

**CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN GAZ BETON DOLGU
DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI**

Muhammed TATAYOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2011
ANKARA**

Muhammed TATAYOĞLU tarafından hazırlanan “CFRP ŞERİTLERLE GÜÇLENDİRİLEN GAZ BETON DOLGU DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. 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. Tekin GÜLTOP

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Özgür ANIL

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. M. Emin KARA

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, A.Ü.

Tarih: 06 / 07 / 2011

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.

Muhammed TATAYOĞLU

**CFRP ŞERİTLER İLE GÜÇLENDİRİLEN GAZ BETON DOLGU
DUVARLARIN DÜZLEM DIŞI DAVRANIŞI
(Yüksek Lisans tezi)**

Muhammed TATAYOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2011

ÖZET

Çalışmanın amacı çoğu betonarme yapının çerçeve içlerini doldurmak için kullanılan gaz beton dolgu duvarların düzlem dışı yükleme etkisindeki CFRP şeritlerle güçlendirilerek davranışının araştırılmasıdır. Dolgu duvarların bulundukları çerçevelerin düzlemleri içinde deprem gibi yatay yüklere karşı enerji kapasitesi, rijitlik, süneklik gibi önemli yapısal faktörlerde artışlar sağladığı deneysel çalışmalarla ispatlanmış bir gerçek olmasına rağmen düzlemleri dışında bir o kadar zayıflıkları bünyelerinde barındırmaktadır. Bu sebeple dolgu duvarların düzlem dışı davranışlarının araştırılması gerekmektedir. Ayrıca düzlem dışı yükleme etkisinde CFRP ankrajların etkinliği ve genel davranışa olan etkisi de çalışma kapsamında incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında bir adet referans, on adet de güçlendirilmiş deney elemanı test edilmiştir. İncelenen değişkenler CFRP şeritlerin gaz beton 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 gaz beton 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, gaz beton duvar, CFRP, güçlendirme
Sayfa adedi : 135
Tez yöneticisi : Doç. Dr. Özgür ANIL

**OUT OF PLANE BEHAVIOR OF AERATED CONCRETE WALLS
STRENGTHENED WITH CFRP STRIPS**

(M. Sc. Thesis)

Muhammed TATAYOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2011

ABSTRACT

The objective of present study was to investigate the out-of-plane behavior of aerated concrete walls under out-of-plane loading after being reinforced with CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) strips. Aerated concrete walls are mostly used in reinforced concrete structures, which is damaged under dynamic forces such as earth quake and put in danger to living people in structures. In many experimental studies proof that infill walls have high strength against to lateral forces acting on plane. But out of plane strength against to lateral force is quite low. Therefore an experimental study designed to increase the out of plane strength of the aerated concrete walls and improve their behavior. Out-of-plane loading activity in the CFRP anchors and the effects on general behavior were also investigated. Eleven test specimens were tested, which consisted of one reference specimen and ten reinforced specimens. Variables examined were the placement shape of CFRP strips on the surface of aerated concrete 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 strain 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. The analysis of 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 dissipation.

Science Code : 911.1.144
Key Words : Out of plane behavior, Aerated concrete walls, CFRP, Strengthening
Page Number : 135
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Engin bilgileriyle tez çalışmamın yürütülmesinde önemli etken olan ve lisans hayatım boyunca mesleğimi sevmemde önde giden sebeplerden biri olan değerli Hocam Doç. Dr. Özgür ANIL'a, deney elemanlarının hazırlanmasında ve deneylerin yapılmasında maddi manevi desteğiyle arkamda olan arkadaşım Kadir Nadir SEKMAN'a, laboratuvarında karşılaştığımız sorunların çözümünde bize yardımcı olan Faruk OGÜN'e teşekkürü bir borç bilirim. Her türlü desteğini arkamdan eksik etmeyen aileme de ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY ELEMANLARI	10
2.1.Genel	10
2.2.Deney Elemanlarının Üretilmesi	11
2.3.Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	13
2.3.1. Gaz Beton	13
2.3.2. Yapıştırıcı tutkal	14
2.3.3. CFRP (carbon fiber reinforced polymer)	15
2.3.4. Epoksi	16
2.4.Deney Elemanlarının Hazırlanışı	18
2.4.1. Güçlendirme işlemi	18
3. DENEY DÜZENEĞİ.....	30
3.1.Genel.....	30
3.2.Yükleme ve Deney Düzeneği	31

Sayfa

3.3.Ölçüm Düzeneği ve Veri Toplanması	33
4. DENEYLER	38
4.1.Deney elemanı 1 (referans)	38
4.2.Deney Elemanı 2	40
4.3.Deney Elemanı 3	47
4.4.Deney Elemanı 4	55
4.5.Deney elemanı 5	63
4.6.Deney Elemanı 6	71
4.7.Deney Elemanı 7	80
4.8.Deney Elemanı 8	88
4.9.Deney Elemanı 9	96
4.10. Deney Elemanı 10.....	104
4.11. Deney Elemanı 11.....	113
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	120
5.1.Deney Elemanlarının Davranışı	121
5.2.Rijitlik	127
5.3.Süneklik Oranı	128
5.4.Tüketilen Enerji	130
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	131
KAYNAKLAR	134
ÖZGEÇMİŞ	135

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. 1995 Dinar depreminde düzlemi dışına yıkılan bir duvar	2
Resim 1.2. 2003 Bingöl depreminde yatakhane içine yıkılmış duvarlar	3
Resim 1.3. 1975 Lice depreminde yıkılan duvarlar	3
Resim 1.4. 1998 Adana-Ceyhan depremi	4
Resim 2.1. Deney elemanları	12
Resim 2.2. Deney elemanları	12
Resim 2.3. Güçlendirme işlemi uygulanmış deney elemanları	13
Resim 2.4. Duvar üretimi	14
Resim 2.5. CFRP lifleri	15
Resim 2.6. Ankraj detayı CFRP yüzeyi	19
Resim 2.7. Ankraj detayı duvar yüzeyi	19
Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği	30
Resim 3.2. Yük hücresi ve yükleme kirişi	31
Resim 3.3. LVDT (Linear variable differential transformer)	34
Resim 3.4. CFRP yüzeyine yapıştırılan birim deformasyon ölçerler	34
Resim 3.5. CFRP yüzeyine yapıştırılan birim deformasyon ölçer	35
Resim 3.6. Veri toplama için kullanılan 8 kanallı data logger	35
Resim 4.1. Referans elemanın derzden ayrılması	39
Resim 4.2. Referans elemanın 2. derzinin ayrılması	40
Resim 4.3. 2 Numaralı elemanı	44
Resim 4.4. 2 numaralı elemanın deney öncesi resmi	45
Resim 4.5. 2 numaralı deney elemanın deney sonrası resmi	45

Resim	Sayfa
Resim 4.6. 1. sıra derzin CFRP şeritler üzerinden açılması.....	46
Resim 4.7. CFRP ankrajların etrafındaki bloklarda ayrılması.....	46
Resim 4.8. CFRP şeridin yüzeyden ayrılması.....	47
Resim 4.9. 3 Numaralı elemanı.....	51
Resim 4.10. 3 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi.....	52
Resim 4.11. 3 numaralı elemanın deforme olmuş hali	52
Resim 4.12. 2. sıra bloklardaki kesme kırılması.....	53
Resim 4.13. 2. Sıradaki ezilen bloklar	53
Resim 4.14. CFRP şeridin yüzeyden ayrılması.....	54
Resim 4.15. 2. sıra gaz betonların kırılması.....	54
Resim 4.16. 4 Numaralı deney elemanı	59
Resim 4.17. 4 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi.....	59
Resim 4.18. 4 numaralı elemanın deformasyona uğramış hali	60
Resim 4.19. 1. Derzdeki CFRP şeridin yüzeyden ayrılması.....	60
Resim 4.20. Sıra blokların kırılması	61
Resim 4.21. 1. ve 2. sıradaki bloklarda oluşan kesme çatlağı	61
Resim 4.22. 1. derzin ankrajlar etrafında dönerek ayrılması.....	62
Resim 4.23. Ankrajlar etrafındaki zorlanmalar	62
Resim 4.24. Deney elemanı 5.....	67
Resim 4.25. Deforme olmamış deney elemanı	68
Resim 4.26. Deney elemanı 5'in deney sonrası görünüşü	68
Resim 4.27. Deney elemanın 1. ve 2. sıra bloklarının kesme kuvveti etkisinde	69

Resim	Sayfa
Resim 4.28. Kesme kırılması	69
Resim 4.29. Duvar yüzeyi CFRP şeritler ve parçalanmış duvar	70
Resim 4.30. Blokların kırılmasıyla yüzeyden ayrılan şeritler	70
Resim 4.31. 6 numaralı elemanın deney öncesi resmi	75
Resim 4.32. 6 numaralı elemanın deformasyona uğramış hali	75
Resim 4.33. Deney elemanı 6.....	76
Resim 4.34. Kesme kırılması ve CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılımları	76
Resim 4.35. CFRP şeritlerin parçalanmış yüzeyden ayrılımları	77
Resim 4.36. Kesme kırılmasına maruz kalan bloklar	77
Resim 4.37. Kesme kırılmasına maruz kalan bloklar	78
Resim 4.38. Ankraj etrafı blok kırılımları	78
Resim 4.39. Ankrajın yüzeyden ayrılması	79
Resim 4.40. Ankrajların yüzeyden ayrılması	79
Resim 4.41. Deney öncesi 7 numaralı deney elemanı.....	84
Resim 4.42. Deformasyona uğramış deney elemanı 7	84
Resim 4.43. Deney elemanı 7.....	85
Resim 4.44. Genel göçme modu.....	85
Resim 4.45. Yüzeyden ayrılan CFRP şerit.....	86
Resim 4.46. Parçalanmış bloklar üzerinde kopan ve yüzeyden ayrılan şeritler	86
Resim 4.47. Yüzeyden ayrılan şeritler	87
Resim 4.48. Parçalanmış bloklar	87
Resim 4.49. 8 numaralı elemanın deney öncesi resmi	92

Resim	Sayfa
Resim 4.50. 8 numaralı elemanın deforme olmuş hali	92
Resim 4.51. 8 numaralı deney elemanı	93
Resim 4.52. Yüzeyden ayrılan şeritler	93
Resim 4.53. 22 Sıra bloklardaki kesme kırılması	94
Resim 4.54. CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmaları.....	94
Resim 4.55. Derz yüzeyinde yüzeyden ayrılan şeritler	95
Resim 4.56. Derz ve duvar yüzeyinden ayrılan şeritler	95
Resim 4.57. 9 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi.....	100
Resim 4.58. 9 numaralı deney elemanın göçmeye uğramış hali.....	100
Resim 4.59. 9 numaralı deney elemanı	101
Resim 4.60. CFRP şerit yüzey aderansı	101
Resim 4.61. 2. sıra derzin açılmasıyla yüzeyden ayrılan şeritler.....	102
Resim 4.62. 1.sıra derzin açılması.....	102
Resim 4.63. Yüzeyden ayrılan CFRP şeritler.....	103
Resim 4.64. 2.sıradaki kırılan bloklar	103
Resim 4.65. 10 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi.....	108
Resim 4.66. 10 numaralı deney elemanın göçmeye uğramış hali.....	108
Resim 4.67. 10 numaralı deney elemanı	109
Resim 4.68. 1. ve 2. sıra bloklardaki kesme kırılması	109
Resim 4.69. CFRP şerit altında oluşan ayrılma	110
Resim 4.70. Parçalanan bloklar	110
Resim 4.71. CFRP ankraj etrafında kırılan bloklar	111

Resim	Sayfa
Resim 4.72. Kesme kırılması	111
Resim 4.73. Ankrajın yüzeyden ayrılması	112
Resim 4.74. Ankrajın blok içine doğru çekilmesi	112
Resim 4.75. 11 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi.....	117
Resim 4.76. 11 numaralı deney elemanın deforme olmuş hali	117
Resim 4.77. 11 numaralı deney elemanı	118
Resim 4.78. 1. ve 2. Sıra bloklarda oluşan kesme kırılması	118
Resim 4.79. Yüzeyden ayrılan CFRP şeritler.....	119
Resim 4.80. Açılan derz üzerinden ayrılan şeritler.....	119

