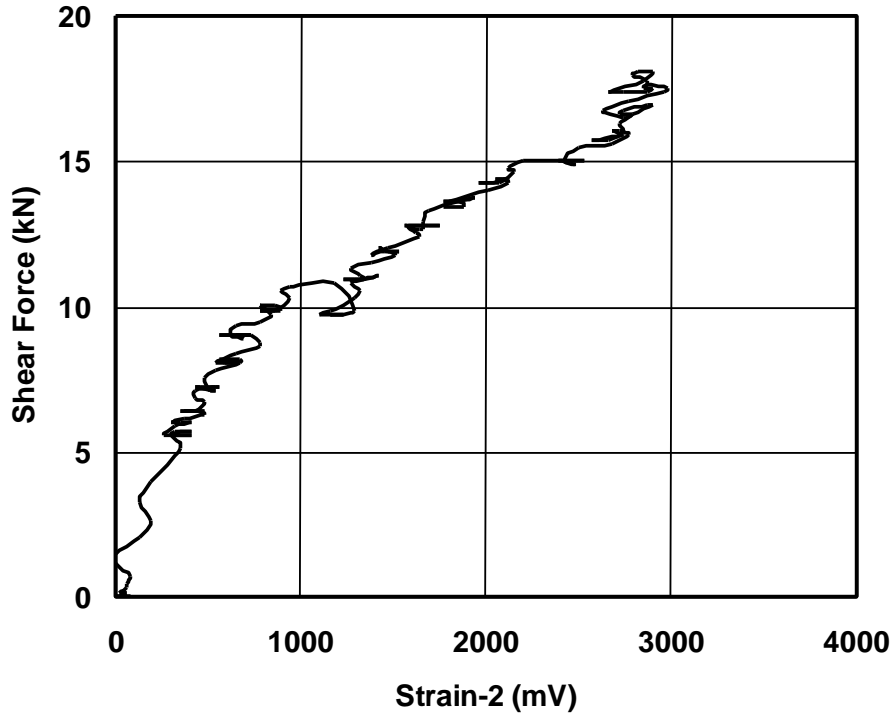


Şekil 4.11. 5 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Şekil 4.12. 5 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne ulaştıktan sonra sol kesme açıklığında ikinci sıra tuğlaların ana diyagonallerinde yer yer kesme çatlakları (Resim 4.12) oluşmuştur. Bu arada deney elemanı çatlağın gelişimine bağlı olarak yük kaybetmeye başlamıştır. Kesme çatlağına ve tuğlanın ezilmesine bağlı olarak kesme çatlağının geçtiği derz ve etrafında CFRP şeritlerinde yüzeyden ayrılmaların (Resim 4.13) olduğu görülmüştür. Deney elemanı kesme çatlaklarının tuğla diyagonali boyunca ilerlemesiyle tuğlaları kırmış ve göçmeye sebep olmuştur.



Şekil 4.13. Deney elemanı-5'in birim deformasyon ölçümlerinden örnekler



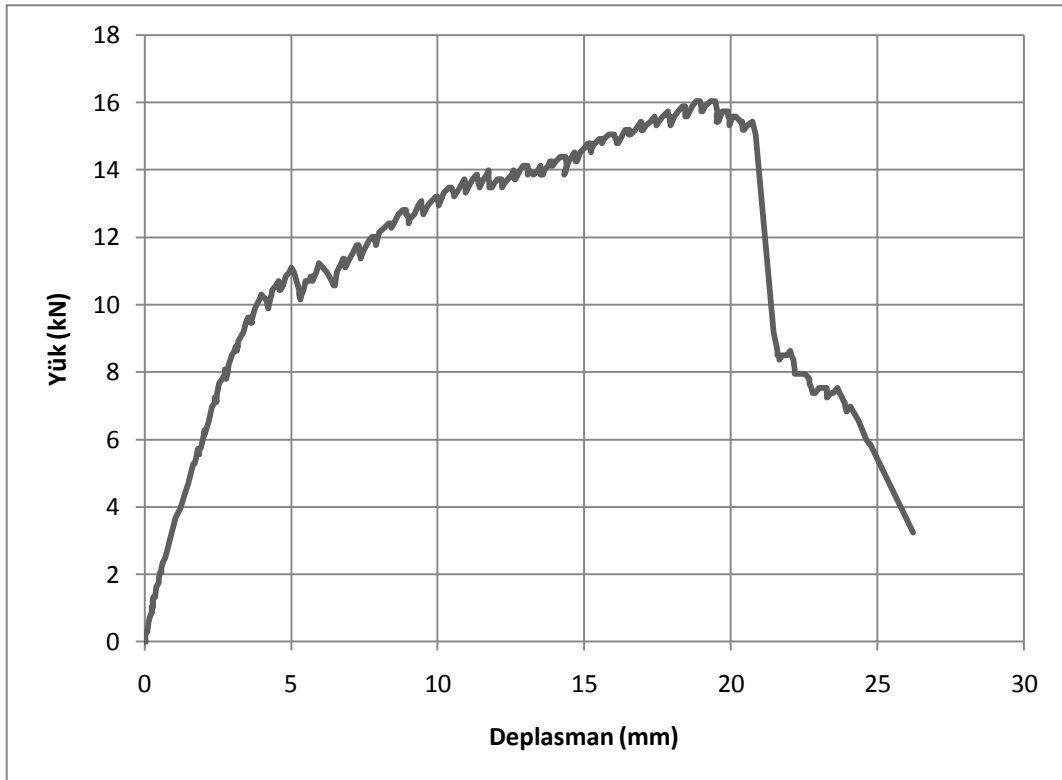
Resim 4.12. Kesme kırılması



Resim 4.13. CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılması ve tuğlaların parçalanması

4.6. Deneysel Eleman 6

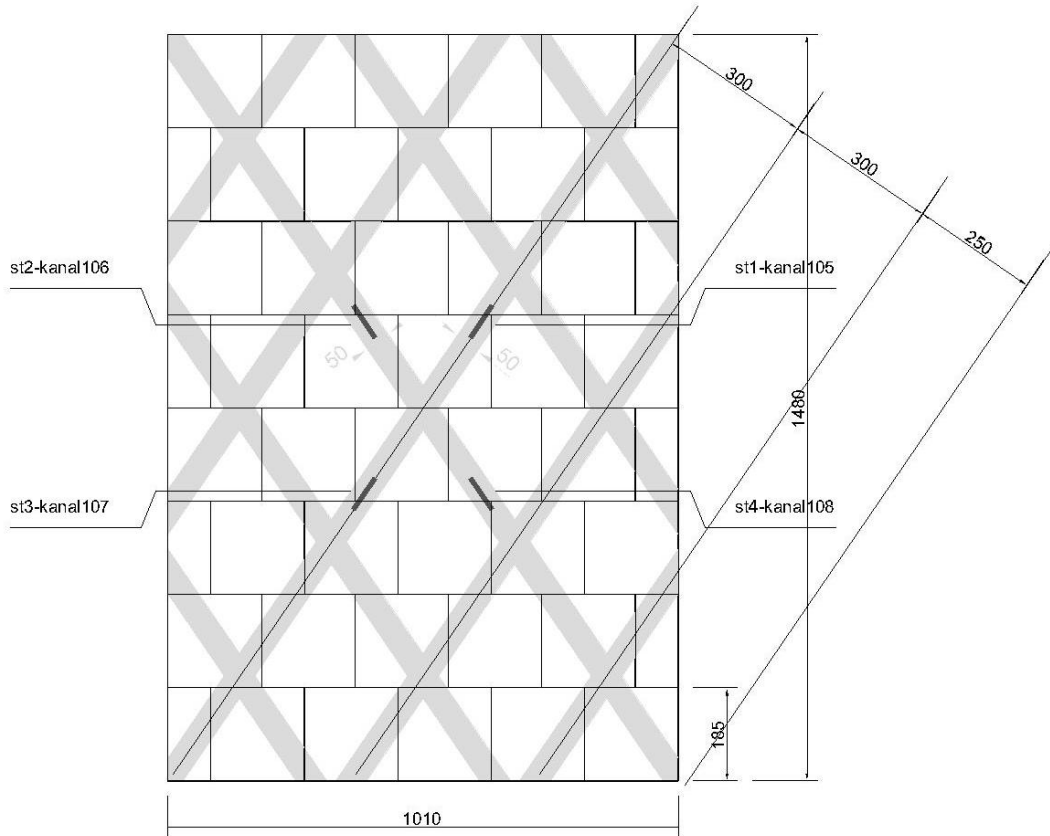
Deneysel eleman 6 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin diyagonal olarak tuğla dolgu duvarı yüzeyine 300 mm aralıkla yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Diyagonal şeritler çapraz olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 4.16). Deneysel elemanın maksimum taşıma gücüne 16,03 kN yük değerinde ulaşmıştır. Deneysel eleman 11,10 kN yük düzeyine kadar rijitliğinde önemli bir değişim olmadan ulaşmış ve bu yüke karşılık olarak 5,01 mm deformasyon yapmıştır. Deneysel eleman bu yük değerinin %85 olan 9,44 kN yüke karşılık 20,27 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,22 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 4,05 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel eleman 255,35 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir. Ayrıca deneysel elemandaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.15) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.16'da verilmiştir.



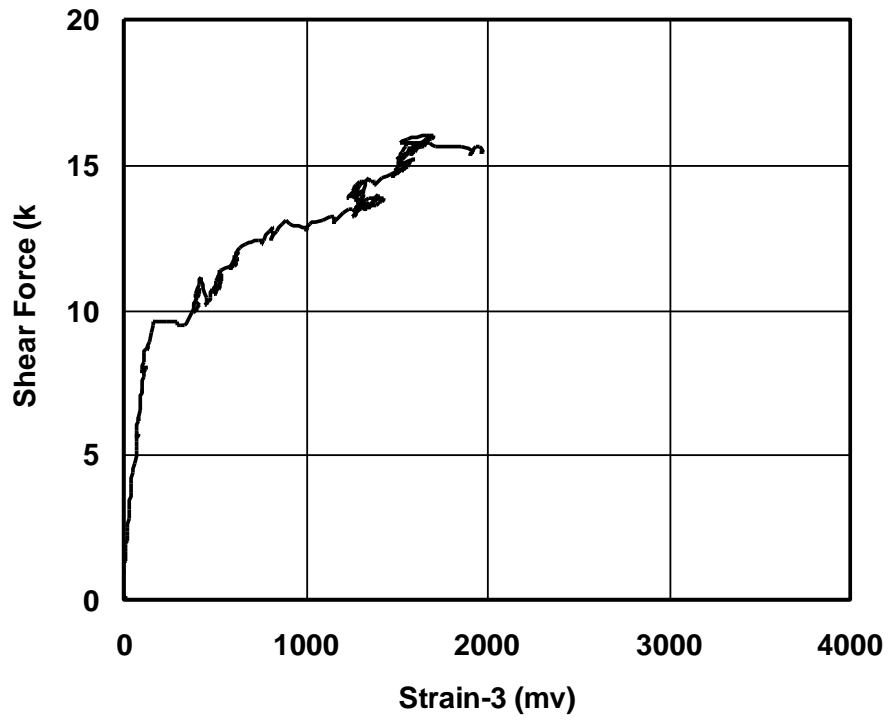
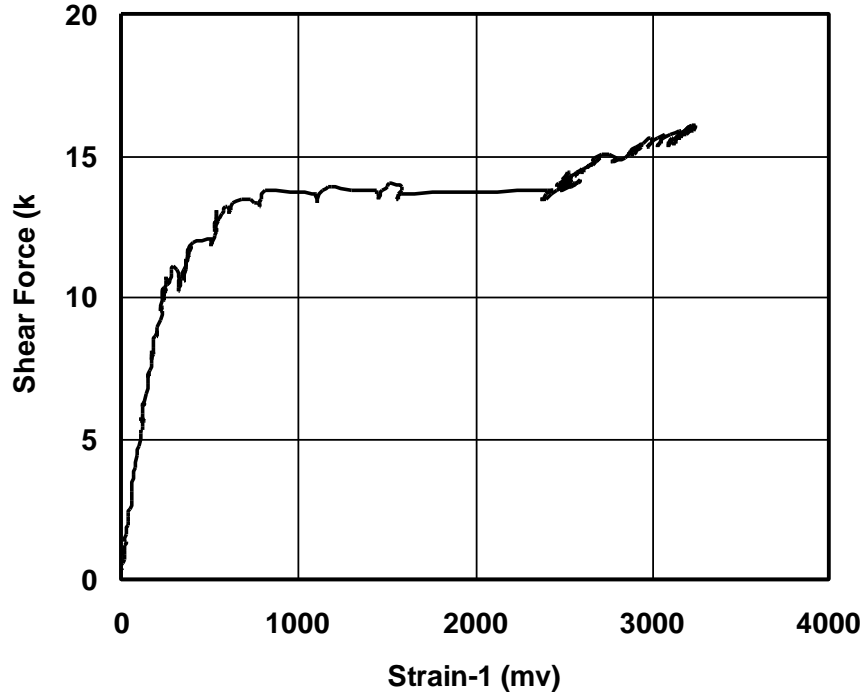
Şekil 4.14. 6 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.14. 6 Numaralı deney elemanı



Şekil 4.15. 6 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.16. Deney elemanı-6'nın birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

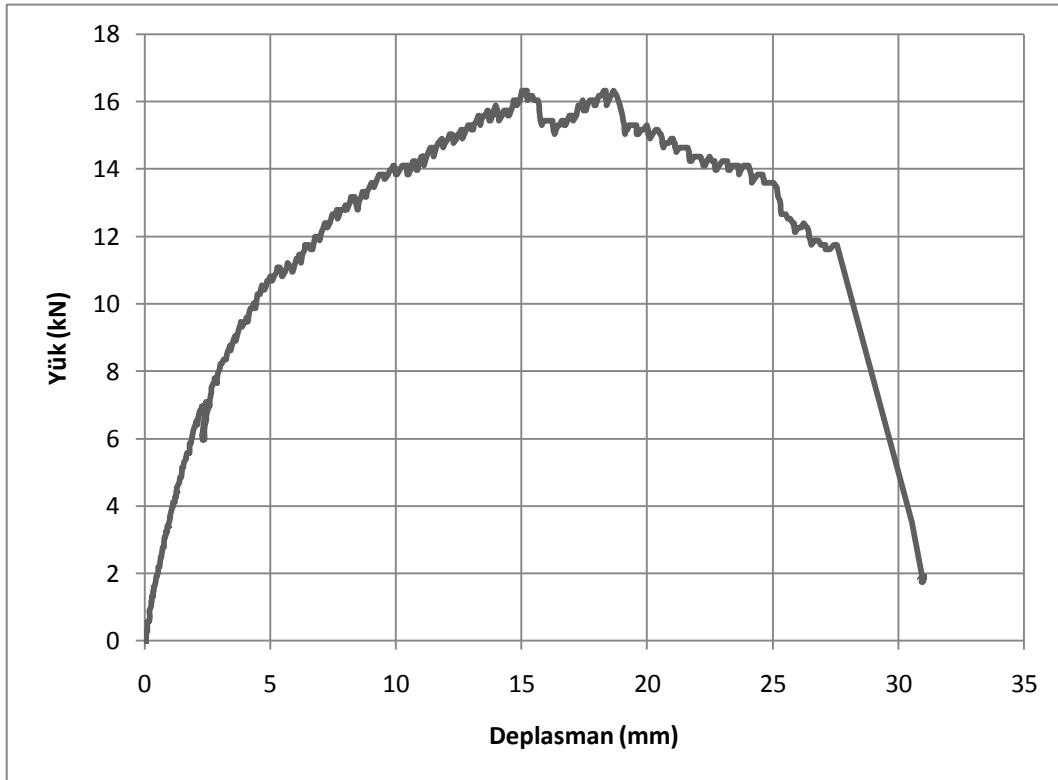
Rijitliğin değişime uğradığı noktadan sonra 17 mm deformasyon yapan deney elemanı ani bir kesme kırılmasıyla sol kesme açıklığından göçmüştür. Kesme kuvvetinin geçtiği yer olan ikinci sıra tuğlaları tamamen parçalanmış (Resim 4.15) bu parçalanmaya bağlı olarak CFRP şeritler mesnede doğru yüzeyden ayrılma göstermişlerdir.