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri	10
Çizelge 2.2. Yapıştırma tutkalı özellikleri	14
Çizelge 2.3. CFRP yapısal özellikleri	16
Çizelge 2.4. CFRP laminat özellikleri	16
Çizelge 2.5. Sıcaklığa bağlı viskozite	17
Çizelge 2.6. Termal stabilite.....	17
Çizelge 2.7. Epoksi genel özellikler.....	17
Çizelge 4.1. Deney elemanı 1 in genel deney sonuçları tablosu.....	38
Çizelge 4.2. Deney elemanı 2'nin genel deney sonuçları tablosu	40
Çizelge 4.3. Deney elemanı 3'ün genel deney sonuçları tablosu	47
Çizelge 4.4. Deney elemanı 4'ün genel deney sonuçları tablosu	55
Çizelge 4.5. Deney elemanı 5'in genel deney sonuçları tablosu	63
Çizelge 4.6. Deney elemanı 6'nın genel deney sonuçları tablosu	71
Çizelge 4.7. Deney elemanı 7'nin genel deney sonuçları tablosu	80
Çizelge 4.8. Deney elemanı 8'in genel deney sonuçları tablosu	88
Çizelge 4.9. Deney elemanı 9'un genel deney sonuçları tablosu	96
Çizelge 4.10. Deney elemanı 10'un genel deney sonuçları tablosu	104
Çizelge 4.11. Deney elemanı 11'in genel deney sonuçları tablosu	113
Çizelge 5.1. Referans elemanına göre dayanım oranları	120
Çizelge 5.2. Rijitlik çizelgesi	128
Çizelge 5.3. Süneklik oranı çizelgesi.....	129
Çizelge 5.4. Tüketilen enerji.....	130

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Deney elemanı geometrisi.....	11
Şekil 2.2. 2 Numaralı deney elemanı	20
Şekil 2.3. 3 Numaralı deney elemanı	21
Şekil 2.4. 4 Numaralı deney elemanı	22
Şekil 2.5. 5 Numaralı deney elemanı	23
Şekil 2.6. 6 Numaralı deney elemanı	24
Şekil 2.7. 7 Numaralı deney elemanı	25
Şekil 2.8. 8 Numaralı deney elemanı	26
Şekil 2.9. 9 Numaralı deney elemanı	27
Şekil 2.10. 10 Numaralı deney elemanı	28
Şekil 2.11. 11 Numaralı deney elemanı	29
Şekil 3.1. Moment ve kesme diyagramları	32
Şekil 3.2. Deney düzeneği	33
Şekil 4.1. Referans elemanının yük deplasman grafiği	39
Şekil 4.2. 2 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	41
Şekil 4.3. 2 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	42
Şekil 4.4. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	42
Şekil 4.5. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	43
Şekil 4.6. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	43
Şekil 4.7. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	43
Şekil 4.8. 3 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	48
Şekil 4.9. 3 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.10. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	49
Şekil 4.11. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	50
Şekil 4.12. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	50
Şekil 4.13. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	50
Şekil 4.14. 4 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	56
Şekil 4.15. 4 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	57
Şekil 4.16. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	57
Şekil 4.17. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	58
Şekil 4.18. 5 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	64
Şekil 4.19. 5 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	65
Şekil 4.20. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	65
Şekil 4.21. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	66
Şekil 4.22. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	66
Şekil 4.23. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	66
Şekil 4.24. 6 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	72
Şekil 4.25. 6 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	73
Şekil 4.26. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	73
Şekil 4.27. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	74
Şekil 4.28. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	74
Şekil 4.29. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	74
Şekil 4.30. 7 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	81
Şekil 4.31. 7 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli.....	82
Şekil 4.32. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	82

Şekil	Sayfa
Şekil 4.33. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	83
Şekil 4.34. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	83
Şekil 4.35. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	83
Şekil 4.36. 8 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	89
Şekil 4.37. 8 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli.....	90
Şekil 4.38. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	90
Şekil 4.39. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	91
Şekil 4.40. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	91
Şekil 4.41. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	91
Şekil 4.42. 9 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	97
Şekil 4.43. 9 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli.....	98
Şekil 4.44. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	98
Şekil 4.45. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	99
Şekil 4.46. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	99
Şekil 4.47. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	99
Şekil 4.48. 10 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	105
Şekil 4.49. 10 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	106
Şekil 4.50. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	106
Şekil 4.51. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	107
Şekil 4.52. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	107
Şekil 4.53. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	107
Şekil 4.54. 11 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği	114
Şekil 4.55. 11 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli	115

Şekil	Sayfa
Şekil 4.56. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	115
Şekil 4.57. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	116
Şekil 4.58. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	116
Şekil 4.59. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği	116
Şekil 5.1. Ankrajlı elemanlar ve referans.....	122
Şekil 5.2. Ankrajsız elemanlar ve referans.....	122
Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	123
Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	124
Şekil 5.5. Deney elemanı 6 ve 7 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	125
Şekil 5.6. Deney elemanı 8 ve 9 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	126
Şekil 5.7. Deney elemanı 10 ve 11 un karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği	127

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur

Simgeler	Açıklama
δ_1	Sol mesnet çökmesi (mm)
δ_2	Eleman orta nokta deplasmanı (mm)
δ_3	Sağ mesnet çökmesi (mm)
V_0	Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)
V_i	Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)
GF	Uzama oranı (2 alınmıştır)
$GAIN$	Kazanç faktörü (410 alınmıştır)
ε	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 veya deforme olabilmektedir.

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 görülmektedir.

Çalışmamızın ülkemiz şartlarına uygunluğu açısından, özellikle dış cephe duvarlarında yaygın olarak uygulama alanı bulan gaz beton bloklar kontrol grubu olarak seçilmiştir. Türkiye’de hemen her yapıda özellikle son yıllarda oldukça uygulama alanı bulan gaz beton bloklar hafiflikleri ve yalıtım özellikleri sebebiyle sıkça tercih edilir hal almışlardır.

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 perdelerle aktarılmakta; dolgu duvarlara yatay yük gelmediği varsayımıyla tasarım yapılmaktadır. Bina kullanım alanını mimari olarak efektif hale getirmek için bölme duvarlar oluşturulur. Bu bölmeleri oluşturmak için kullanılan malzemelerden biri de gaz beton bloklarıdır. Çerçeveler içerisine iyi mesnetlenmemiş veya çerçeve içine

tam oturmayan duvarlar düzlemleri dışında gelen yatay yükler etkisinde yıkılmaktadır. Ayrıca kat yüksekliği fazla olan duvarların ve duvar üstü veya yanlarında kapı ve pencereler barındıran duvarların da bu sorunla deprem gibi bir yatay yük etkisine maruz kalmasa dahi deforme olduğu hatta yıkıldığı gözlemlenmiştir.

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 karşılaşılmaktadır. Bahsi geçen hasarlar ülkemizde de sıkça görülmektedir. Resim 1.1, Resim 1.2, Resim 1.3 ve Resim 1.4 te ülkemizde yaşanan bazı depremler sonucunda teze konu olan hasarlardan bazı örnekler verilmiştir.



Resim 1.1. 1995 Dinar depreminde düzlemi dışına yıkılan bir duvar



Resim 1.2. 2003 Bingöl depreminde yatakhane içine yıkılmış duvarlar



Resim 1.3. 1975 Lice depreminde yıkılan duvarlar



Resim 1.4. 1998 Adana-Ceyhan depremi

Gaz beton duvarların düzlem dışı performansını güçlendirme uygulayarak artırmak için çeşitli metotlar denenmiştir. En yaygın olan metotlar arasında duvarın yeni bir sıra blok ile örülerek güçlendirilmesi, gaz betonun veya bloğun boşluklarına yerleştirilen çelik çubuklar ile donatılı duvarlar oluşturulması, donatılı veya lif katkılı bir sıva katmanı ile bölme duvarı yüzeyinin kaplanması olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin birçoğu 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 kullanılabilecek, hafif, her yüzeye kolay uygulanabilen, yapı içerisindeki yaşayanları rahatsız etmeden uygulama yapılabilecek 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 yükleme 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 bölme 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 arttırma amacıyla deneysel bir çalışma oluşturulmuştur. CFRP'nin gaz beton dolgu duvarın üzerine uygulanma şekli ve geometrisi değişken olmak üzere 5 farklı desen belirlenmiştir. Bu belirlenen geometride yapıştırılan CFRP şeritleri, ankrajlar ile gaz beton dolgu duvarın yüzeyine bağlayarak ve bağlamadan 2 ayrı seri test yapılması planlanmıştır.

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

Çalışmadaki değişkenler:

- CFRP şerit genişlikleri
- CFRP şerit desenleri
- 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 derz yüzeyine 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 on sekiz farklı numuneyi test etmişlerdir. Deney numunesi boyutlarını 900 x 600 mm olarak seçen ekip, on yedisi güçlendirilmiş biri referans olmak üzere toplamda on sekiz adet eleman denemişlerdir. Deneyler dört nokta yüklemeyle yapılmışlardır. Deneylerde eksenel 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 yapılardaki 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 gaz beton veya ülkemizde ateş gaz betonsı 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 ayrılımlarıyla 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 arttırıldığı 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. Yükü 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].

Nejat Bayülke'nin 2003 yılında Türkiye Mühendislik Haberlerinde yayınlanan makalesinde dolgu duvarların düzlem dışı ve düzlem içi davranışları Türkiye'nin farklı bölgelerinde gerçekleşen depremler sonucu dolgu duvarlarda meydana gelen hasarları araştırmış ve sonuçlarını incelemiştir. Bölme duvarları ve davranışları hakkında oldukça kapsamlı hazırlanan bu çalışma deprem sonrası dolgu duvarların aldığı hasarlara güzel bir örnektir.

Murat Demirhan tarafından 2010 Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yapılan tez çalışmasında CFRP şeritler ile güçlendirilmiş 10 adet boşluklu gaz beton duvar test edilmiştir. Çalışmalarında süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi gibi önemli parametrelerde yüksek kapasite artışları gözlemlenmişlerdir.

2. DENEY ELEMANLARI

2.1. Genel

Duvarların yapılarıdaki konumları ve geometrileri göz önünde bulundurularak deneyler sırasında boyut etkisini ortadan kaldırmak amacıyla deney elemanları 1010x1500 mm boyutlarında seçilmiştir. Deney elemanlarında boyut etkisini azaltabilmek adına 150x600x250 mm boyutlarındaki bir gaz beton bloğu üç eşit parçaya ayrılmıştır. Böylece elde edilen sonuçlar gerçek yapıyla kıyaslanabilir ölçüde derz içerecektir. Bir deney elemanı, bünyesinde otuz adet gaz beton bloğu barındırmaktadır. Gaz beton blok boyutları 150x200x250 mm' dir. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve gaz beton blokların yerleşim şekli Şekil 2.1 de verilmiştir. Gaz beton blokların basınç dayanımı 2, 5 MPa' dır. Elemanın toplam ağırlığı 160 kg' dır. Deney elemanlarının derz dayanımları standart tutkal kullanıldığından 11 deney elemanı içinde farklılık göstermeyeceği kabulünde bulunulmuştur. Programda yer alan deney elemanlarında 5 farklı tip CFRP şerit yapıştırma deseni belirlenmiştir. CFRP şerit yapıştırma desenleri 150, 100 ve 50 mm lik şeritler kullanılarak deney elemanları üretilmiştir. Belirlenen 5 farklı CFRP yapıştırma deseni 2 seri olarak CFRP ankraj uygulanmadan ve uygulanarak üretilmiştir. Deney elemanlarının özellikleri Çizelge 2.1 de özetlenmiştir.