Resim 4.15. Kesme kırılması ve CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmaları

4.7. Deneysel Eleman 7

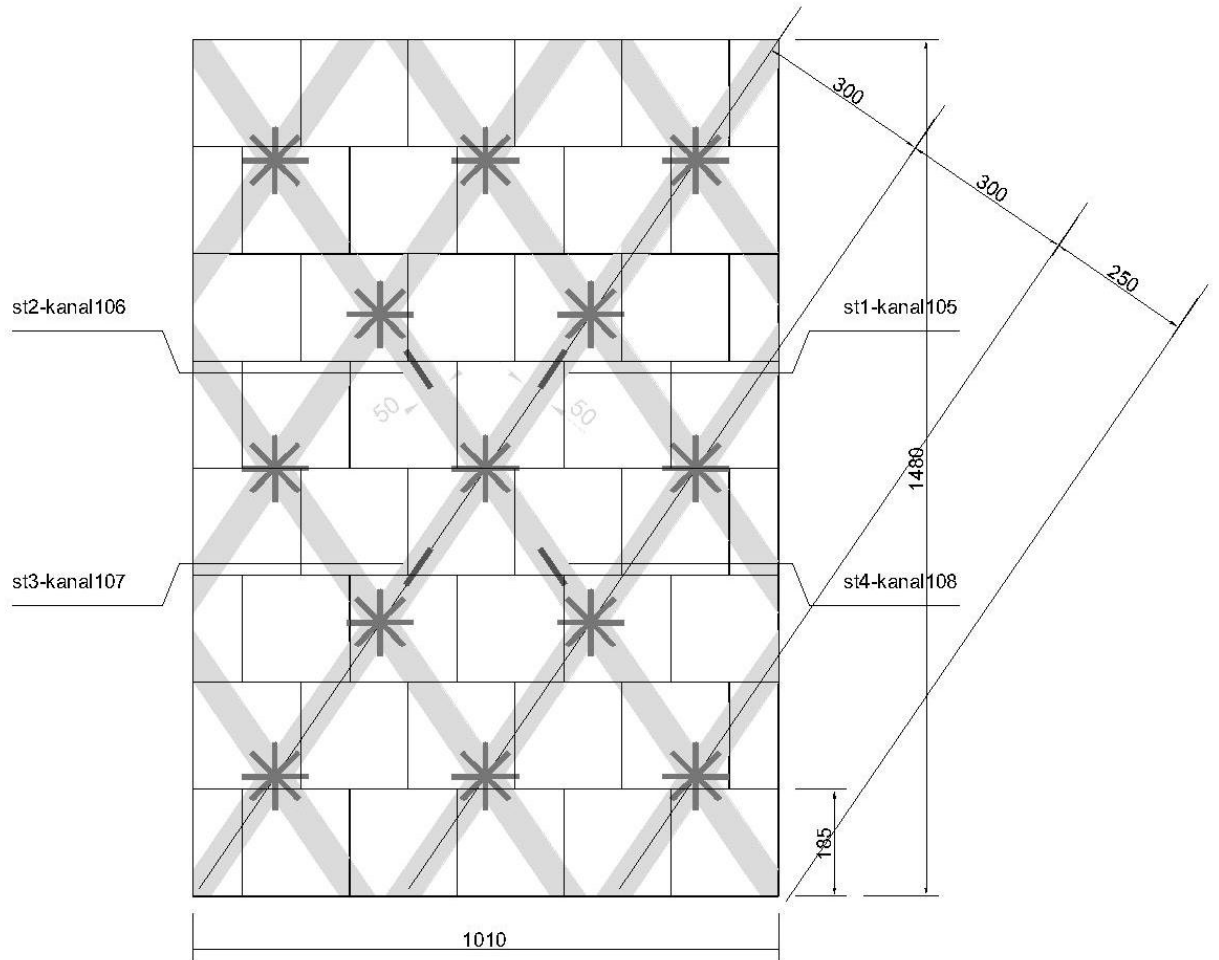
Deneysel eleman 7 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin diyagonal olarak tuğla dolgu duvarı yüzeyine 300 mm aralıkla yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Ayrıca CFRP ankrajları da kullanılmıştır. Diyagonal şeritler çapraz olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 4.18). Deneysel eleman maksimum 16,32 kN yük taşımıştır. Eleman 16,32 kN da akma yüküne ulaşmış ve bu yüke karşılık olarak 15,22 mm deformasyon yapmıştır. Akma yükünün %85 olan 13,87 kN yüküne karşılık 24,07 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 1,07 kN/mm olarak hesaplanırken süneklik oranının 1,58 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca deneysel eleman 318,00 kN-mm' lik bir enerji tüketimi oluşturduğu görülmektedir. Deneysel yük deplasman grafiği Şekil 4.17 olarak verilmiştir. Ayrıca deneysel elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.18) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.19'da verilmiştir.



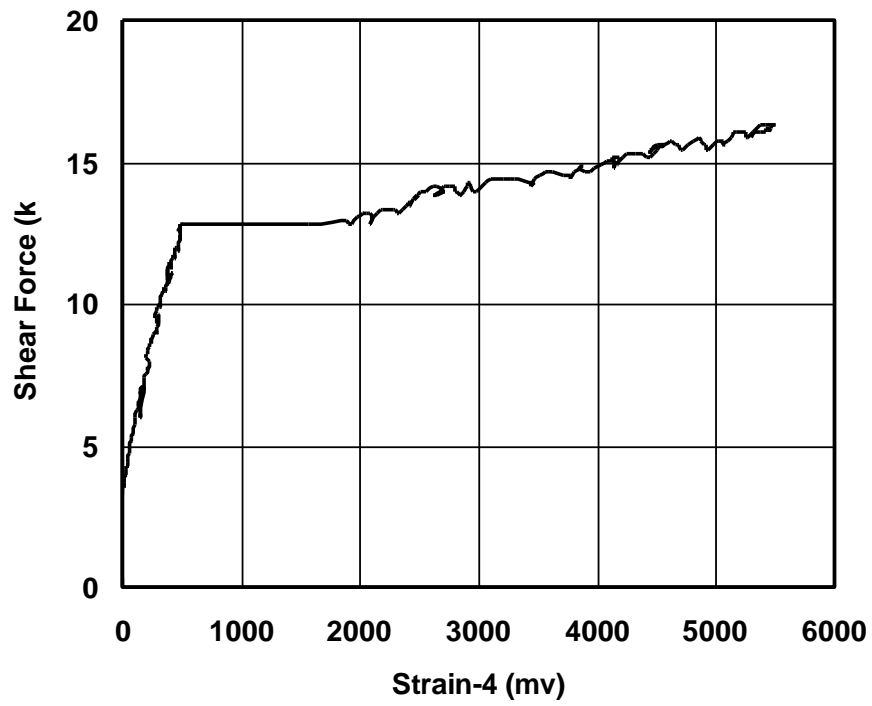
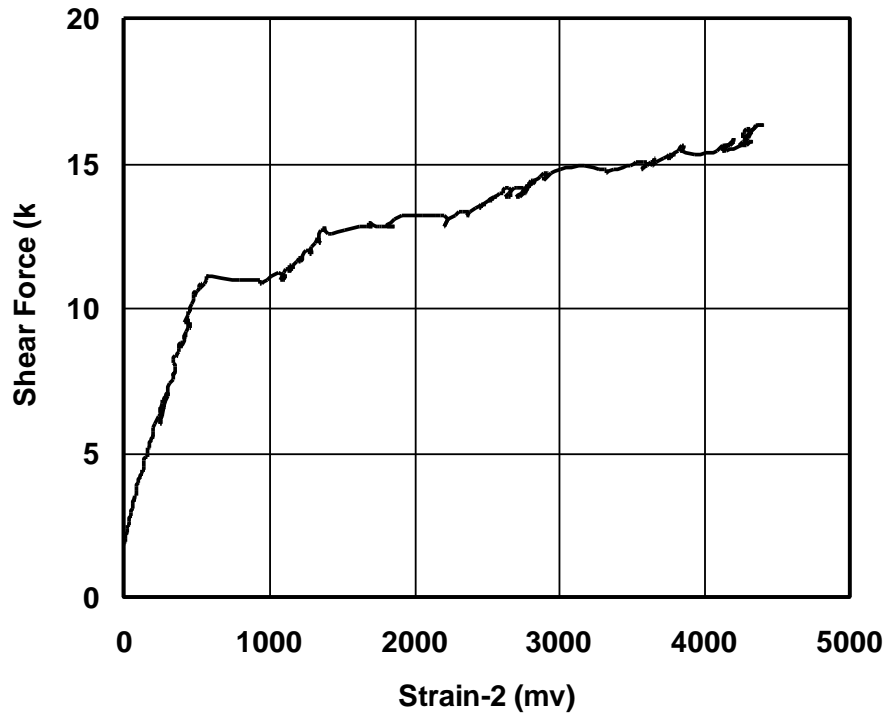
Şekil 4.17. 7 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.16. 7 Numaralı eleman



Şekil 4.18. 7 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.19. Deney elemanı-7'nin birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

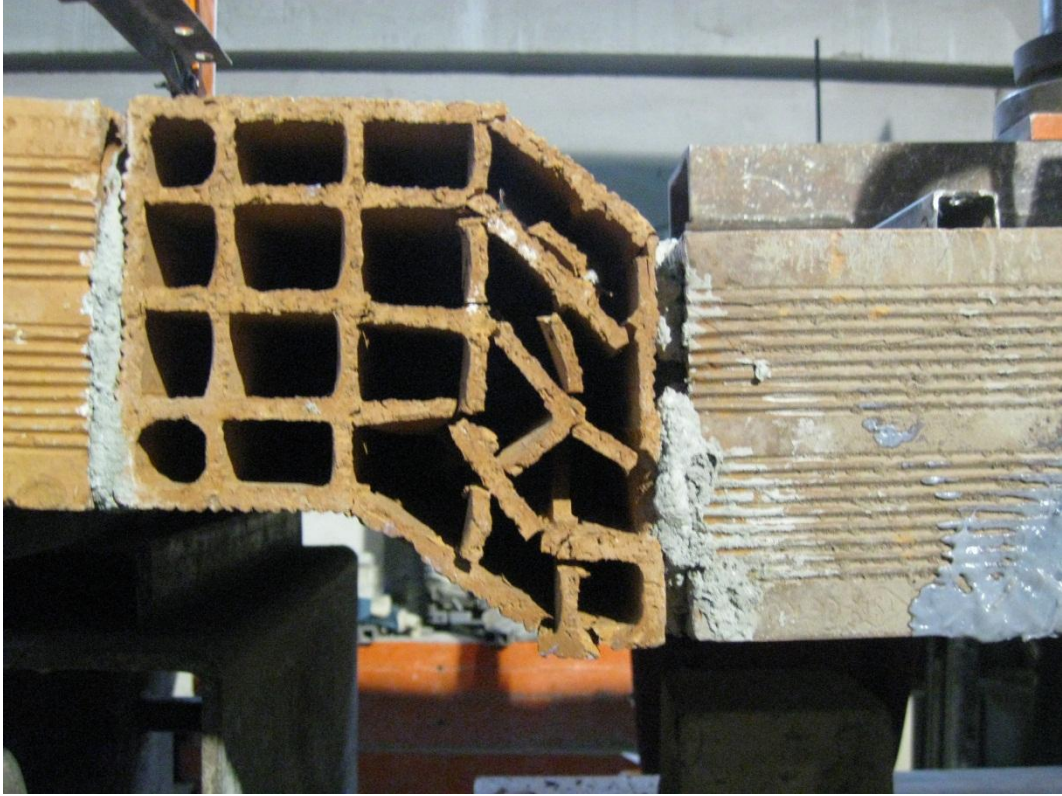
Oldukça rijit olarak başlangıç yapan deney elemanı akma yükünden sonra oldukça sünek davranış sergilemiştir. Reaksiyon kirişi sağ mesnet altı tuğlalar kırılmış ikinci, üçüncü sıra tuğlalarda ezilmeler ve çatlamlar (Resim 4.17) meydana gelmiştir. Bazı CFRP şeritler (Resim 4.18) kopmuştur. 30 mm den fazla deformasyon yapan deney elemanında kesme çatlakları oluşmuş ve kesme davranışı baskın (Resim 4.19. Kesme kırılması) olarak geçmiştir. Ankraj etrafındaki tuğlalar kırılırken CFRP şeritlerindeki ankrajlar (Resim 4.20) CFRP in yüzeyde ayrılmasını ve kesme etkisiyle kopmasına olanak tanımıştır.



Resim 4.17. Göçme genel



Resim 4.18. CFRP kopması



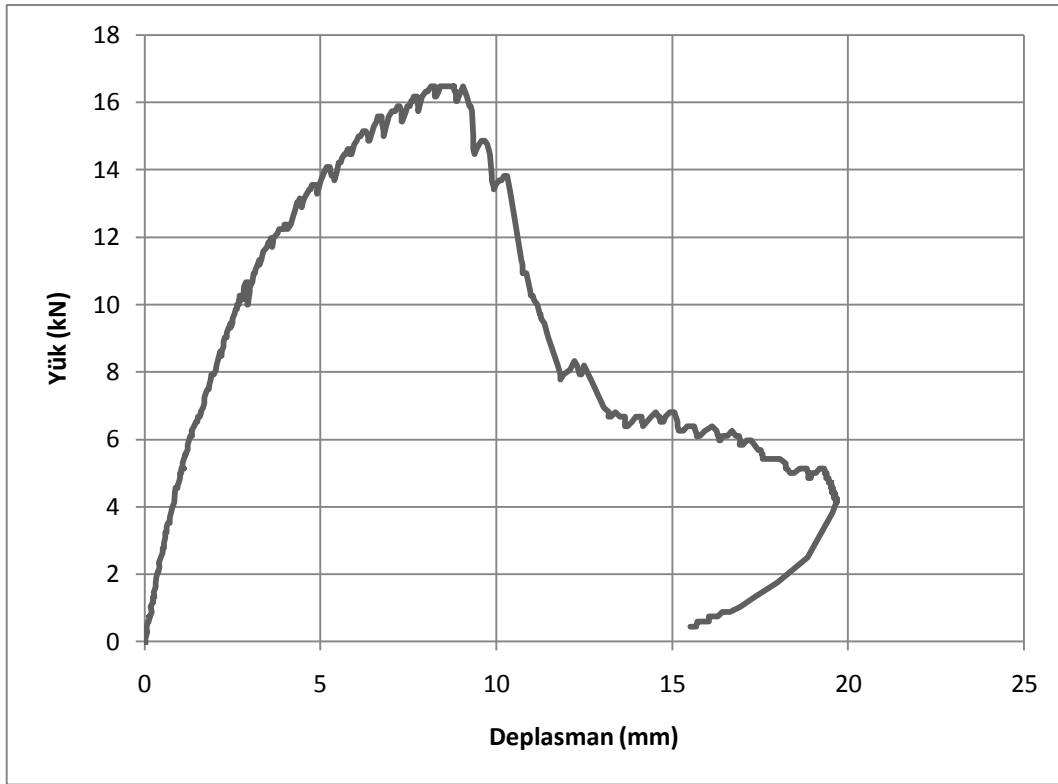
Resim 4.19. Kesme kırılması



Resim 4.20. Ankraj etrafının zorlanması

4.8. Deneysel Eleman 8

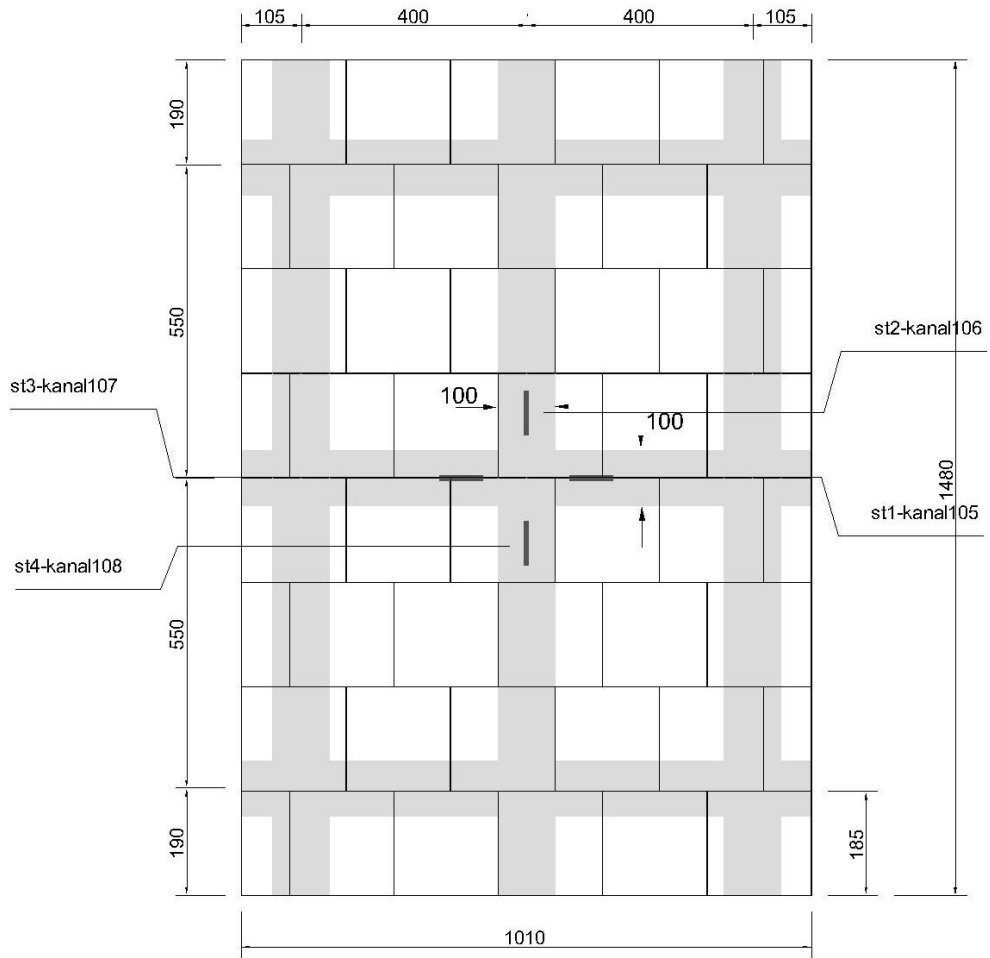
Deneysel eleman 8 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin yatay ve düşey olarak ortogonal bir şekilde tuğla dolgu duvarı yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. 3 düşey şerit 400 mm aralıkla, 3 yatay şerit ise 550 mm aralıkla yapıştırılmıştır. CFRP ankrajı kullanılmamıştır (Resim 4.23). Deneysel eleman maksimum taşıma gücüne 16,47 kN yük değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık olarak 8,14 mm deformasyon yapmıştır. Maksimum taşıma gücü yükünün %85 olan 14,0 kN yük değerinde 10,00 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,02 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 1,23 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca deneysel eleman 121,90 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.20'de verilmiştir. Ayrıca deneysel elemandaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.21) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.22'de verilmiştir.



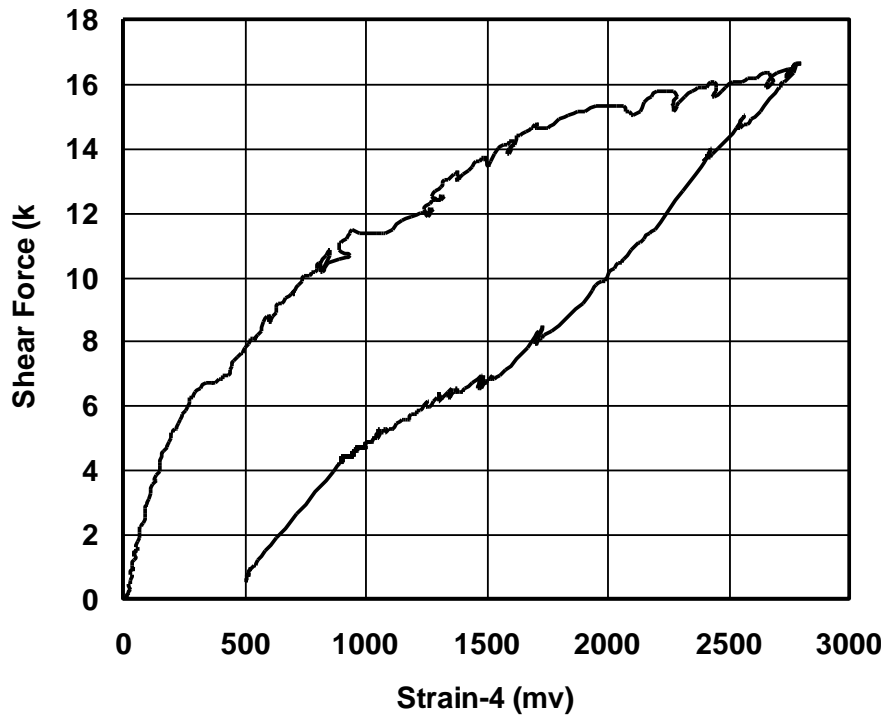
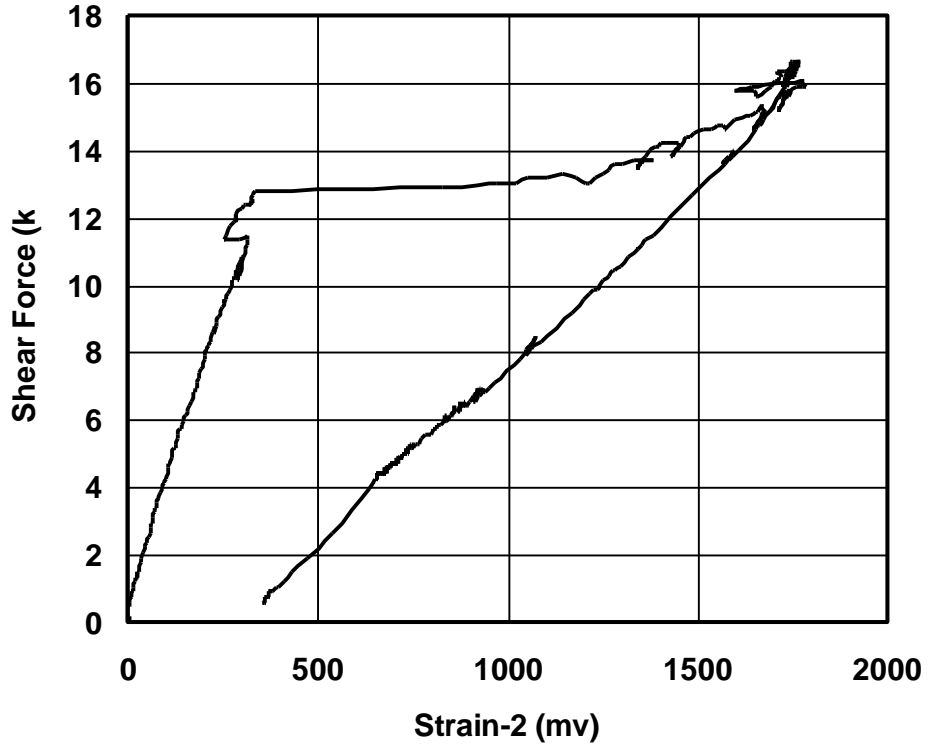
Şekil 4.20. 8 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.21. 8 Numaralı eleman

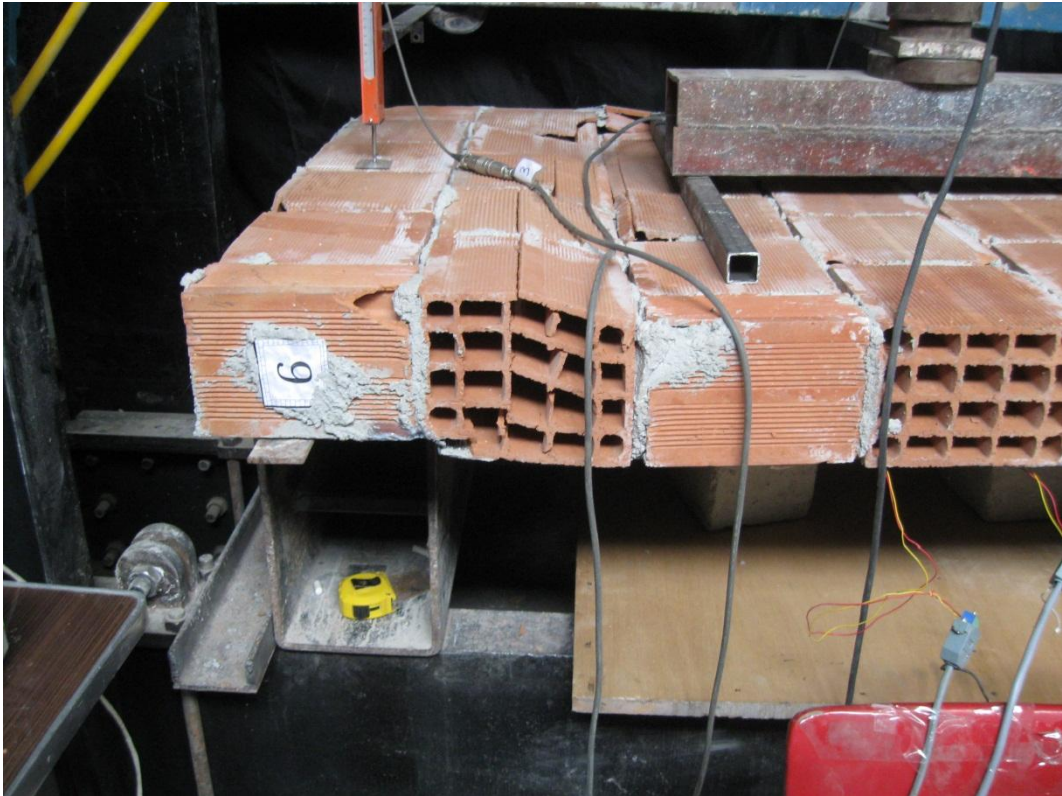


Şekil 4.21. 8 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.22. Deney elemanı-8'in birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