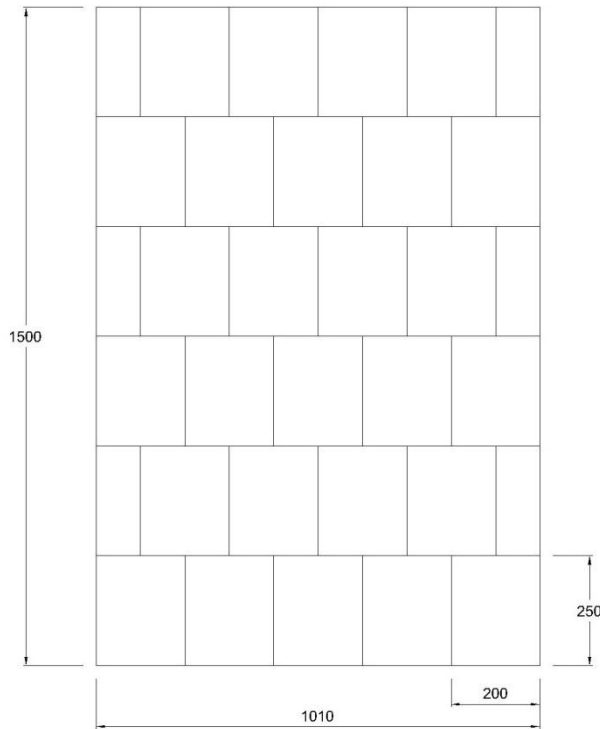
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Numune Numarası	CFRP Şerit Özellikleri (sayı / mesafe)			Ankraj
	Dikey Şerit	Yatay Şerit	Çapraz Şerit	
1	Referans elemanında CFRP şerit uygulanmamıştır.			
2	-	-	2 / 150	
3	-	-	2 / 150	Var
4	3 / 100	3 / 100	-	
5	3 / 100	3 / 100	-	Var
6	-	-	10 / 50	
7	-	-	10 / 50	Var
8	3 / 50	5 / 50	-	
9	3 / 50	5 / 50	-	Var
10	2 / 100	2 / 100	2 / 100	
11	2 / 100	2 / 100	2 / 100	Var

2.2. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Standart bir gaz beton Deney elemanları üretilirken şantiye koşulları göz önüne alınmış olup derz üretimi ve duvar gaz beton blok sıralaması şantiye koşullarına göre yapılmıştır. Blok derzleri 1-3 mm kalınlığında örgü tutkalı kullanarak hazırlanmıştır.

Deney elemanları hazırlanırken CFRP yapıştırılacak yüzeyin pürüzsüzlüğü CFRP'den gerekli verimin alınması için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple boşlukların giderilmesi ve düzgün bir yüzey elde edilebilmesi için CFRP uygulanacak yüzey tel fırça ve kompresör ile temizlenmiştir. Deney elemanın ölçüleri Şekil 2.1 de verilmiştir. Üretim esnasında deney elemanlarına ait bazı resimler Resim 2.1, Resim 2.2, Resim 2.3 ve Resim 2.4 te gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Deney elemanı geometrisi



Resim 2.1. Deney elemanları



Resim 2.2. Deney elemanları



Resim 2.3. Güçlendirme işlemi uygulanmış deney elemanları

2.3. Kullanılan Malzeme Özellikleri

2.3.1. Gaz Beton

Gaz Beton blok boyutları standart olarak 600 mm lik boylarda kullanılmaktadır. Çalışmamızda 150x600x250 mm boyutlarındaki bir blok gerçek duvar modelindeki derz sayısına uyumluluğu açısından 200 mm lik üç eş parçaya ayrılmış ve deneylerde böyle kullanılmıştır. Bu noktadan sonra gaz beton blok sözcükleri kullanıldığında 150x200x250 mm olan boylar göz önüne alınacaktır. Gaz beton birim hacim ağırlığı 400 kg/m^3 tür. Gaz betona ait basınç dayanımı 2,5 MPa' dır. Deney elemanlarının üretiminde Türkiye'de oldukça yaygın olarak kullanılan donatısız gaz betonlar seçilmiştir. Bir deney elemanında toplam 30 adet gaz beton kullanılmıştır. Toplamda altı sıra gaz beton şaşırtmalı olarak örülmüştür.

2.3.2. Yapıştırıcı tutkal

Yapıştırıcı tutkal gaz beton dolgu duvarların genel performansı açısından son derece önemli olan ve gaz beton birimlerini bir arada tutan bağlayıcı bir malzemedir. Bu sebeple derzlerde kullanılacak yapıştırıcı tutkalın dayanımı önem arz etmektedir. Üretilen duvarların derz dayanımları 5 MPa civarında ön görülmüştür. Yapıştırıcı tutkal özellikleri Çizelge 2.2 'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yapıştırma tutkalı özellikleri

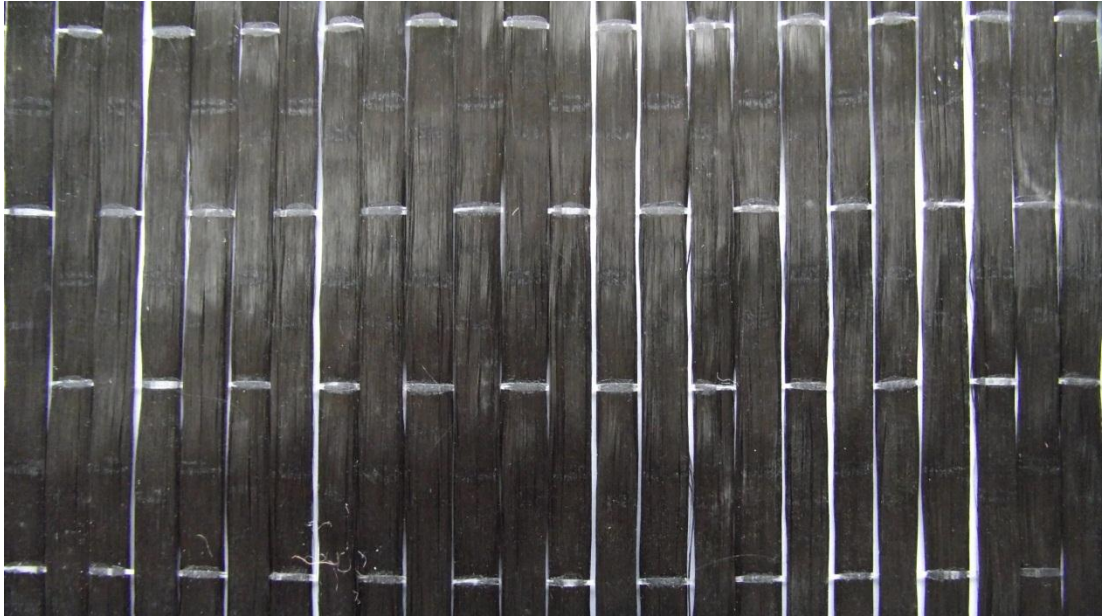
Basınç Dayanımı / Sınıfı (EN 1015-11)	$\geq 5 \text{ N/mm}^2 / \text{M5}$
Hava İçeriği (EN 1015-7)	$< \% 20$
Bağ Dayanımı (EN 998-2)	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge Değeri)
Kapiler Su Emme (EN 1015-18)	$\leq 0,17 \text{ kg/m}^2 \text{ dk}0,5$



Resim 2.4. Duvar üretimi

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 ısıtılma işlemine tabi tutulmuş fiberler ağırlığın %1 olarak verilmiştir. CFRP'nin özellikleri için bkz. Çizelge 2.3 Sikadur330 ile empenye edilmiş laminat özellikler için bkz. Çizelge 2.4 , CFRP lifler ise Resim 2.5 te görülebilir.



Resim 2.5. CFRP lifleri

Çizelge 2.3. 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 2.4. 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 yüzeyle 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 epoksi reçinesinin özellikleri Çizelge 2.5, Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7 de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Sıcaklığa bağlı viskozite

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

Çizelge 2.6. 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 2.7. Epoksi genel özellikler

Özellik	Değer
Kimyasal yapı	Epoksi reçine
Birim ağırlık (reçine karışımı)	1,31 kg/l (+23°C de)
Termal genleşme katsayısı	$45 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (-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 işlemi

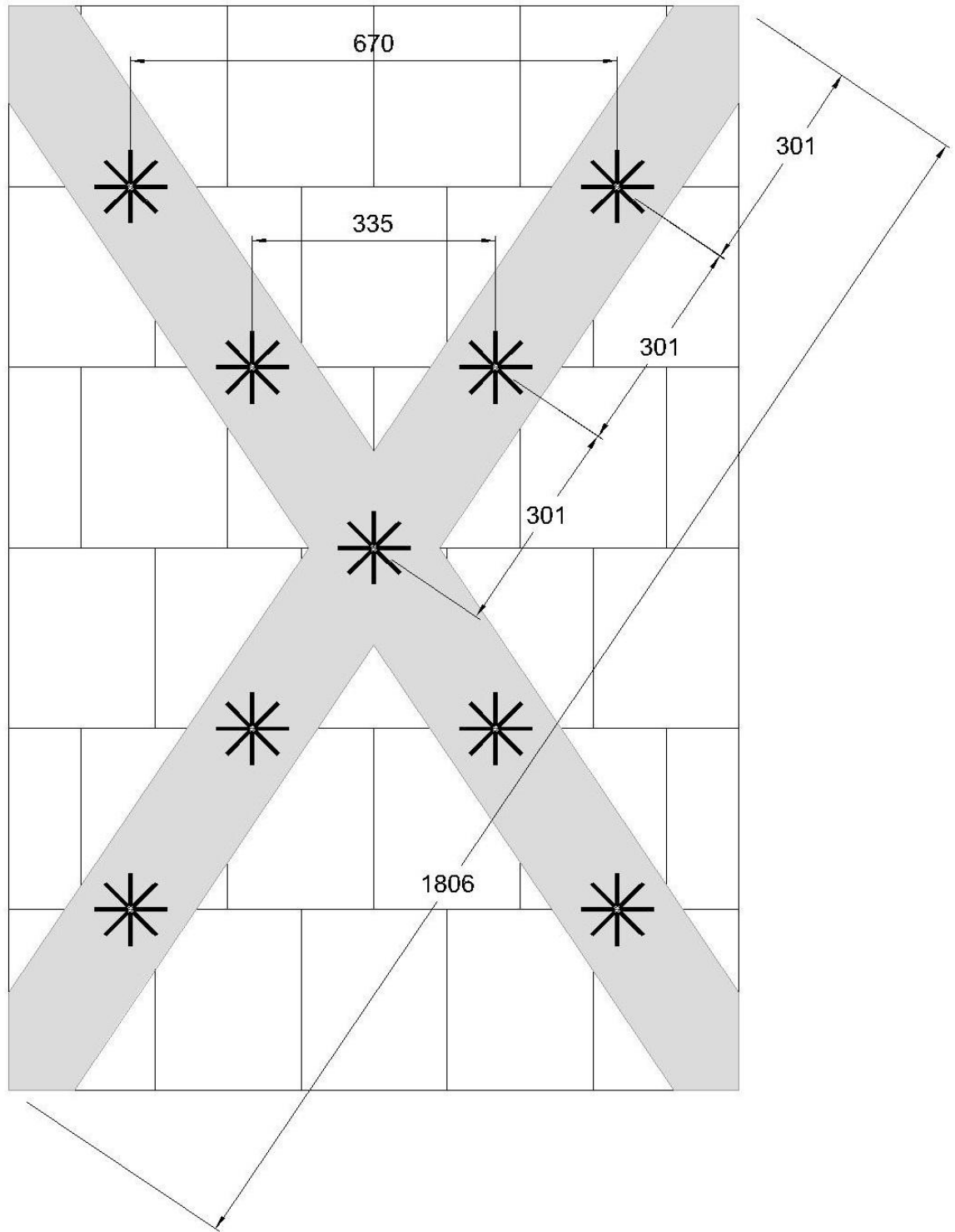
Uygun ölçülerde kesilen CFRP şeritler duvarlar üzerine uygun geometride çizilen detayların üzerine sürülen epoksi reçinesine yedirilerek yapıştırılmıştır. Güçlendirme için uygulanan diğer bir detay ankrajlardır. Ankraj uzunluğu 250 mm olup fan ankraj şeklinde sekiz eş parçaya bölünmüştür. Güçlendirme için seçilen yerleşim şeklinde CFRP şeritler yapıştırıldıktan sonra daha önceden açılan deliklerin yerleri bir tel yardımıyla işaretlendiğinden bu teller kullanılarak CFRP ankrajları yerleştirilmiştir. 250x100 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 gaz beton duvarın içerisinde açılan delikten geçirilmiştir. Daha sonra 8 eşit parçaya bölünen uç bölümler fan şeklinde açılarak CFRP şeritlerin üzerine yapıştırılmıştır. Son olarak CFRP ankrajın gaz beton dolgu duvarı içerisinde kalan bölümüne epoksi enjeksiyonu yapılarak bu bölümünde yapıştırıcı alması sağlanmıştır. Ankraj üretimi sırasında alınmış fotoğraflardan bazı örnekler Resim 2.6 ve Resim 2.7' de sunulmuştur. Deney elemanlarına CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirilen deney elemanlarının detayları Şekil 2.2-, Şekil 2.3, Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9, Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 de verilmiştir. Deney elemanları iki seri olarak düzenlenmiştir. Seçilen beş farklı CFRP şerit yerleşim düzeni hem ankrajlı hem de ankrajsız olarak uygulanmıştır.