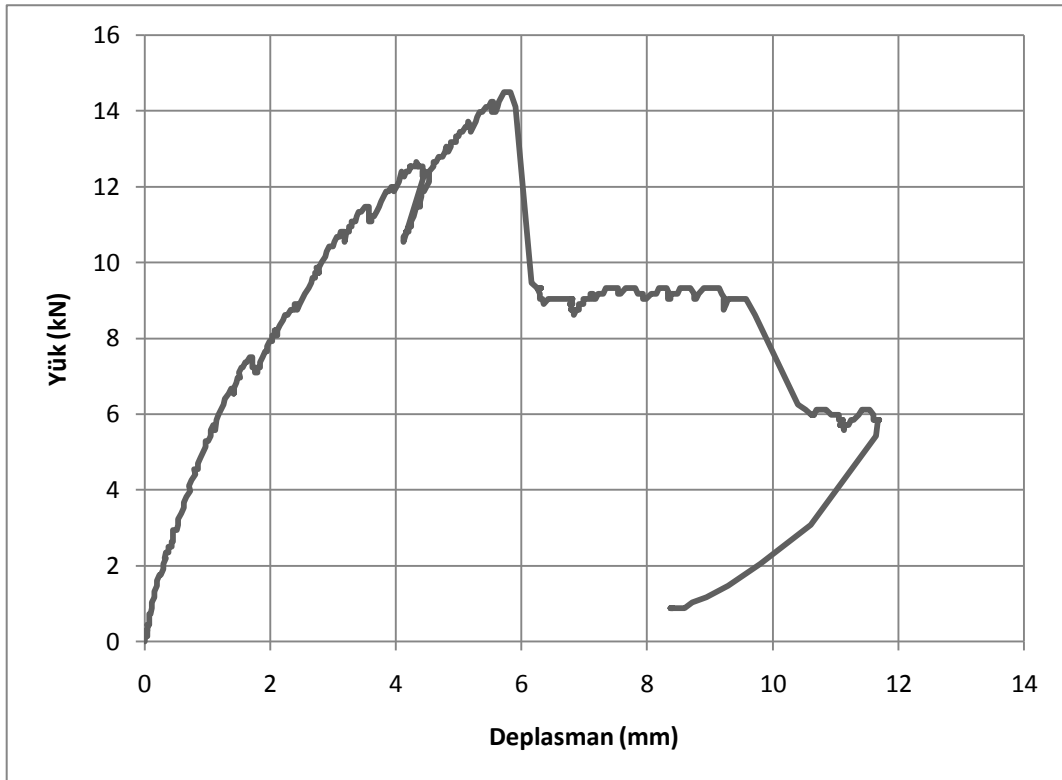
100 mm'lik üç adet düşey şeridin yine aynı kalınlıkta yatay şeritlerle sarılmasından oluşan eleman geometrisinde deney elemanı maksimum yükü gördükten sonra oldukça gevrek bir kesme kırılmasıyla yük kaybetmiş 20 mm lik deformasyona ulaşabilmiştir. Kesme kırılması sol kesme açıklığında meydana gelmiştir. Bütün ikinci sıra tuğlalar ana diyagonalleri boyunca kırılarak göçmeye ulaşmıştır (Resim 4.24).



Resim 4.22. 2. Sıra boyunca ana diyagonallerin kırılması

4.9. Deneysel Eleman 9

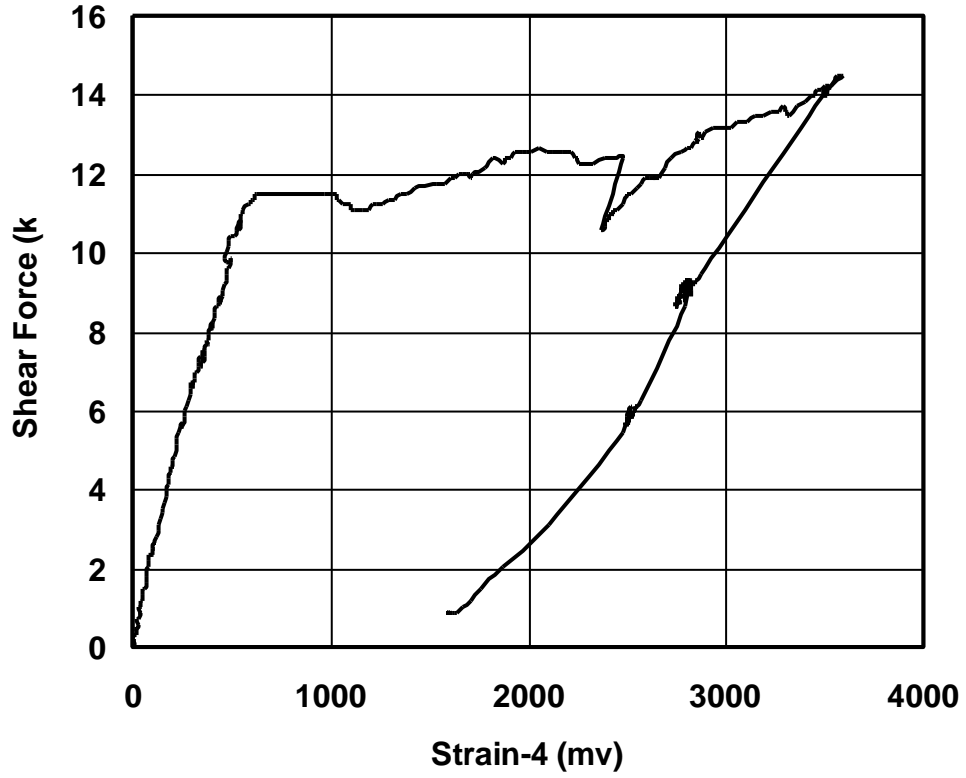
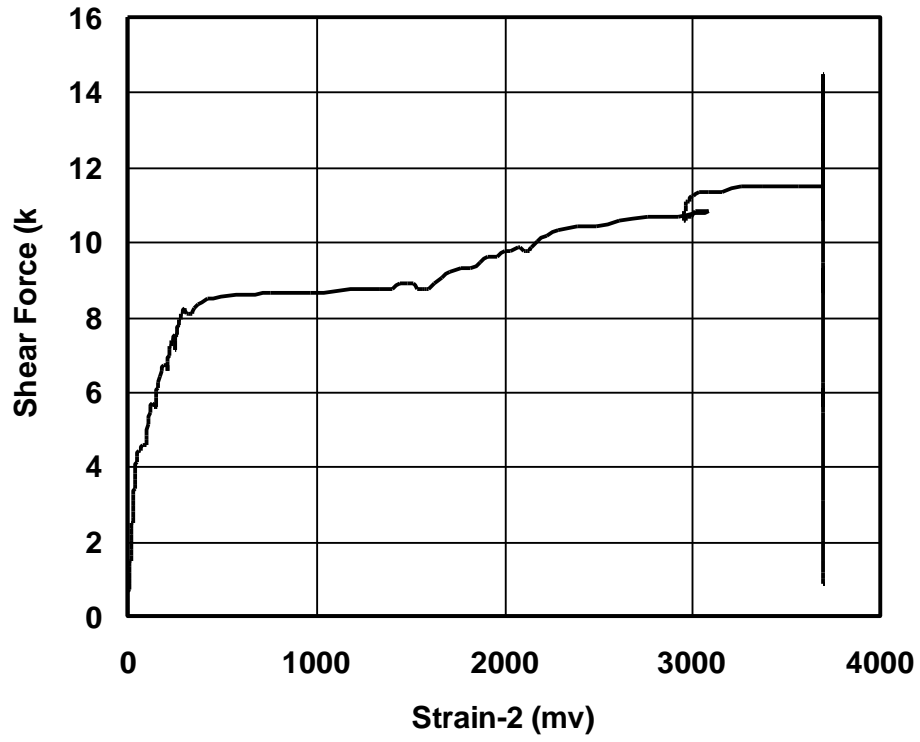
Deneysel eleman 9 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin yatay ve düşey olarak ortogonal bir şekilde tuğla dolgu duvarı yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. 3 düşey şerit 400 mm aralıkla, 3 yatay şerit ise 550 mm aralıkla yapıştırılmıştır. Ayrıca deneysel elemanında CFRP ankrajı kullanılmıştır (Resim 4.25). Deneysel eleman maksimum taşıma gücüne 14,50 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deneysel eleman bu yüke ulaşana kadar 5,83 mm deformasyon yapmıştır. Deneysel eleman maksimum taşıma gücünün %85 olan 12,33 kN yüke karşılık 6,00 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,49 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 1,03 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel eleman 70,89 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel yük deplasman grafiği Şekil 4.23 olarak verilmiştir. Ayrıca deneysel elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.24) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.23. 9 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

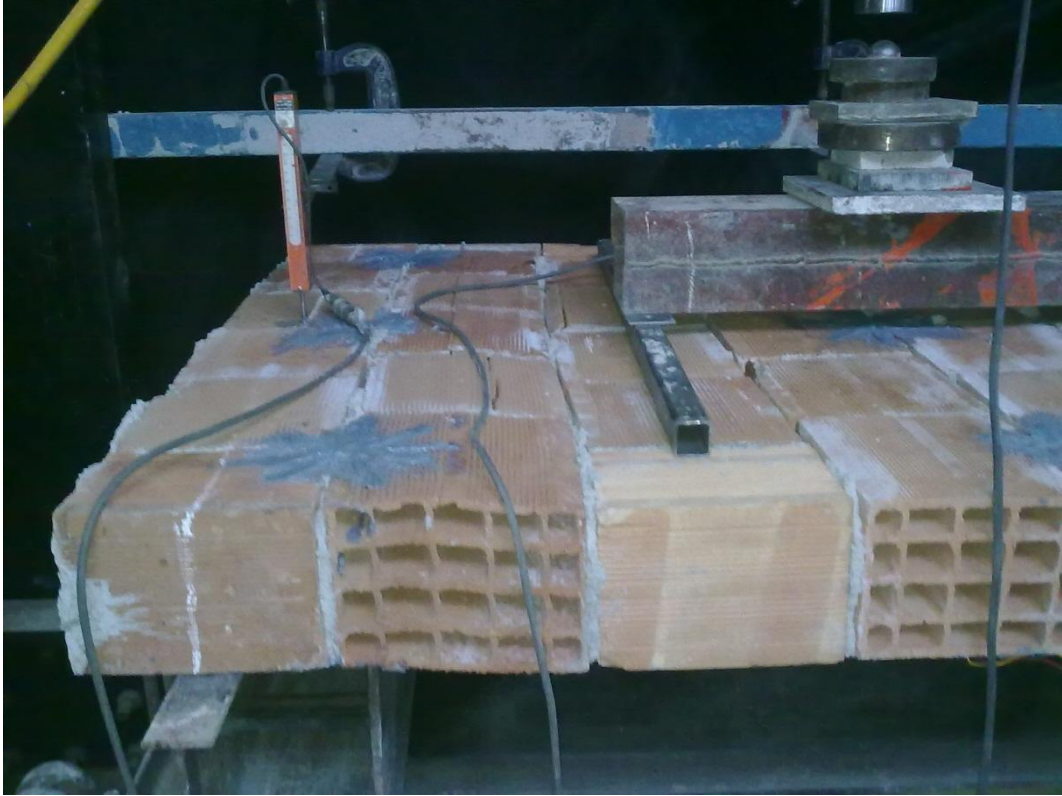


Resim 4.23. 9 Numaralı eleman



Şekil 4.25. Deney elemanı-9'un birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

Dokuz adet ankraжі bulunan eleman ankraжіlarında etkisiyle CFRP şeritlerin yzeyden soyulması gecikmiştir. Eleman sol kesme açıklığından ikinci sıra tuğlaların kesme kırılmasına maruz kalmasından dolayı göçmeye (Resim 4.24) uğramıştır. CFRP şeritlerin hiçbirinde yzeyden ayrılma (Resim 4.25) gözükmemiştir. Ankraжі etrafındaki tuğlalarda çatlaklar ve yer yer parçalanmalar oluşmuştur. Ayrıca reaksiyon kirişi sol mesnet altında yerel ezilmeler ve çatlaklar meydana gelmiştir.



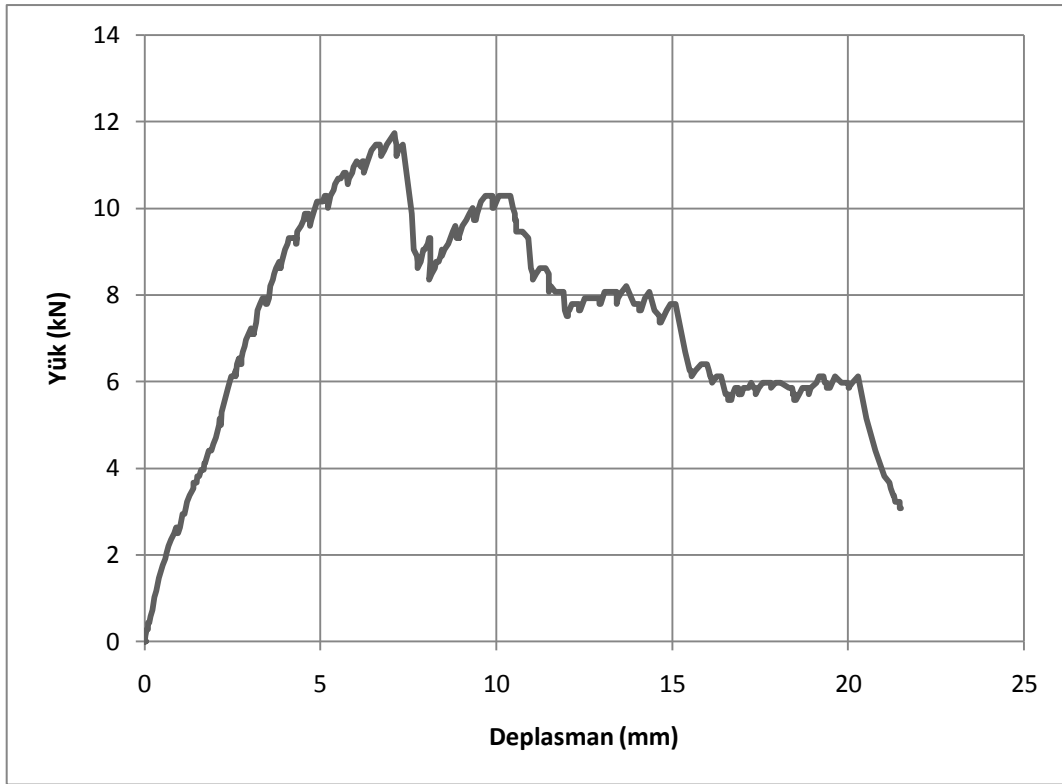
Resim 4.24. 2. Sıra tuğla çatlakları



Resim 4.25. CFRP şerit yüzey aderansı

4.10. Deneysel Eleman 10

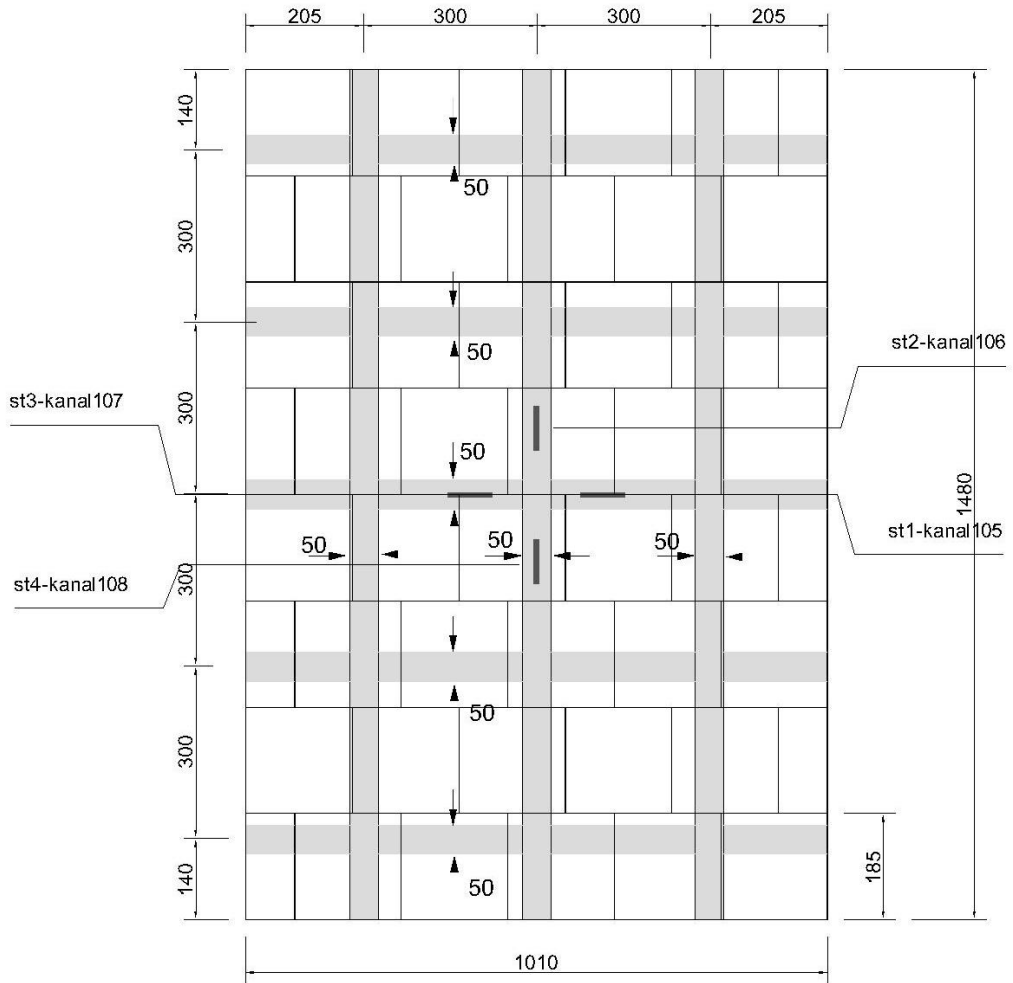
Deneysel eleman 10, 3 adet dişey ve 5 adet yatay 50 mm genişliğindeki CFRP şeridin ortogonal şekilde tuğla duvar yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. Deneysel elemanında CFRP ankraji kullanılmamıştır (Resim 4.28). Deneysel eleman maksimum taşıma gücüne 11,74 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deneysel eleman bu yük düzeyine 7,10 mm deformasyon yaparak gelmiştir. Deneysel eleman maksimum taşıma gücünün %85 olan 9,98 kN yük düzeyine kadar 10,47 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 1,65 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklilik oranı 1,47 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deneysel eleman 88,37 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneysel elemanın yük deplasman grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Ayrıca deneysel elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.27) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağılı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.28'de verilmiştir.



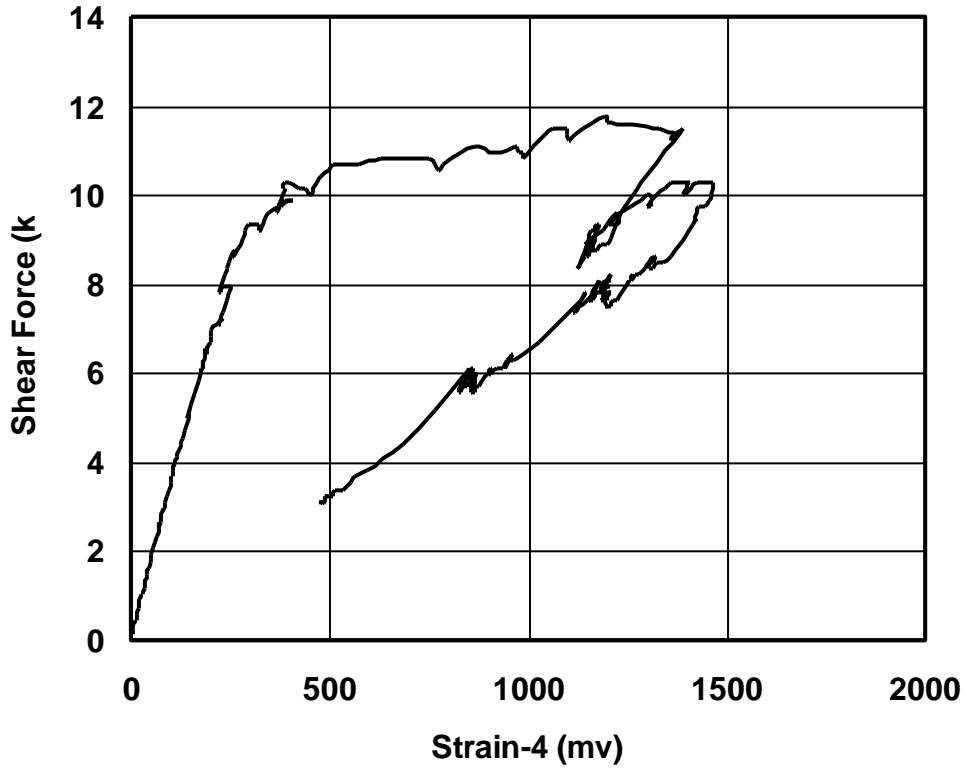
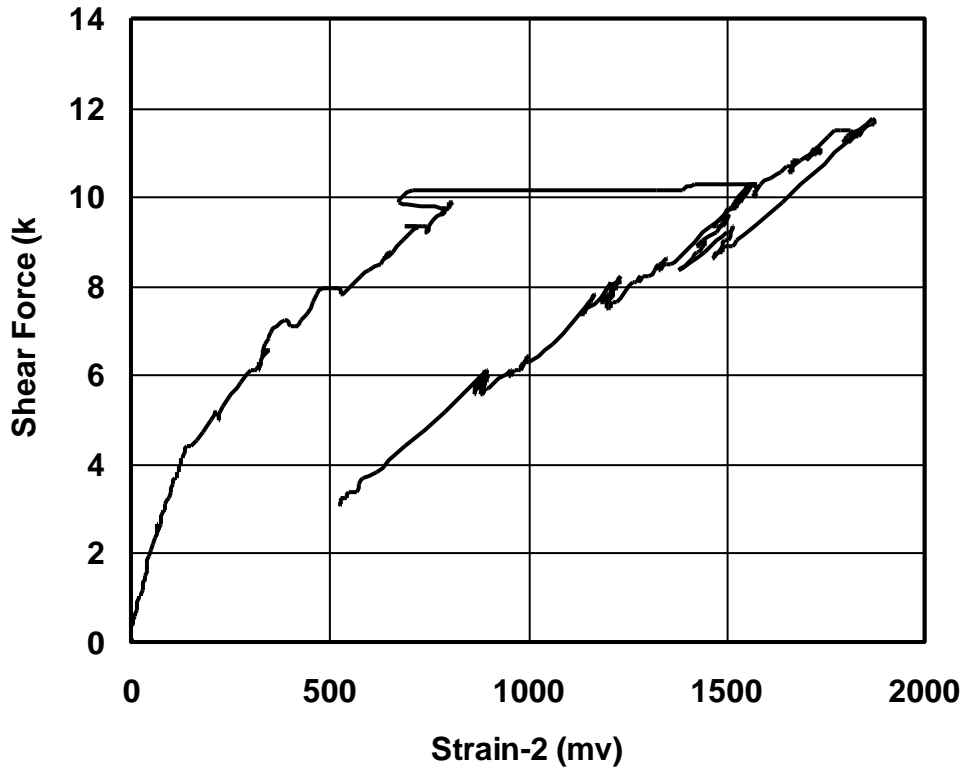
Şekil 4.26. 10 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.26. 10 Numaralı deney elemanı



Şekil 4.27. 10 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.28. Deney elemanı-10'un birim deformasyon ölçümlerinden örnekler

Maksimum yük görüldükten sonra reaksiyon kirişi sol mesnet altında yerel bir ezilmede dolayı bir miktar yük kaybedilmiş olup yüklemenin artmasıyla deney elemanı yeniden yük tutmaya başlamıştır. Sol kesme açıklığında ikinci sıra tuğlaların kesme çatlaklarının büyümesiyle sistem göçmeye (Resim 4.27) uğramıştır. Kesme çatlağı CFRP şeridi mesnede doğru yüzeyden ayırmıştır (Resim 4.28).



Resim 4.27. Genel göçme



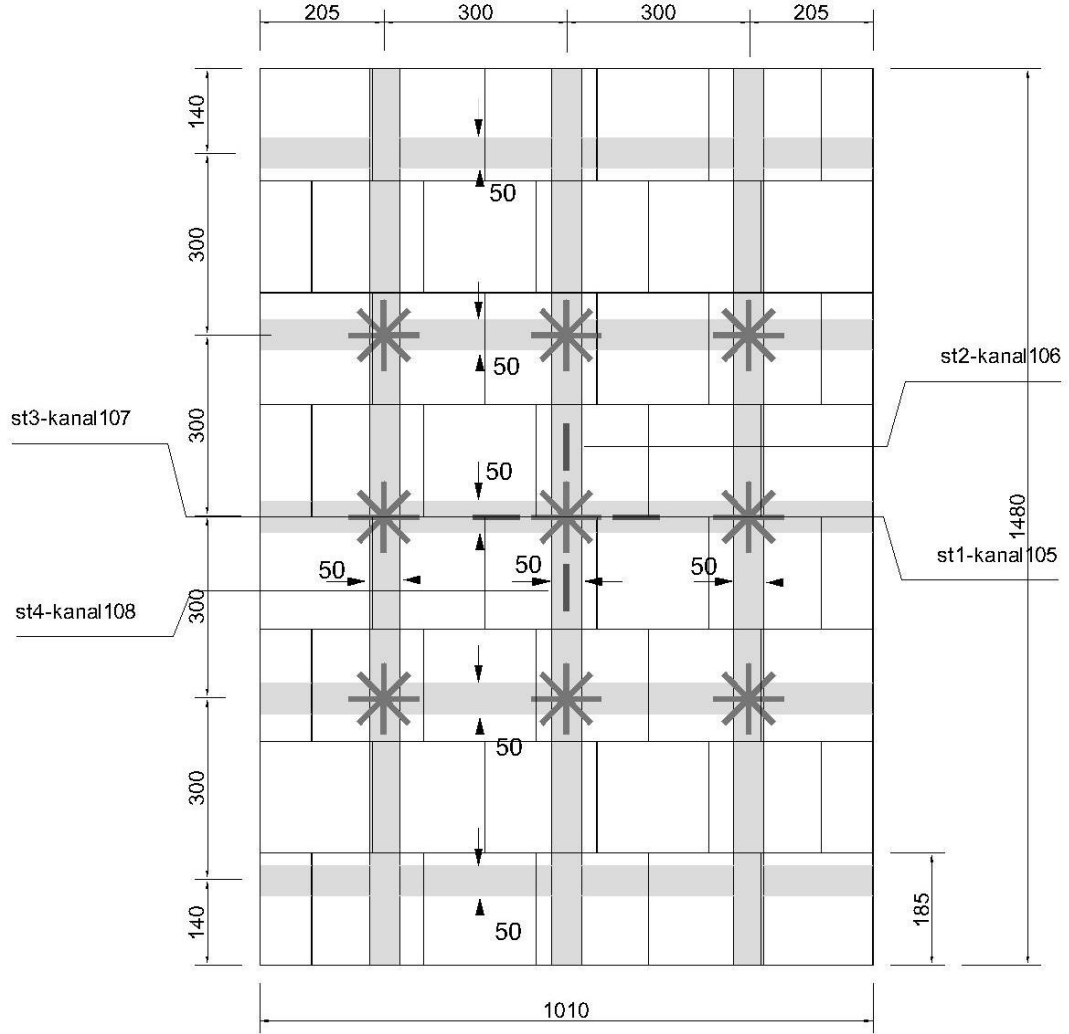
Resim 4.28. CFRP şeridin mesnede doğru yüzeyden ayrılması

4.11. Deney Elemanı 11

Deney elemanı 11 3 adet düşey ve 5 adet yatay 50 mm genişliğindeki CFRP şeridin ortogonal şekilde tuğla duvar yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. Ayrıca deney elemanında CFRP ankrajı kullanılmıştır. Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 19,71 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deney elemanı bu yük düzeyine kadar 10,93 mm deformasyon yapmıştır. Deney elemanı maksimum taşıma gücü değerinin %85 olan 16,75 kN yüke karşılık 12,56 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 1,80 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 1,15 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 184,54 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği şekil 4.29'da verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.30) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.31'de verilmiştir.