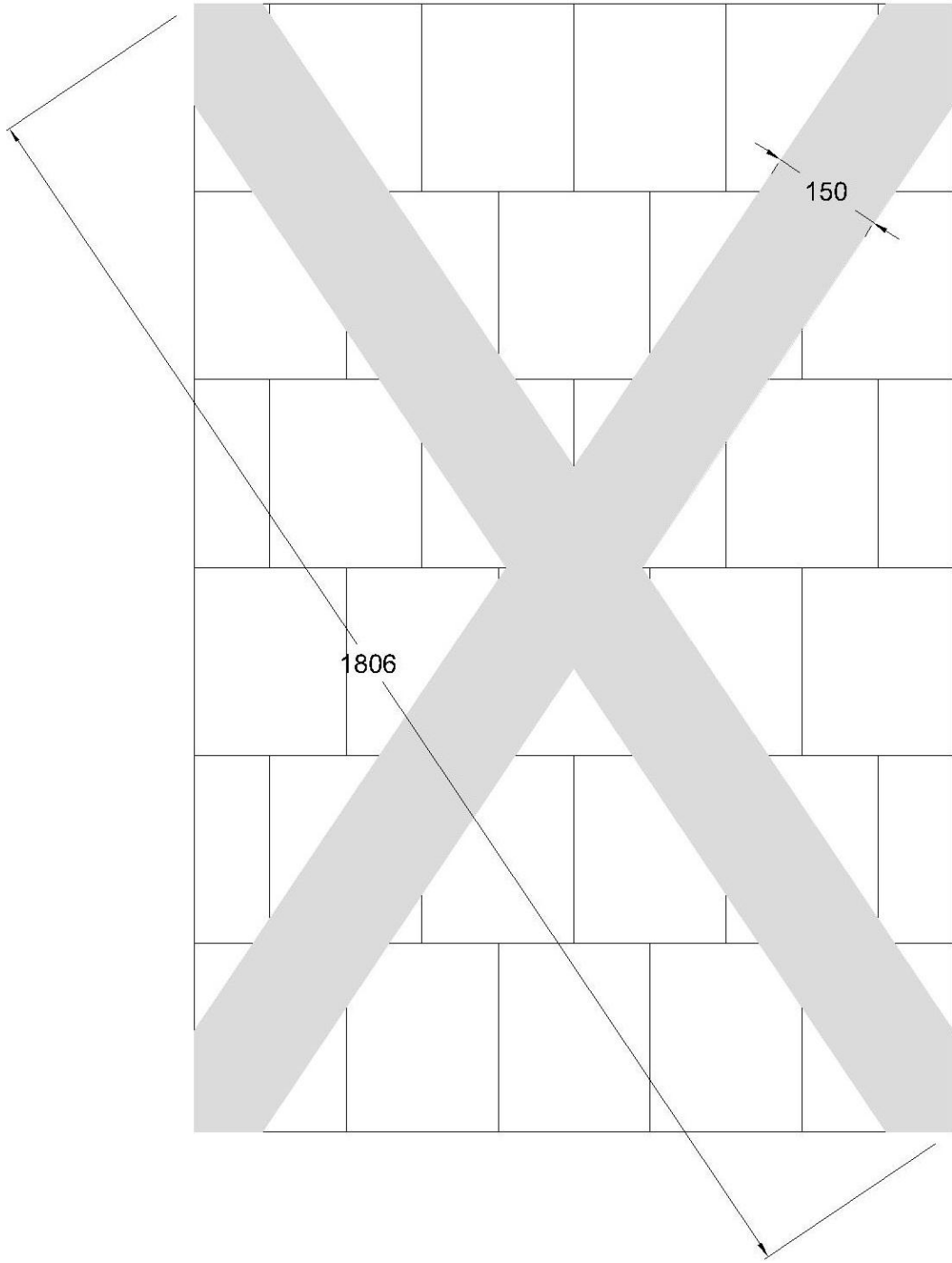
Resim 2.6. Ankraj detayı CFRP yüzeyi



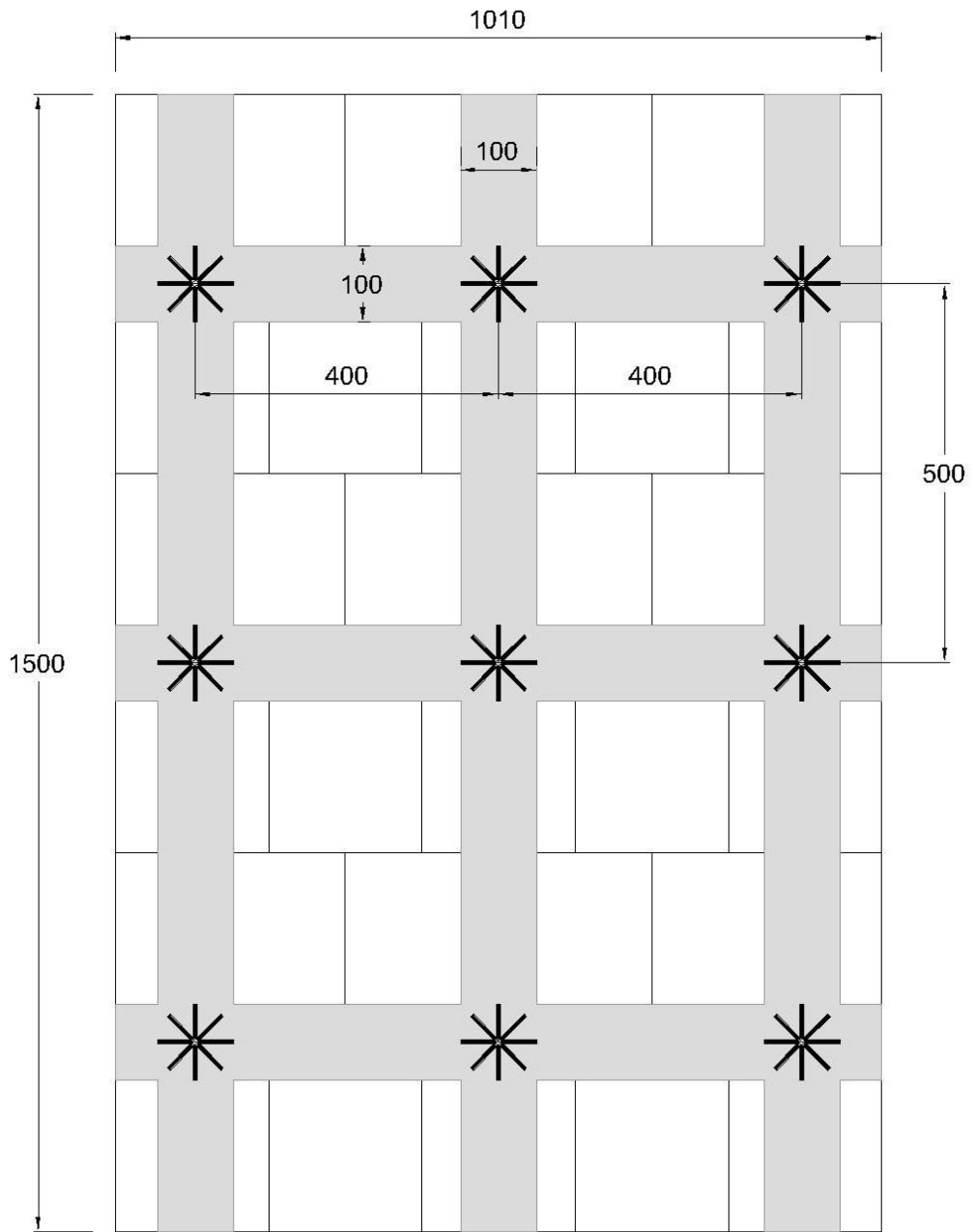
Resim 2.7. Ankraj detayı duvar yüzeyi



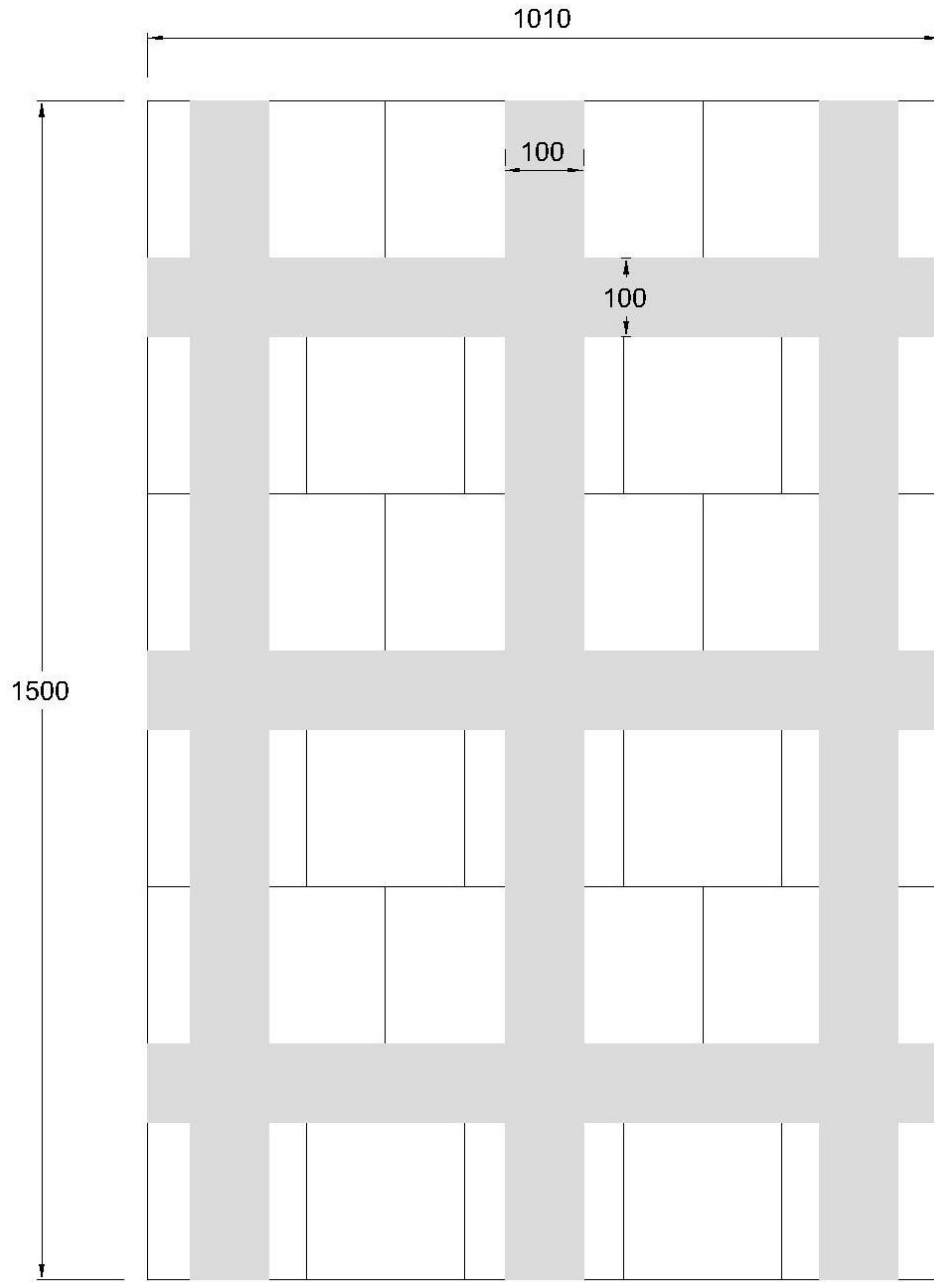
Şekil 2.2. 2 Numaralı deney elemanı



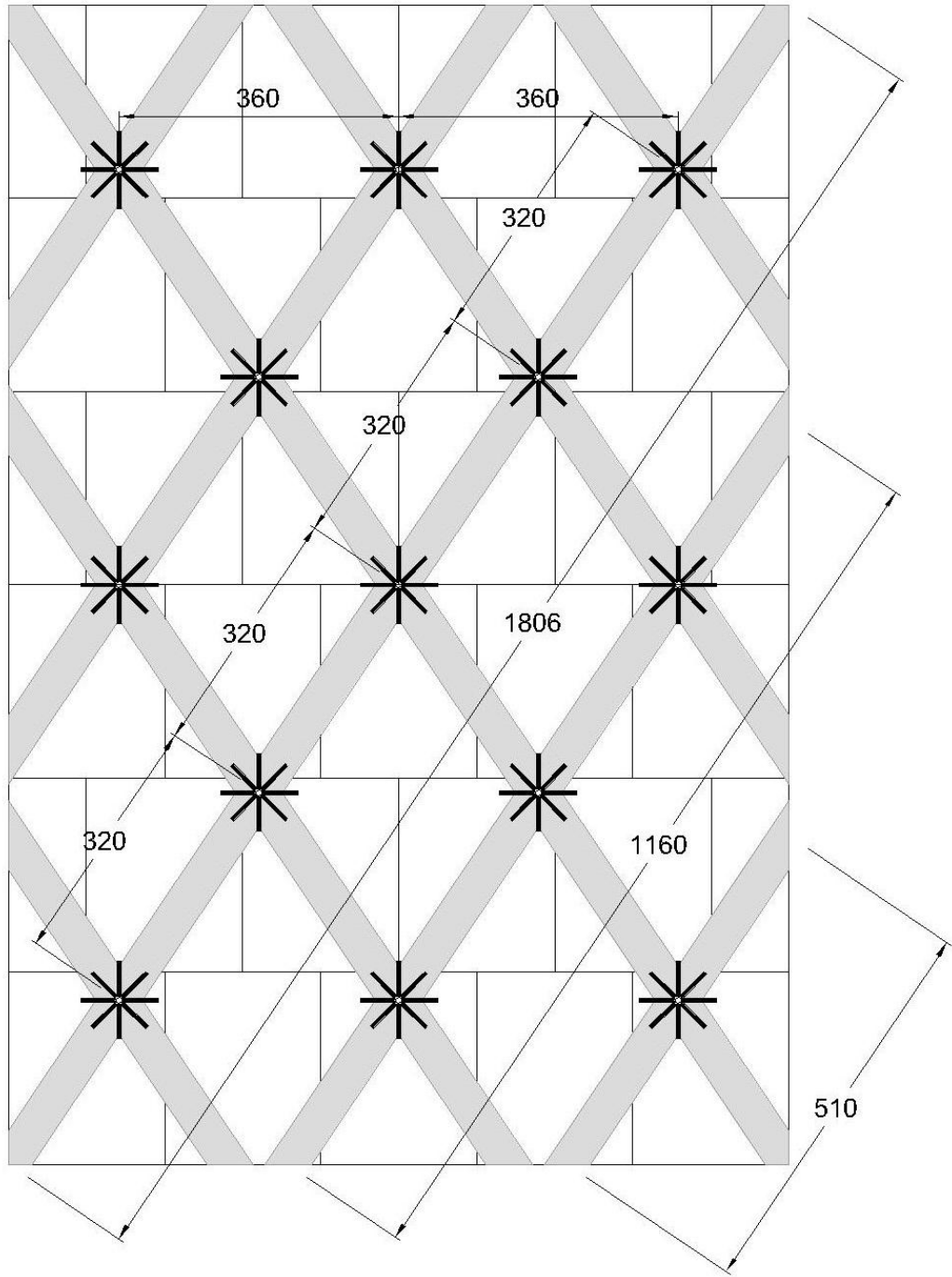
Şekil 2.3. 3 Numaralı deney elemanı



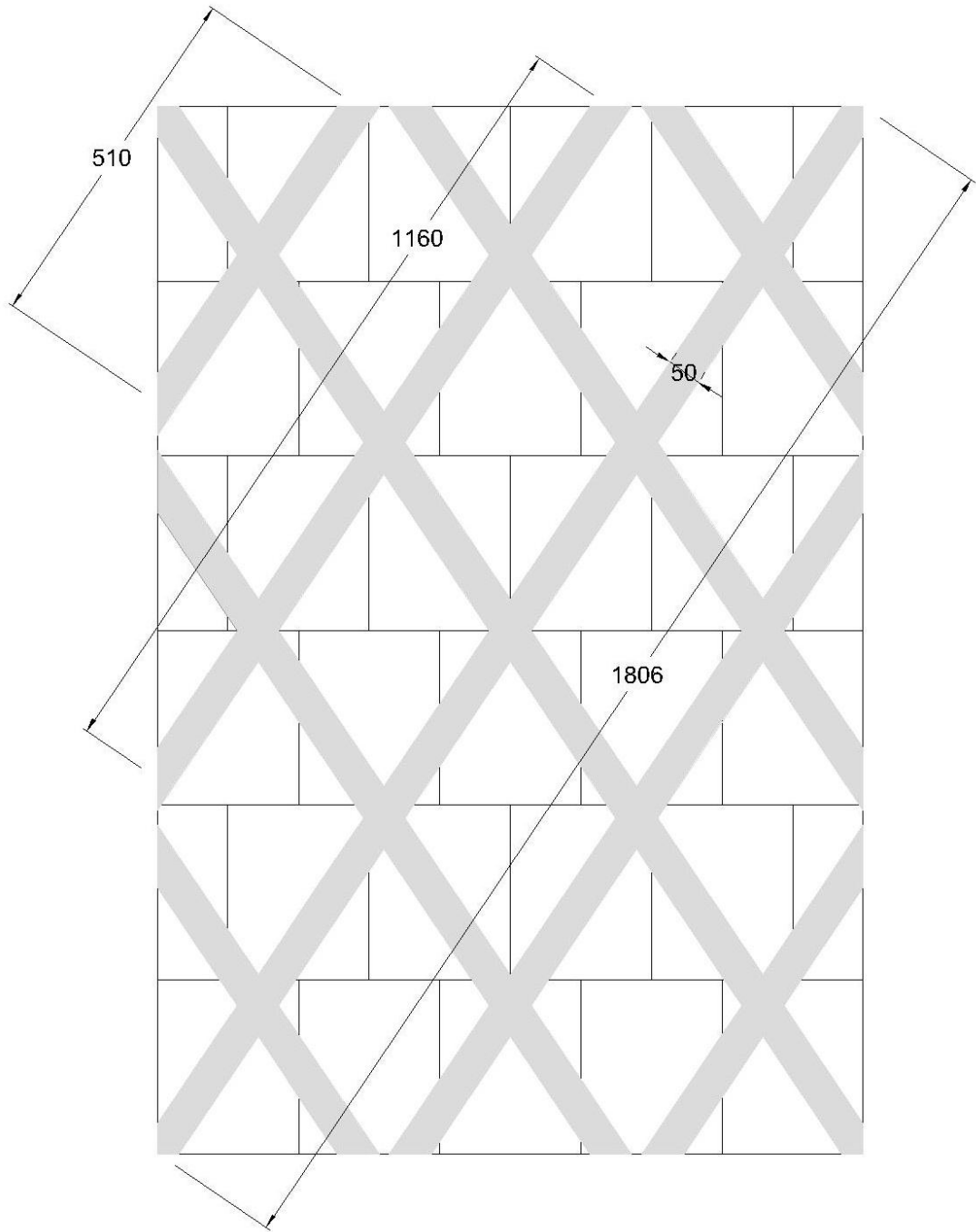
Şekil 2.4. 4 Numaralı deney elemanı



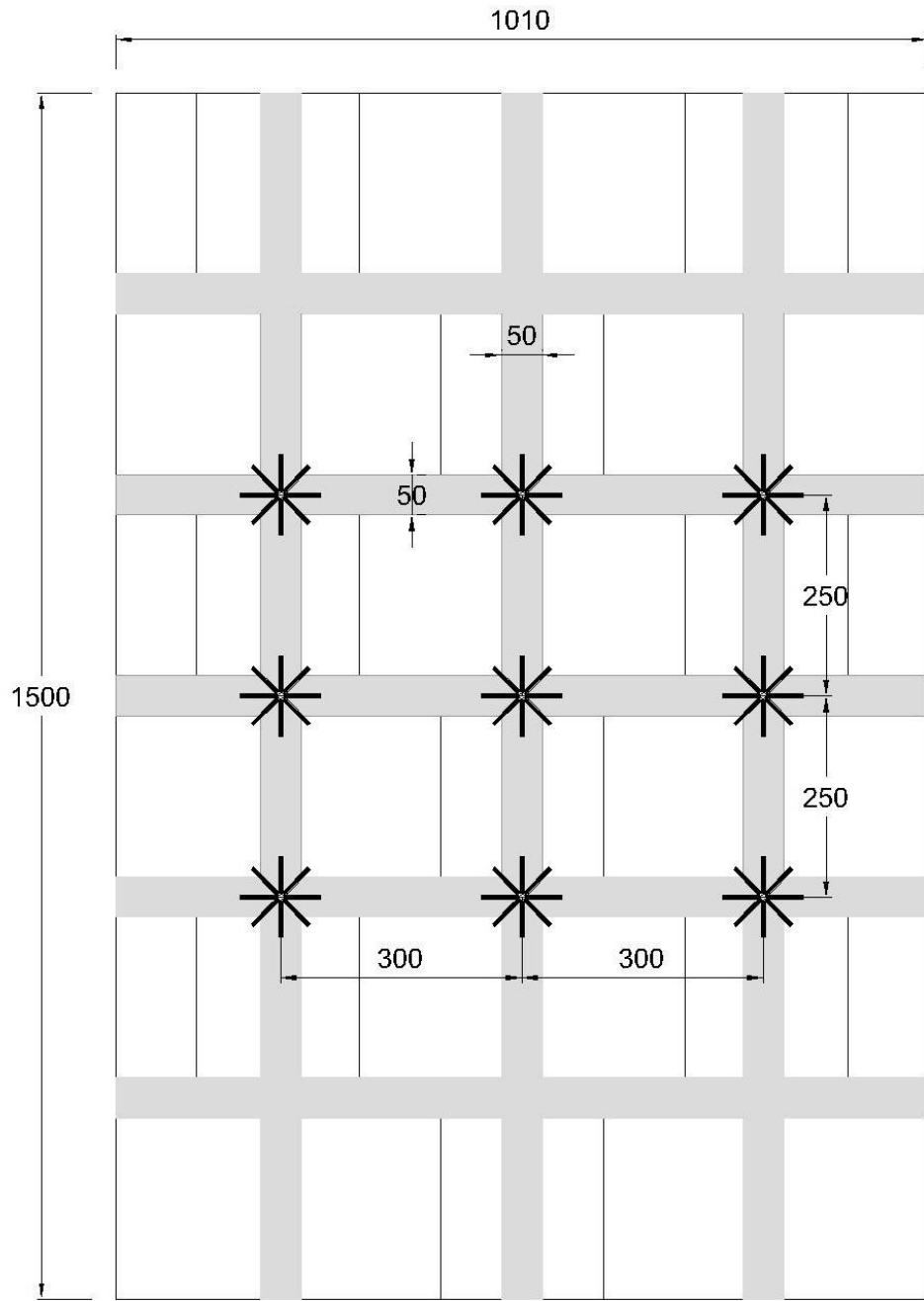
Şekil 2.5. 5 Numaralı deney elemanı



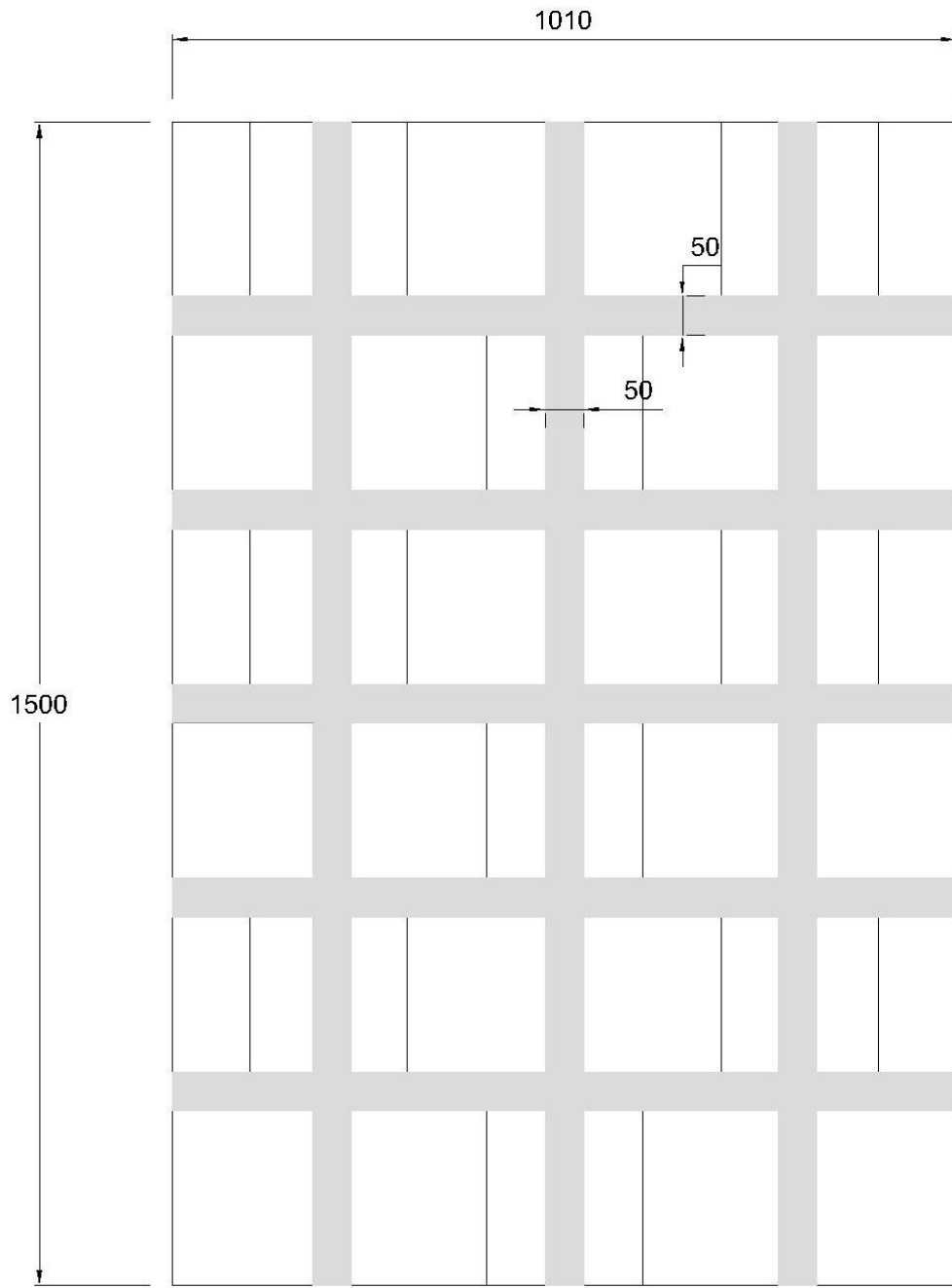
Şekil 2.6. 6 Numaralı deney elemanı



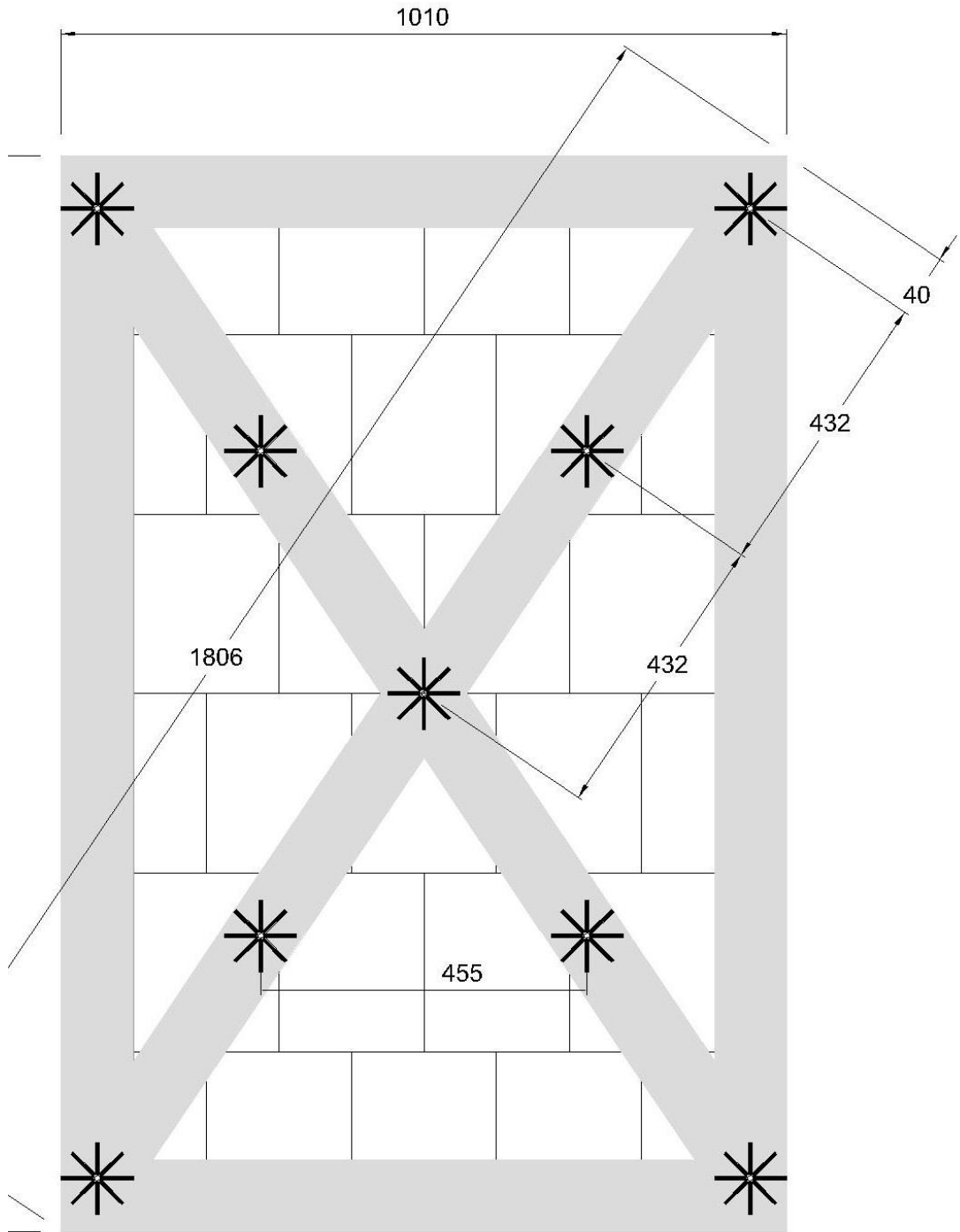
Şekil 2.7. 7 Numaralı deney elemanı