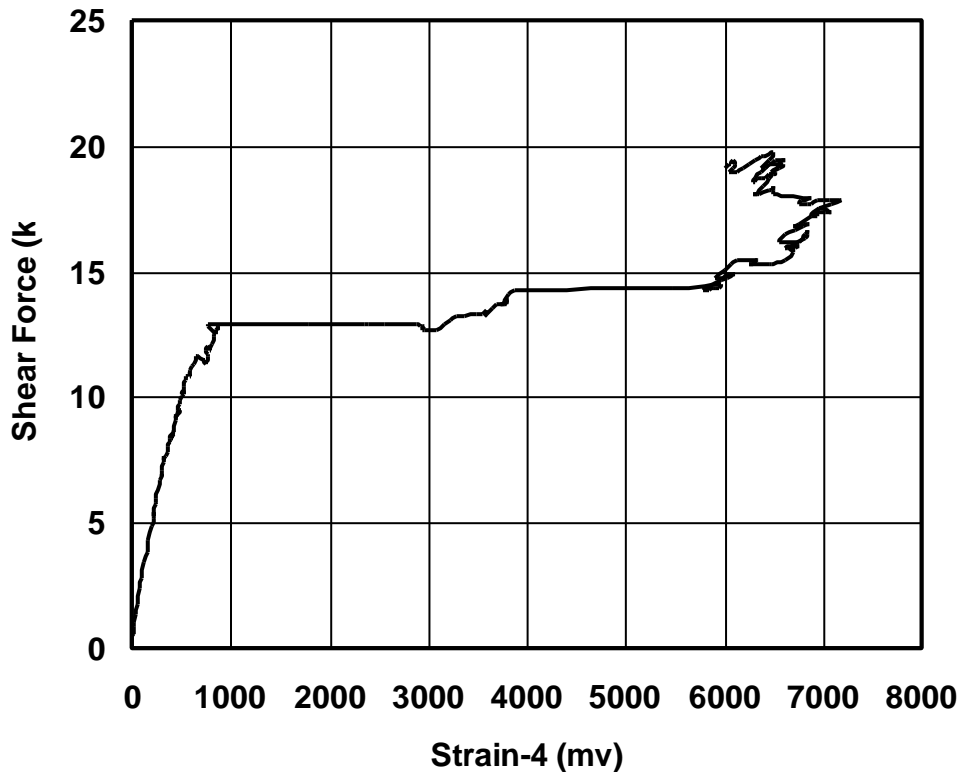
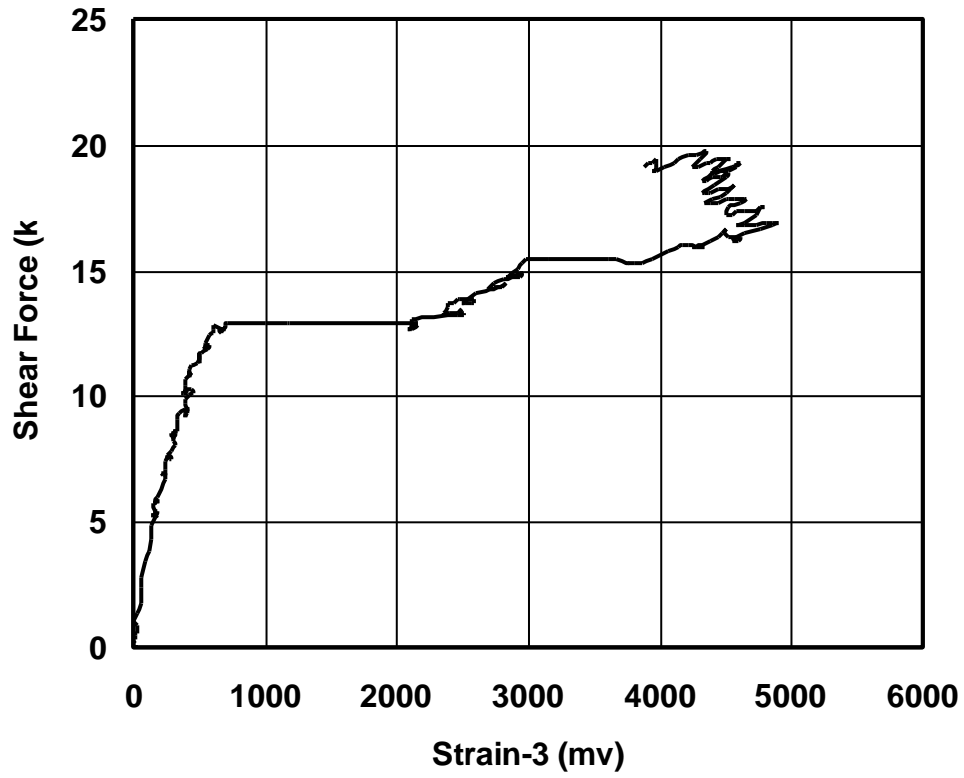


Şekil 4.29. 11 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

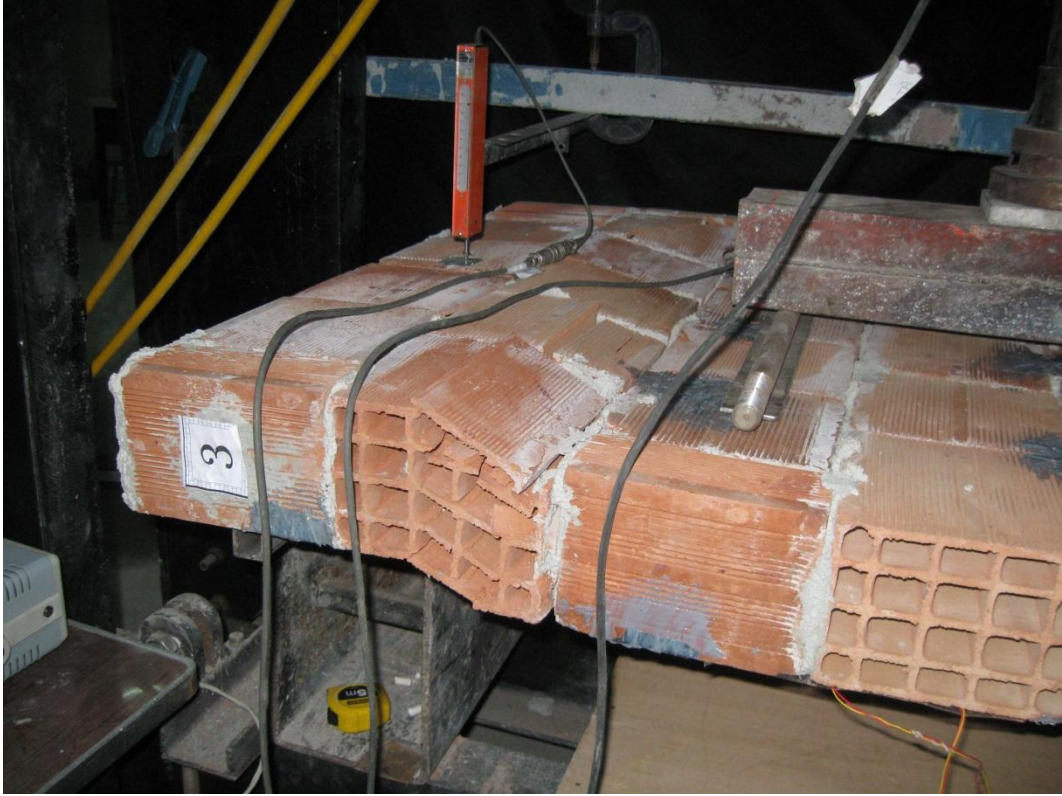


Şekil 4.30. 11 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli

Referans elemanına göre oldukça fazla oranda yük taşıyan deney elemanı sol kesme açıklığında ikinci sıra tuğlaların kesme kuvveti etkisinde parçalanması sonucu (Resim 4.29) göçmeye ulaşmıştır. Çatlaklar reaksiyon kirişinin sağ mesnedinden başlayıp (Resim 4.30) birinci derze doğru ilerleme göstermişlerdir. Tuğlaların parçalanması CFRP şeritlerden birini kesmiştir (Resim 4.31).



Şekil 4.31. Deney elemanı-11'in birim deformasyon ölçümlerinden örnekler



Resim 4.29. Göçme genel



Resim 4.30. Çatlağın mesnet altından başlayıp derze doğru ilerlemeleri



Resim 4.31. Tuğla parçalarının CFRP şeridi kesmesi

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu kısımda deney elemanlarının şerit kalınlıkları, şerit geometrileri, ankrajların olup olmaması gibi deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerin deney elemanlarının dayanım, rijitlik, süneklik, enerji tüketimi üzerindeki etkileri irdelenmiş karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca elemanların rijitlik, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketimi gibi özellikleri de tartışılmıştır. Elemanların yük deplasman grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiş ve birim deformasyon ölçerlerden alınan veriler de kıyaslanmıştır. Deney elemanları yük deplasman grafiklerinde önemli olan rijitliğin değiştiği ilk nokta ve göçme noktalarının yük ve deplasman değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney elemanları dayanımları

Eleman No	Rijitliğin ilk değiştiği nokta			Göçme noktası		
	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Oran *	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Oran *
1	0,91	1,76	1,00	0,91	1,76	1,00
2	6,15	8,22	4,67	6,89	6,99	3,97
3	6,44	13,82	7,85	6,66	11,86	6,74
4	5,29	15,03	8,54	12,92	12,78	7,26
5	4,62	12,00	6,82	10,83	10,20	5,80
6	5,01	11,10	6,31	20,27	9,44	5,36
7	4,67	10,55	5,99	26,54	8,97	5,10
8	5,55	14,24	8,09	5,79	12,10	6,88
9	9,22	16,47	9,36	9,78	14,00	7,95
10	9,22	11,74	6,67	10,52	9,98	5,67
11	9,22	19,71	11,20	12,56	16,75	9,52

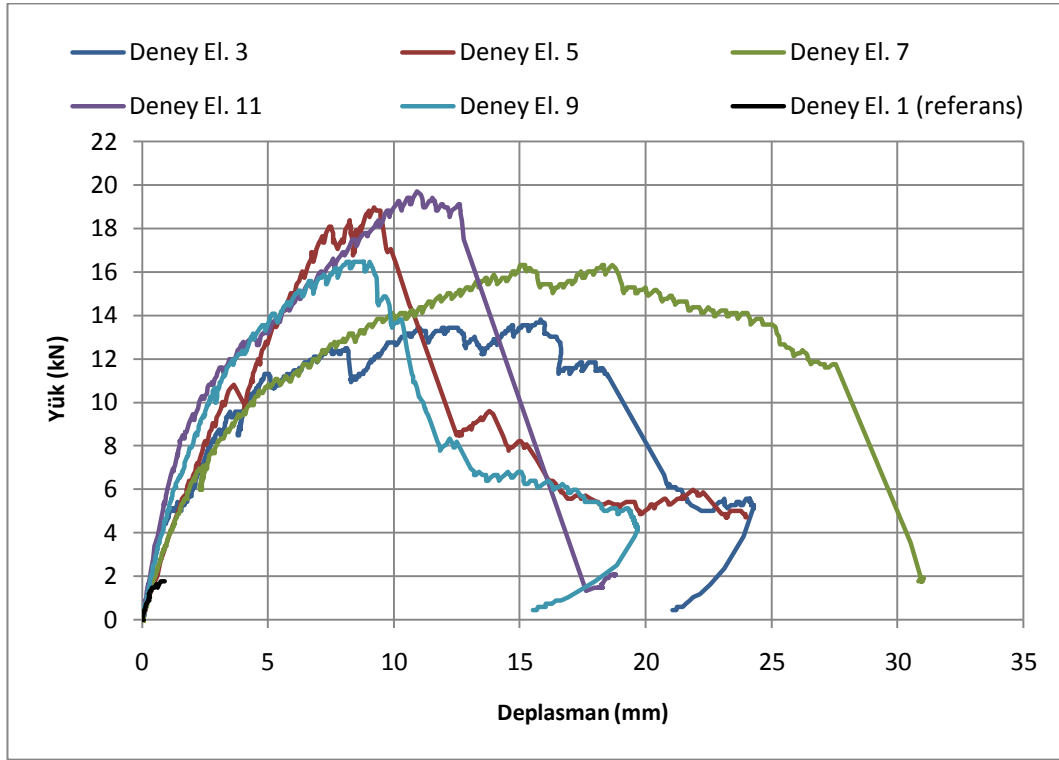
* Oranlar deney elemanlarının yük kapasitelerinin referans deney elemanının yük değerine oranlanması ile hesaplanmıştır.

Deney elemanlarının dayanım artışları incelendiğinde hem ankrajsız hem de ankrajlı olarak güçlendirilen deney elemanlarında önemli oranlarda dayanım artışı sağlandığı

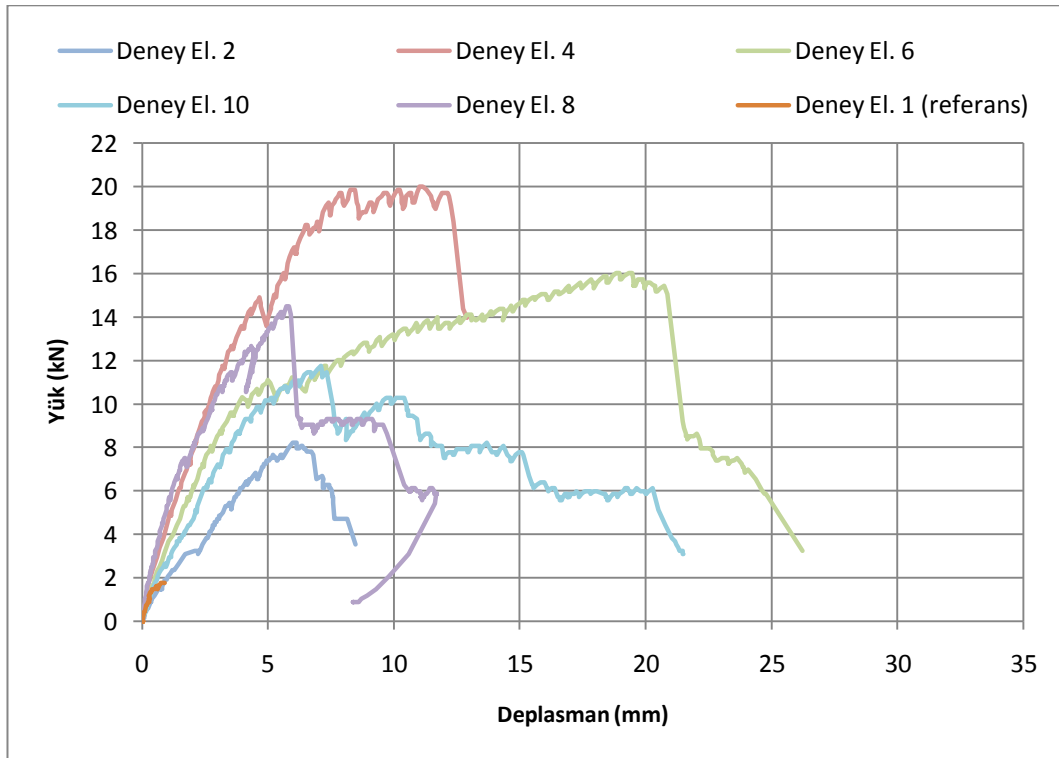
görülmektedir. Ankarajlı deney elemanlarında güçlendirilmemiş referans elemanına göre ortalama 8,2 kat ankrajsız deney elemanlarında ise 6,9 kat dayanım artışı sağlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen ikinci değişken olan CFRP şerit yapıştırma şekilleri içerisinde ortogonal olarak yapıştırılan şerit düzenlemelerinin dayanım yönünden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şerit kalınlığı olarak 50 mm genişliğindeki şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarının dayanım olarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Daha kalın ve az sayıda şerit yerine daha ince ve çok sayıda şeridin tuğla dolgu duvarı üzerine yayılması dayanım yönünden daha iyi sonuçlar vermiştir.