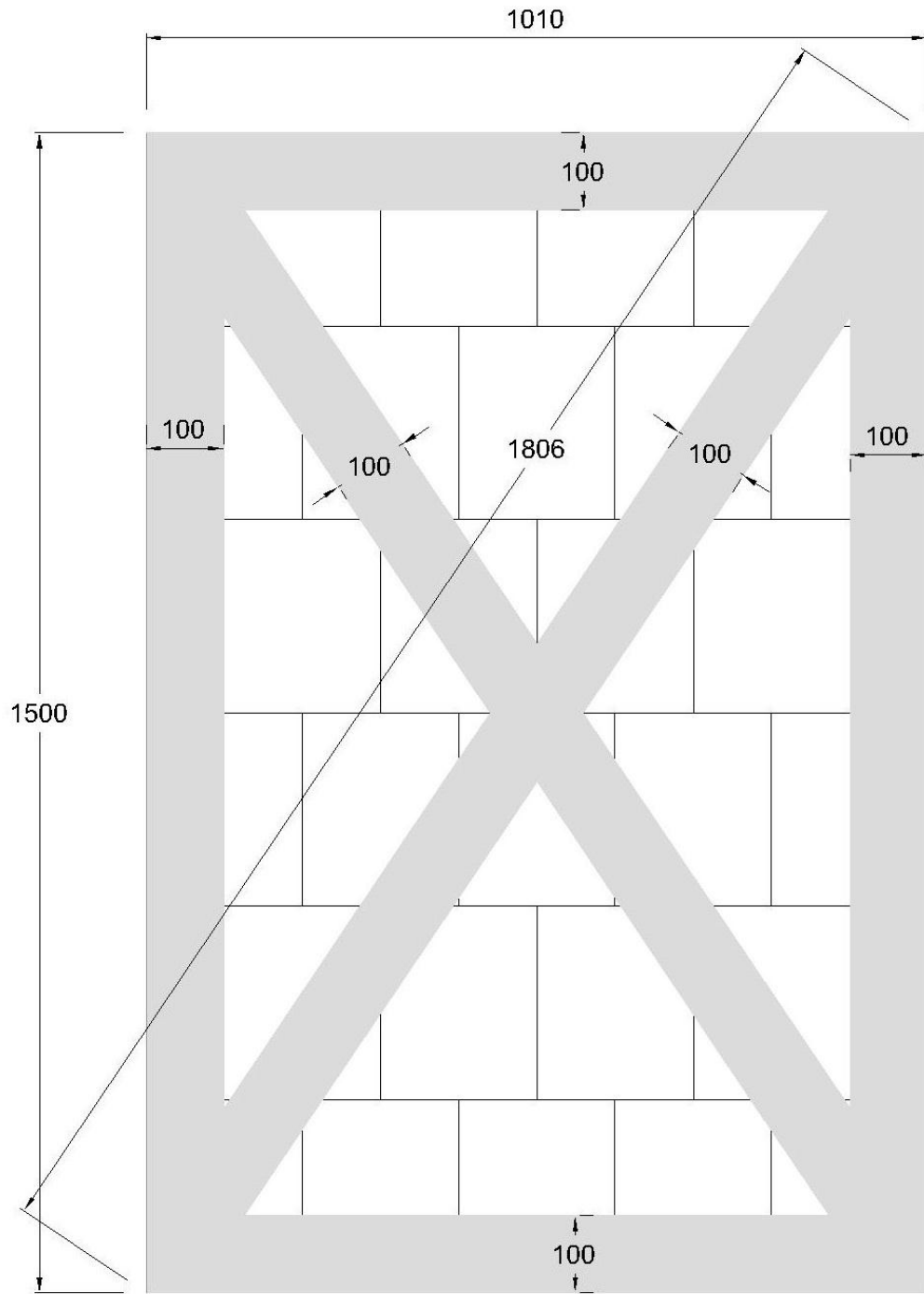
Şekil 2.8. 8 Numaralı deney elemanı



Şekil 2.9. 9 Numaralı deney elemanı



Şekil 2.10. 10 Numaralı deney elemanı

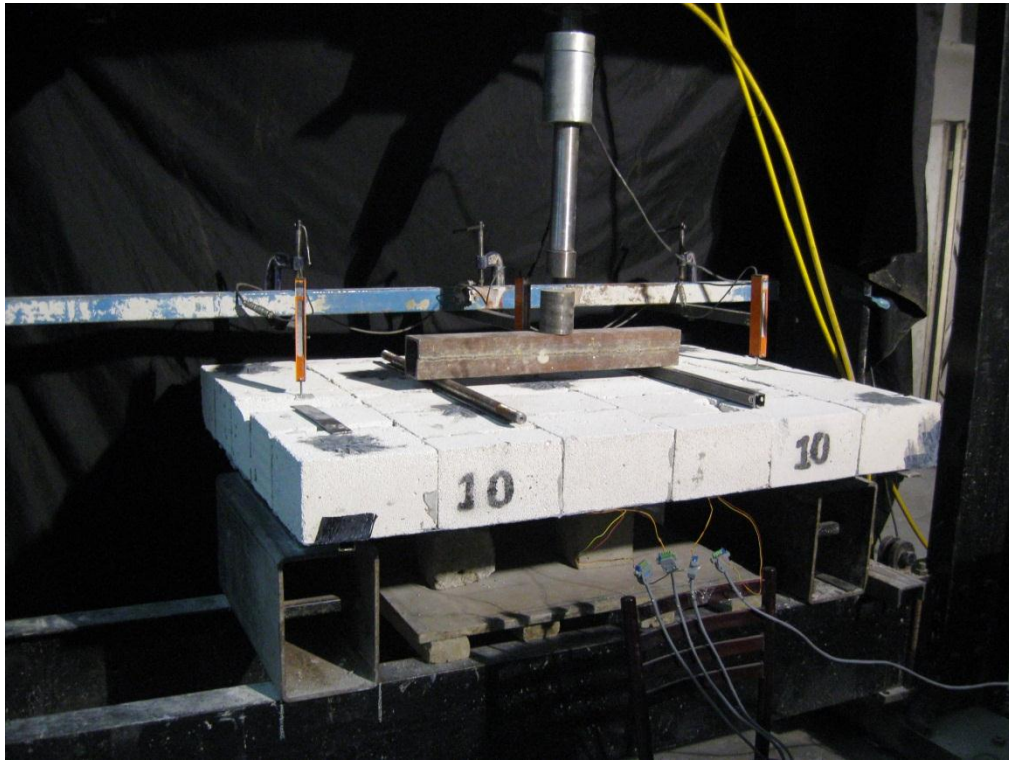


Şekil 2.11. 11 Numaralı deney elemanı

3. DENEY DÜZENEĞİ

3.1. Genel

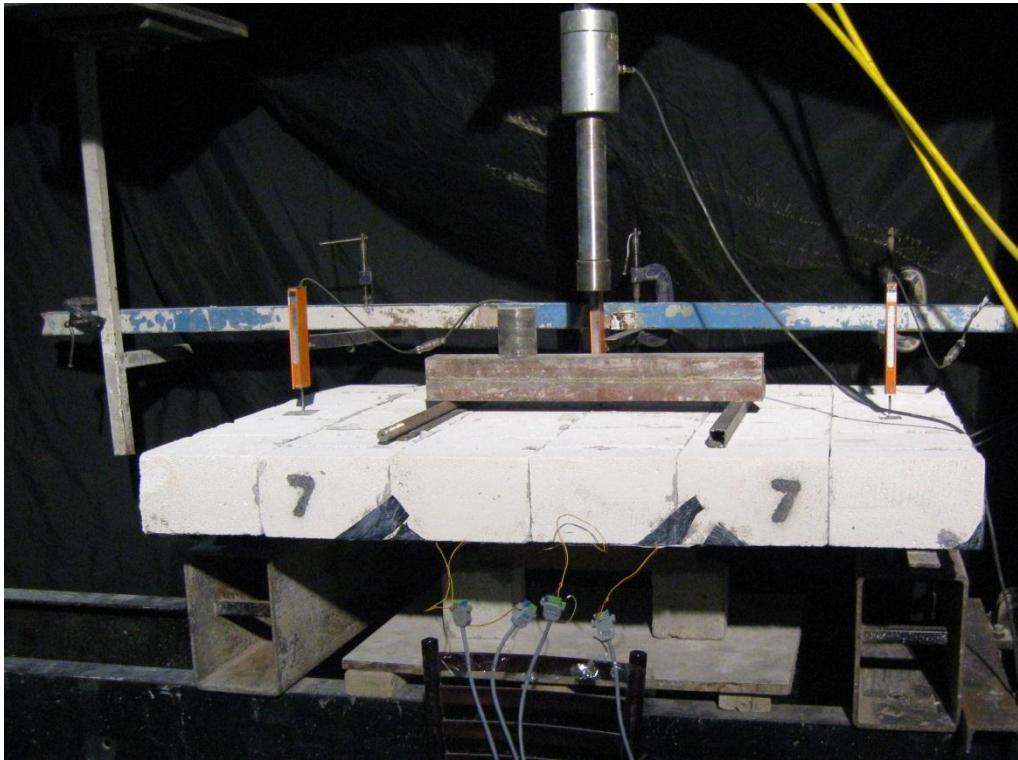
Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan kapalı çerçeve sistemde gerçekleştirilmiştir. (Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği) Deney elemanları tek düze yükleme altında eleman kırılıncaya kadar devam ettirilmiştir.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