5.1. Deney Elemanlarının Davranışı

Genel olarak incelendiğinde CFRP şeritler ile güçlendirme yönteminin tuğla dolgu duvarların düzlem dışı yatay yüklere karşı davranışını olumlu yönde iyileştirdiği görülmüştür. Güçlendirilen deney elemanlarının dayanım, rijitlik, süneklik, enerji tüketim kapasitesi, deformasyon yapabilme yeteneği, göçme mekanizması hepsi olumlu yönde değişerek tüm değerlerde oldukça yüksek oranlarda artış sağlanmıştır. Şekil 5.1.'de ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanları Şekli 5.2.'de ise ankrajsız CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri gruplanarak sunulmuştur. Çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden biri olan CFRP ankraj uygulamasının özellikle süneklik ve enerji tüketimi üzerinde daha olumlu artışlar sağladığı verilen yük-deplasman grafiklerinden görülmektedir.

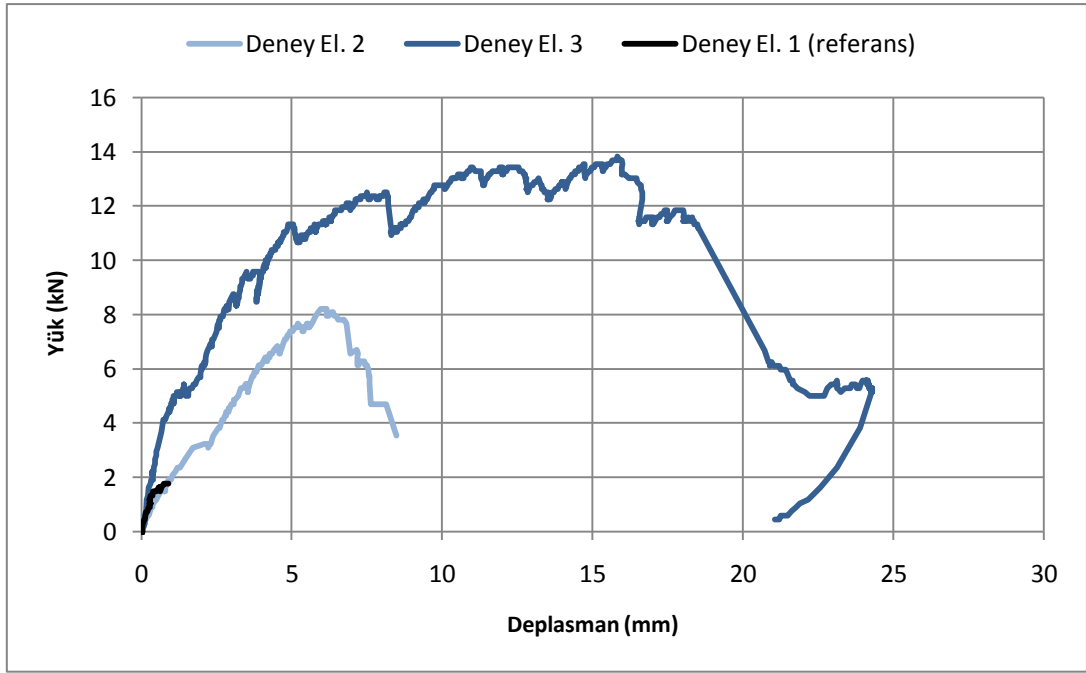


Şekil 5.1. Ankrajlı elemanlar ve referans



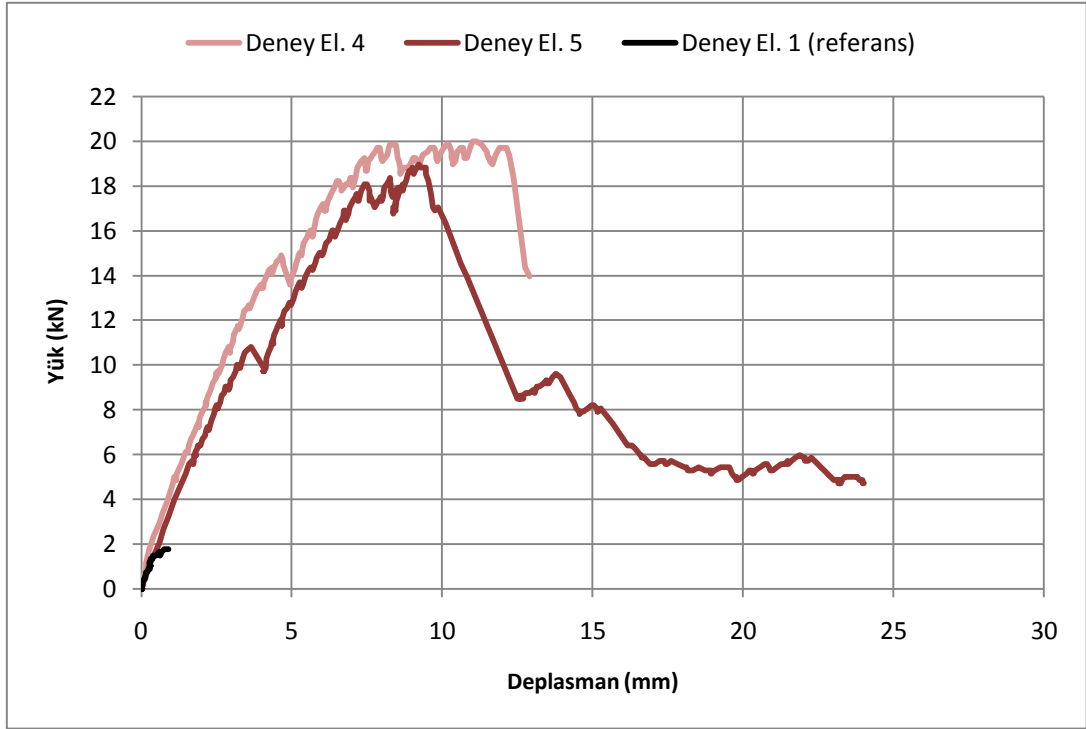
Şekil 5.2. Ankrajsız elemanlar ve referans

Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde de görüldüğü gibi referans elemanına göre her iki elemenda hem yük kapasitesi hem de yapılan deformasyon açısından büyük oranlarda artış sağlanmıştır. Ana diyagonale 150 mm genişliğinde yapıştırılan CFRP şeritlerden ankrajlı olan deney elemanı-3 daha sünek ve daha rijit bir davranış sergilemiştir.



Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde ankrajlı ve ankrajsız olan bütün elemanların kendi aralarındaki en başarılı deneyleri gözlemlenebilir. Ana diyagonale 100 mm' lik 2 adet CFRP şeride dikey ve yatay şeritlerin eklenmesi başarılı sonuç alınmasını sağlamıştır. Ankrajlı ve ankrajsız deney elemanlarının her ikisi de referans elemanına göre yaklaşık 10 kat daha fazla yük taşıdıkları görülmektedir. Ayrıca kullanılan 9 adet fan ankrajin sünekliğe neredeyse yarı yarıya katkı sağladığı görülebilir.



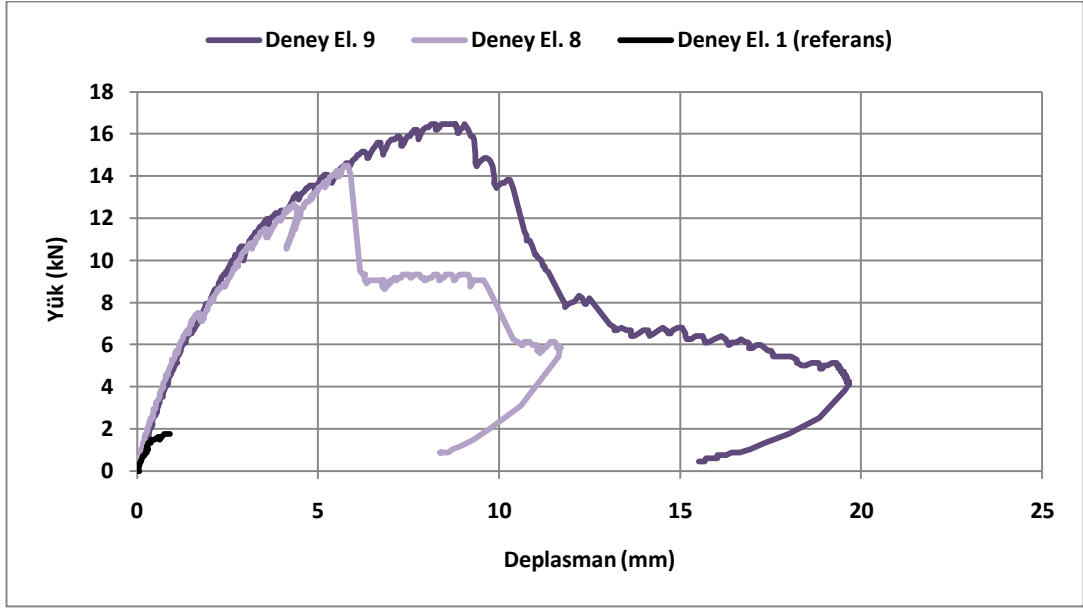
Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.5. Deney elemanı 6 ve 7 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde ankrajlı ve ankrajsız aynı geometriye sahip iki eleman gösterilmiştir. Ana diyagonale 50 mm'lik 2 adet CFRP şeride paralel şeritlerin eklenmesiyle oluşturulan elemanın ankrajlı olanında toplam 13 adet ankraj vardır. Bu sebeple süneklik oranı en yüksek numunelerden birisidir. Ankrajlı ve ankrajsız deney elemanlarının her ikisi de referans elemanına göre yaklaşık 10 kat daha fazla yük taşıdıkları görülmektedir. Bu geometriye sahip elemanın ankrajlı ve ankrajsızının da sünek olduğu görülmektedir. Ankraj sayısındaki artış süneklik üzerinde çok olumlu etki yaratmıştır. Ankrajlı deney elemanları içerisinde de ankraj sayısı en çok olan deney elemanı olması nedeniyle süneklik oranı en yüksek elemanlardır.



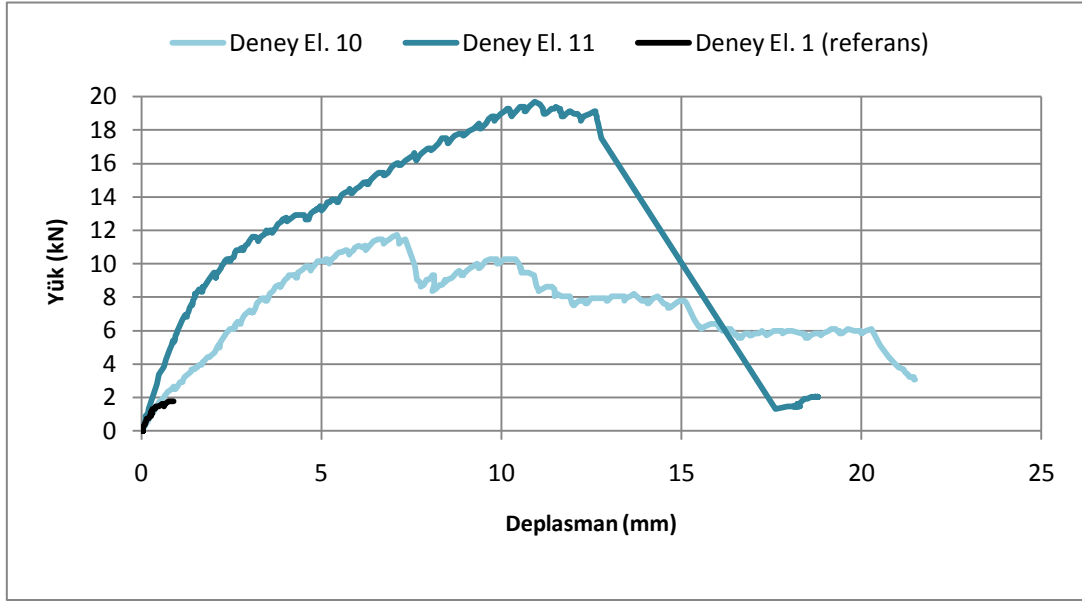
Şekil 5.5. Deneysel elemanı 6 ve 7 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.6. Deneysel elemanı 8 ve 9 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde de görüldüğü gibi referans elemanına göre her iki elemanda yük kapasitesi olarak başarılı sonuçlar vermiştir. Dikey ve yatay olarak 3'er adet yapıştırılan CFRP şeritlerden ankrajlı olanı (deneysel el. 9) daha sünek olduğu görülmektedir. Numuneler aynı rijitlik değerine sahiptir. Deneysel elemanı 9 ün hem taşıdığı yük hem de yaptığı deplasman da ankraj etkisinin olumlu etkileri yük-deplasman grafiğinden görülmektedir.