Resim 3.1. Kapalı çerçeve sistem ve yükleme düzeneği

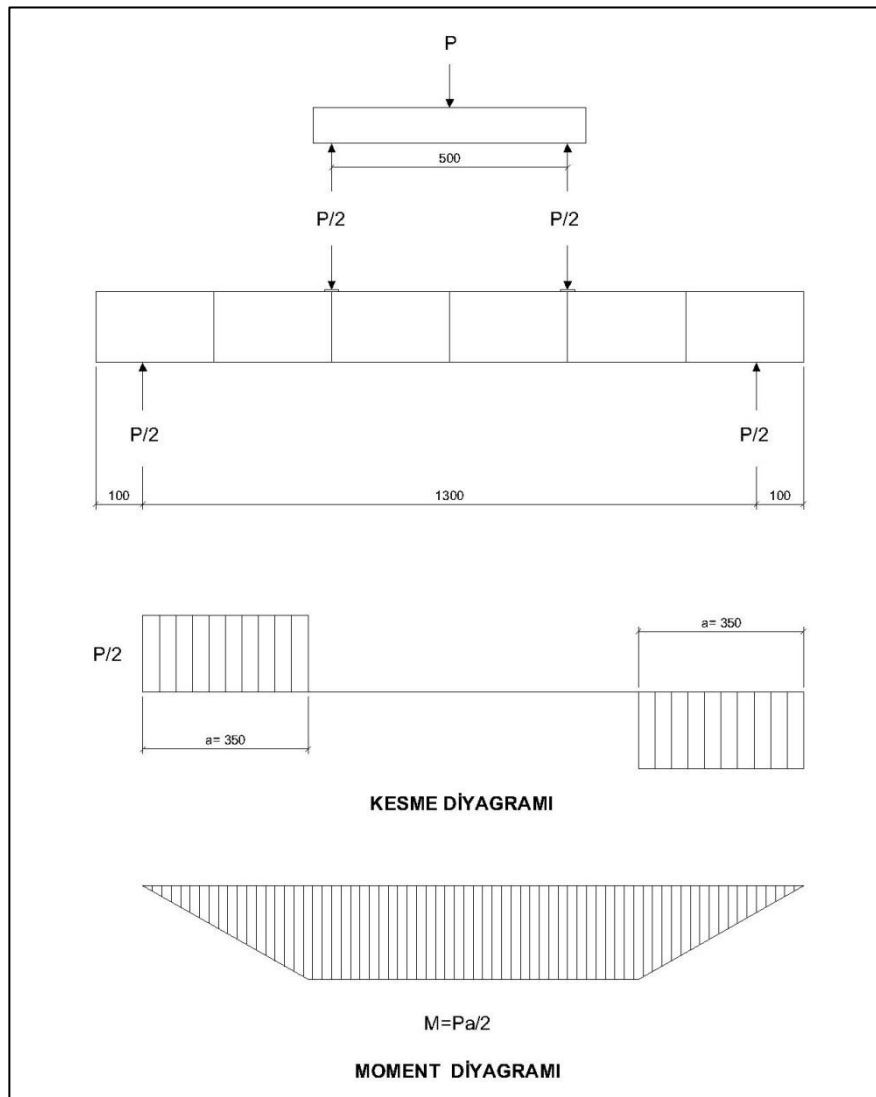
3.2. Yükleme ve Deney Düzeneği

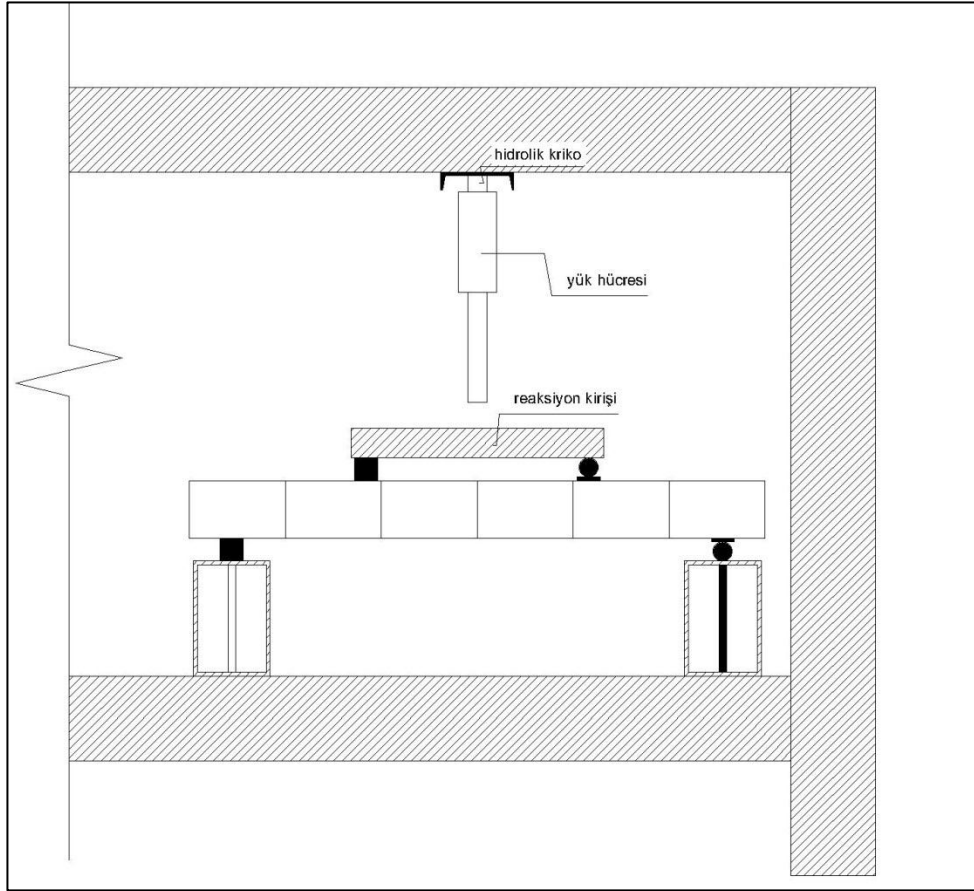
Deney elemanının sağ ve sol uçlarından 100 mm mesafede mesnetlenmişlerdir. Reaksiyon kirişi ise mesnetlerden 400 mm mesafede deney elemanına etkimektedir. Yükleme hücresiyle yükleme kirişine gelen yük eleman üzerine aktarılmış ve elemanın deney elemana yük aktarımı sağlanmıştır.(Resim 3.2. Yükleme hücresi ve yükleme kirişi)



Resim 3.2. Yükleme 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 3.2. 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 ana 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 toplama sistemi Resim 3.3, Resim 3.4, Resim 3.5 ve Resim 3.6 da verilmiştir.

Mesnet oturması ölçümleri duvarın her iki ucundan 100 mm mesafede alınmıştır. Açıklığın tam ortasından gaz beton duvar ota nota deplasmanı

ölçülmüş ve deneyler bu grafik takip edilerek yapılmıştır. Deney elemanlarının performanslarının incelenmesinde bu değer kullanılmıştır.

Biri yük, üçü lineer deformasyon, dördü birim şekil değiştirme olarak toplamda sekiz farklı kanaldan ölçüm alınmıştır. Resim 3.3 10 cm kapasitesinde LVDT ler, Resim 3.5 birim deformasyon ölçerler gösterilmiştir.



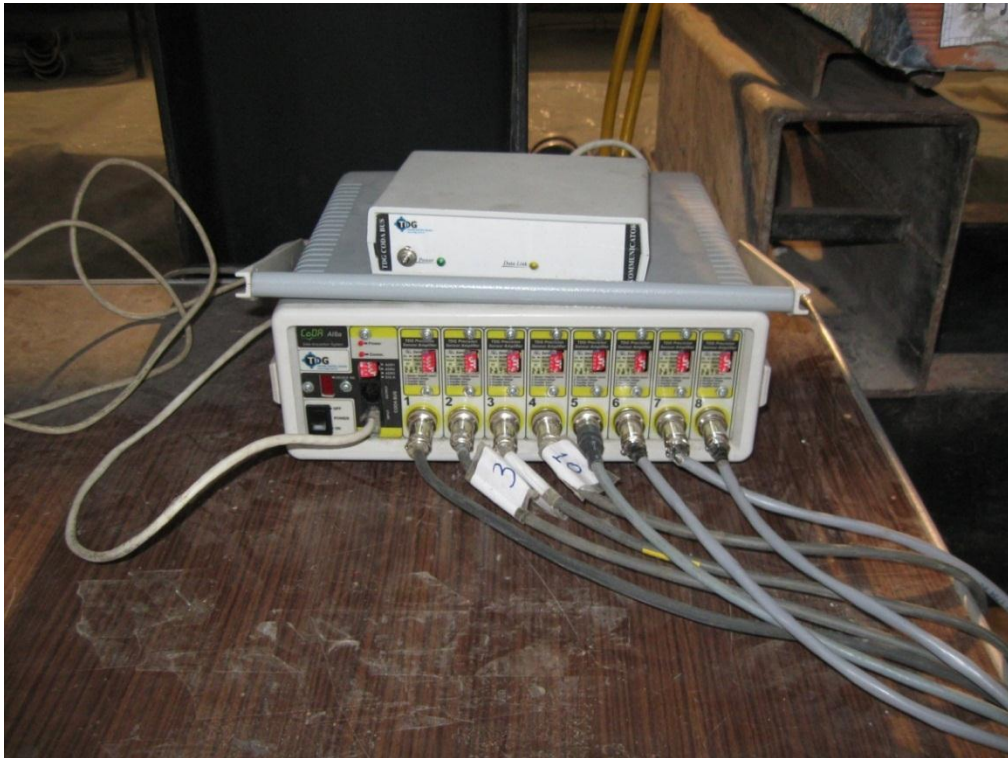
Resim 3.3. LVDT (Linear variable differential transformer)



Resim 3.4. CFRP yüzeyine yapıştırılan birim deformasyon ölçerler



Resim 3.5. CFRP yüzeyine yapıştırılan birim deformasyon ölçer



Resim 3.6. Veri toplama için kullanılan 8 kanallı data logger

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

$$\delta_{net} = \delta_2 - \left(\frac{\delta_3 + \delta_1}{2} \right)$$

δ_1 : sol mesnet çökmesi (mm)

δ_2 : eleman orta nokta deplasmanı (mm)

δ_3 : sağ mesnet çökmesi (mm)

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

$$V_0 = \frac{GF \times \varepsilon}{4} \times \left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}} \right) \times V_i \times GAIN$$

V_0 : Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)

V_i : Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)

GF : Uzama oranı (2 alınmıştır)

$GAIN$: Kazanç faktörü (410 alınmıştır)

ε : 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 süreklilik 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

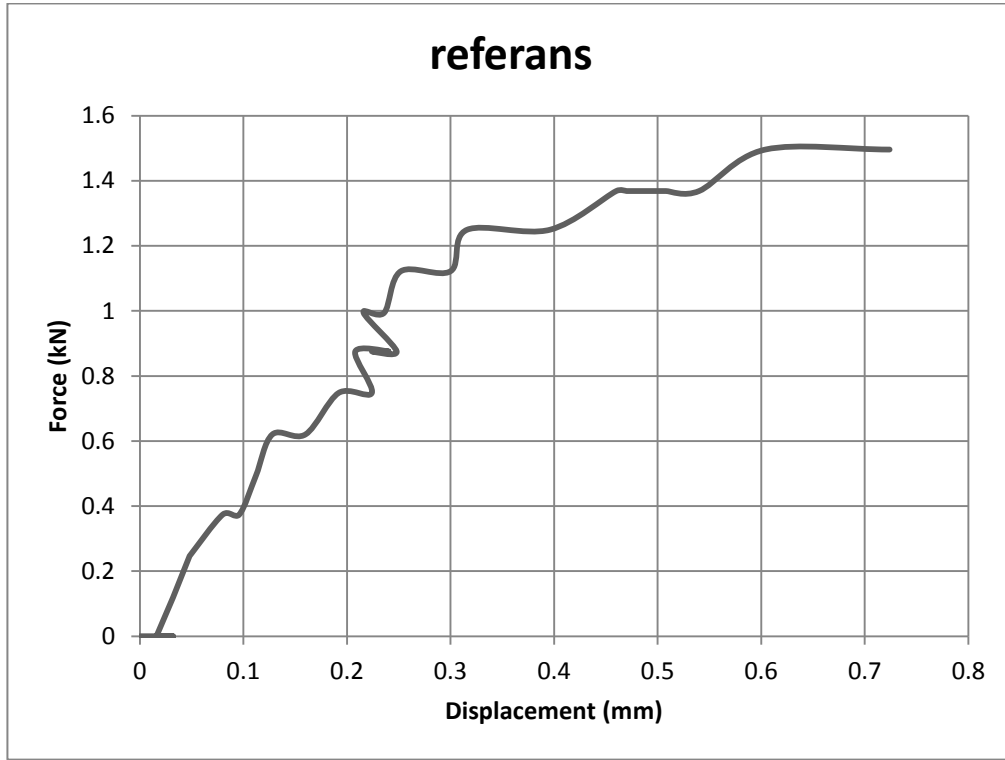
4.1. Deney elemanı 1 (referans)

Referans elemanı güçlendirme uygulanmadan test edilmiştir. Bu elemandan elde edilen sonuçlar, ankrajlı ve ankrajsız güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırılarak önerilen yöntemin performansının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanı 1 in genel deney sonuçları tablosu

	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	1.50	1.50	1.50
δ (mm)	0.72	0.72	0.72
Rijitlik (kN/mm)=			2.07
Süneklik Oranı=			1.00
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			0.88

Referans elemanı 1,496 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, rijitliğin değiştiği ilk noktaya göre 2,07 kN/mm olarak hesaplanmış, göçme yüküyle maksimum yük aynı olduğu için deplasman süneklik oranı 1,0 olarak bulunmuştur. Ayrıca referans elemanı 0,88 kN-mm enerji tüketim kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.1. Referans elemanın yük deplasman grafiği



Resim 4.1. Referans elemanın derzden ayrılması



Resim 4.2. Referans elemanın 2. derzinin ayrılması

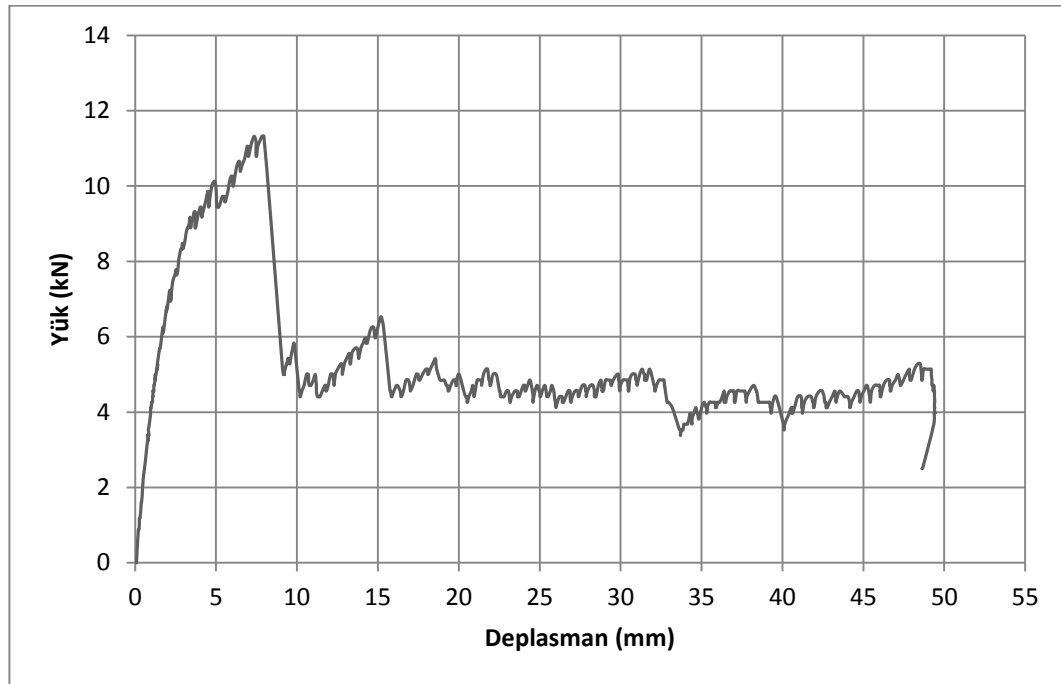
4.2. Deney Elemanı 2

Deney elemanı-2 150 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin gaz beton dolgu duvarının çaprazına yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Deney elemanında güçlendirme için CFRP ankraj kullanılmıştır (Resim4.3). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deney elemanı 2'nin genel deney sonuçları tablosu

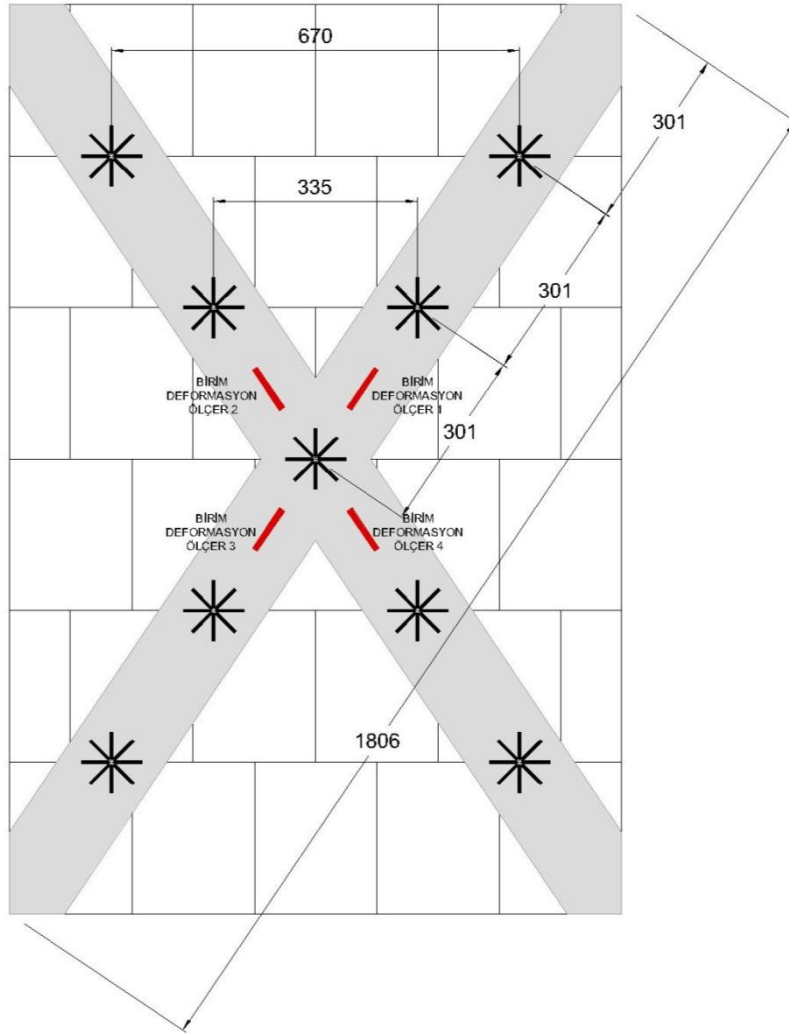
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	4.41	11.32	9.62
δ (mm)	1.12	7.96	8.40
Rijitlik (kN/mm)=			3.96
Süneklik Oranı=			1.06
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			78.40

Deney elemanın taşıdığı maksimum yük 11,32 kN olarak ölçülmüştür. Rijitliği 3,96 kN/mm gibi bir sayıyla referans elemanına göre yaklaşık olarak 1,5 kat artmıştır. Deney elemanını taşıma gücüne ulaştığı ana karşılık gelen deplasman 7,96 mm olarak ölçülmüştür. Göçme yükü maksimum taşıma gücünün %85'i olarak 9,62 kN olarak hesaplanmış ve bu yük düzeyine karşılık gelen deplasman ise 8,40 mm olarak ortaya çıkmıştır. Elemanın süneklik oranı ise 1,06 olarak hesaplanmıştır. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Deney elemanı 78,40 kN-mm enerji tüketmiştir.