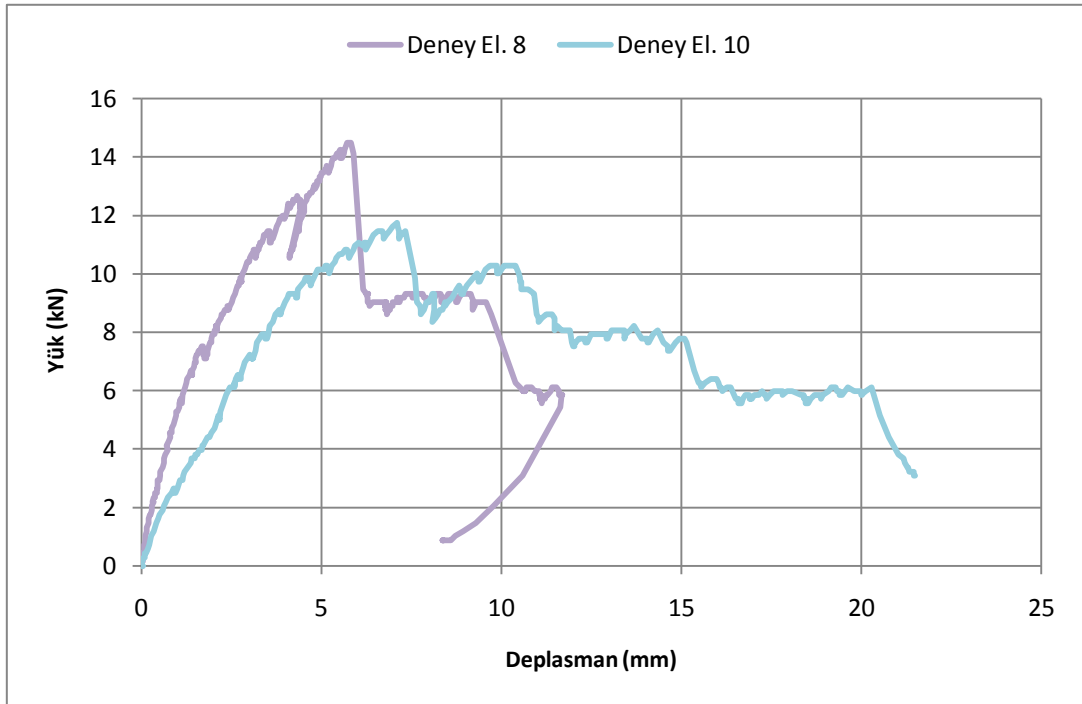
Şekil 5.6. Deney elemanı 8 ve 9 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.7. Deney elemanı 10 ve 11 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde ankrajlı ve ankrajsız aynı geometriye sahip iki eleman gösterilmiştir. Dikey olarak 50 mm'lik 3 adet CFRP şeritleri dik kesen aynı kalınlıkta 4 şeridin eklenmesiyle oluşturulan elemanın ankrajlı olanında toplam 9 adet ankraj vardır. Ankrajlı ve ankrajsız deney elemanlarının her ikisi de referans elemanına göre yaklaşık 10 kat daha fazla yük taşıdıkları görülmektedir. Ankrajların maksimum moment bölgesinde toplanması deney elemanı 11 in taşıdığı yükü ne kadar artırdığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Deney elemanı 10 ve 11 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 genişlikleri 100 mm ve 50 mm olan CFRP şeritlere sahip iki farklı elemanın ankrajlı ve ankrajsız yük deplasman grafikleri verilmiştir. Deney elemanlarının ankrajsız olanlarından şerit genişliği fazla olanın (deney elemanı 8) daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. Deney elemanı 11 in maksimum moment bölgesinde 9 adet ankraji varken deney elemanı 9 un sadece 3 adet ankraji maksimum moment bölgesinde bulunmaktadır. Netice olarak deney elemanı 11 in daha az şerit genişliğine rağmen ankrajların etkisiyle daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. Bu sebeple maksimum moment bölgesindeki ankrajların daha etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5.8. 100 mm ve 50 mm genişliğindeki ankrajsız numunelerin karşılaştırılması



Şekil 5.9. 100 mm ve 50 mm genişliğindeki ankrajlı numunelerin karşılaştırılması

5.2. Rijitlik

Deney elemanlarının rijitlik değerlerinin hesaplanmasında yük-deplasman grafiklerinde rijitlikte ilk önemli değişimin yaşandığı noktayı orijine bağlayan noktanın eğimi kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Deney elemanları için hesaplanan rijitlik değerleri ve referans elemanı rijitliğine göre oranları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Genel olarak ankrajlı elemanların rijitliklerinin ankrajsız seride yer alan deney elemanlarına göre çok az miktarda daha düşük oldukları gözlenebilir. Ancak ankrajlı deney elemanlarının daha yüksek yük düzeylerine çok daha fazla deplasman yaparak ulaşmaları ve ankrajların tuğla dolgu duvarın deformasyon yapabilme yeteneğini olumlu etkilemesi nedeniyle rijitlik değerlerinin ankrajsız deney elemanlarına göre çok az oranda küçük olduğu düşünülmektedir. Başlangıç rijitliği olarak tüm deney elemanları aynı davranış gösterdikleri yük-deplasman grafiklerinden görülmektedir. Bu nedenle başlangıç rijitliği değerleri birbirine çok yakın olduğu için bu konuda bir hesaplama yapıp yorumlama yapılmamıştır.

Çizelge 5.2. Rijitlik çizelgesi

eleman no	Rijitlik (kN/mm)	Referans elemanı ile yapılan karşılaştırmalı oran
1	1,94	1,00
2	1,34	0,69
3	2,15	1,10
4	2,84	1,46
5	2,60	1,34
6	2,22	1,14
7	2,26	1,16
8	2,57	1,32
9	1,79	0,92
10	1,27	0,65
11	2,14	1,10

5.3. Süneklik Oranı

Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları maksimum taşıma gücü değerinin %85'ine düştüğü noktanın deplasman değeri rijitlikte ilk değişim yaşandığı noktanın deplasmanına oranlanarak hesaplanmıştır. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Süneklik oranı çizelgesi

eleman no	süneklik oranı
1	1,00
2	1,12
3	1,03
4	2,44
5	2,34
6	4,05
7	5,69
8	1,05
9	1,06
10	1,14
11	1,36

Deney elemanlarının süneklik oranları incelendiğinde ankrajlı olan deney elemanlarının genel olarak ankrajsız olan deney elemanlarına göre daha sünek davrandığı görülmüştür. Ayrıca tüm güçlendirme uygulanan deney elemanlarının güçlendirilmemiş referans deney elemanına göre çok daha sünek olduğu belirlenmiştir. Uygulanan güçlendirme yöntemi süneklik oranı üzerinde önemli oranlarda artış sağlamıştır. En sünek davranış diyagonal 50 mm CFRP şeritlerin tuğla dolgu duvarı yüzeyine 300 mm aralıkla dağıtıldığı deney elemanları göstermiştir.

5.4. Tüketilen Enerji

Deney elemanlarının enerji tüketimi kapasiteleri maksimum taşıma gücünün %85'ine düştüğü noktaya kadar yük-deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Deney elemanlarının hesaplanan enerji tüketim kapasiteleri ve referans elemanının enerji tüketim kapasitesine oranları Çizelge 5.4' de verilmiştir. Çizelgede verilen değerler incelendiğinde uygulanan güçlendirme yönteminin enerji tüketim kapasitesi üzerinde çok olumlu etkileri olduğu ve önemli oranda artırdığı görülmektedir. CFRP anakrajların kullanıldığı deney elemanı serisinde meydana gelen enerji tüketimi artışı ankrajsız seriye göre daha fazla olmuştur. En büyük enerji artışı süneklik oranında en büyük artışı meydana gelen Deney elemanı 6 ve 7'dir.

Çizelge 5.4. Tüketilen enerji

eleman no	Enerji tüketimi (kN-mm)	Referans elemanı ile yapılan Karşılaştırmalı oran
1	1,13	1,00
2	17,82	15,83
3	53,91	47,88
4	188,47	167,40
5	163,65	145,35
6	259,47	230,47
7	351,22	311,96
8	59,17	52,56
9	118,19	104,98
10	85,49	75,93
11	180,48	160,30

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yürütülen tez çalışması kapsamında yapılarda taşıyıcı olmayan bölme duvarı olarak kullanılan tuğla dolgu duvarların deprem gibi yatay kuvvetler etkisinde düzlem dışı davranışlarını iyileştirmek için CFRP şeritler ile güçlendirilmesi yönteminin uygulanabilirliği ve sağladığı performans artışı incelenmiştir. Çalışma kapsamında araştırılan değişkenler CFRP şeritlerin tuğla dolgu duvarı üzerine yapıştırma şekli ve CFRP ankraj kullanılıp kullanılmamasıdır. Düzenlenen deneysel çalışma kapsamında biri referans olmak üzere toplam onbir adet deney elemanı tuğla dolgu duvarlarına etkiyen düzlem dışı yatay kuvvetleri benzeştirecek şekilde dört nokta eğilme testi altında test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen veriler ışığında deney elemanlarının genel yük-deplasman davranışı, süneklik, rijitlik, enerji tüketimi ve göçme modları ile ilgili yorumlar yapılarak önerilen güçlendirme yönteminin deney elemanlarının genel deprem davranışı üzerindeki etkileri ve performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- CFRP şeritler ile güçlendirme yönteminin tuğla dolgu duvarların düzlem dışı davranışını önemli oranlarda iyileştirdiği ve kullanılabilir bir yöntem olduğu görülmüştür. Uygulanan yöntem deney elemanlarının dayanımı, rijitliği, süneklik oranı ve enerji tüketim oranı gibi önemli bütün parametrelerinde oldukça olumlu oranlarda artış ve iyileşme sağlamıştır. Ayrıca ülkemizde deprem riski altında bulunan bölgenin çok büyük olması ve çok sayıda yapıya geliştirilen güçlendirme yönteminin uygulanması gerekliliği gibi nedenlerden dolayı geliştirilen yöntemin kolay uygulanabilen, hassas işçilik gerektirmeyen ve yapılarda yaşayan insanları rahatsız etmeden kısa zamanda uygulanabilen bir yöntem olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem tuğla dolgu duvarların düzlem dışı davranışını kısa sürede, yapı sahiplerini rahatsız etmeden kolay bir şekilde iyileştirecek bir yöntem olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

- Uygulanan güçlendirme yönteminin tuğla dolgu duvarlarının düzlem dışı yatay kuvvetlere karşı dayanımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. CFRP ankrajların kullanıldığı seride dayanım artışı 8,2 kat, ankrajsız seride ise 7.9 kat olarak elde edilmiştir. Ankraj uygulamasının dayanımı daha fazla artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Uygulanan yöntem genel olarak dayanım yönünden çok olumlu sonuçlar vermiştir. Deneysel çalışma kapsamında karşılaştırılan CFRP şerit yapıştırma şekilleri içerisinde Deney elemanı 4 ve Deney elemanı 11 dayanım yönünden en başarılı sonuç sergileyen deney elemanlarıdır.
- Deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri ile birbirlerine oldukça yakın elde edilmiştir. Ancak rijitliğin değişime uğradığı ilk noktaya göre incelendiğinde ankrajsız serinin rijitliklerinin çok az farkla büyük olduğu görülmüştür. Ankrajlı deney elemanlarının rijitlikte değişim gözlemlendiği noktaya daha büyük yük değerlerinde ve daha fazla deplasman yaparak ulaşmaları nedeniyle bu sonuca ulaşıldığı düşünülmektedir.
- Uygulanan güçlendirme yöntemi genel olarak süneklik yönünden çok olumlu sonuçlar vermiştir. Süneklikten bahsedilmesi mümkün olmayan son derece gevrek ve aniden kırılma sergileyen tuğla dolgu duvarlarına önemli sayılabilecek oranlarda süneklik kazandırılmıştır. Deney elemanlarının deplasman süneklik oranları incelendiğinde ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanı serisinin ankrajsız seriye oranla daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Enerji tüketim kapasitesi yönünden incelendiğinde geliştirilen güçlendirme yönteminin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Enerji tüketim kapasitelerinde 312 kata varan çok büyük oranlarda artış sağlanmıştır. CFRP ankrajlar ile güçlendirilen serinin ankrajsız deney elemanlarına oranla daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Göçme biçimleri incelendiğinde güçlendirme uygulanmamış referans deney elemanının hiçbir uyarıcı işaret vermeden çok ani olarak stabilitesini kaybettiği ve tamamen parçalanarak göçtüğü görülmüştür. CFRP şeritler ile

güçlendirilen deney elemanlarında süneklik oranı ve enerji tüketimlerinde sağlanan çok büyük artışlar nedeniyle deney elemanlarının oldukça büyük ve görülebilir deplasmanlar yaptığı görülmüştür. Ayrıca deney elemanları taşıma güçlerini kaybetmelerine rağmen tamamen stabilitelerini kaybetmemiş ve daha büyük parçalar ayrılarak kısmen bütünlüklerini korumuştur. CFRP ankrajlar ile güçlendirilen deney elemanlarında güçlendirme için kullanılan CFRP şeritler tuğla dolgu duvarının yüzeyinden ayrılmamış ve deney elemanlarının bütünlüklerini korumuştur.

KAYNAKLAR

1. Hamed, E., Rabinovitch, O., “Failure characteristics of FRP-strengthened masonry walls under out-of-plane loads”, *Engineering Structures*, 15: 1-12 (2010).
2. Gilstrap, J. M., Dolan, C. W. , “Out-of-plane bending of frp-reinforced masonry walls”, *Composites Science and Technology*, 58: 1277-1284 (1998).
3. Cecchi, A., Milani, G., Tralli, A., “Out-of-plane loaded CFRP reinforced masonry walls: Mechanical characteristics by homogenization procedures”, *Composites Science and Technology*, 65: 1480–1500 (2005).
4. Hamoush, S., McGinley, M., Mlakar P., Terro M. J., “Out-of-plane behavior of surface-reinforced masonry walls”, *Construction and Building Materials*, 16: 341–351 (2002).
5. Willis, C.R., Seracino, R., Griffith M.C., “Out-of-plane strength of brick masonry retrofitted with horizontal NSM CFRP strips”, *Engineering Structures*, 32: 547555 (2010).
6. Willis, C.R., Seracino, R., Griffith, M.C., “Out-of-plane strength of brick masonry retrofit”, *Construction and Building Materials*. 20 (2006).
7. Galati, N., Tumialan, G., Nanni, A., “Strengthening with FRP bars of URM walls subject to out-of-plane loads”, *Construction and Building Materials*, 20: 101–110 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : DEMİRHAN, Murat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum Yeri ve Tarihi : Manyas, 22.09.1975
 Telefon : İş 0 (312) 473 06 47, Mobil 0 (533) 476 19 86
 Elektronik Posta : mdemirhan@metproje.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Yılı
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	1996
Orta Öğrenim	Balıkesir Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-...	MET Proje Müh. Müş. Ltd. Şti.	Kurucu Ortak
2006-...	ENERSU Müh. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.	Kurucu Ortak
2001-2005	İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi	Eğitmen
2000-2003	Ekatek Müh. Müş. Ltd. Şti.	Proje Müdürü
1999-2000	Has Prefabrik Ltd. Şti.	Şantiye Şefi
1996-1999	Bayındır İnşaat A.Ş.-Çeşme Otoyolu	Proje İzleme Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce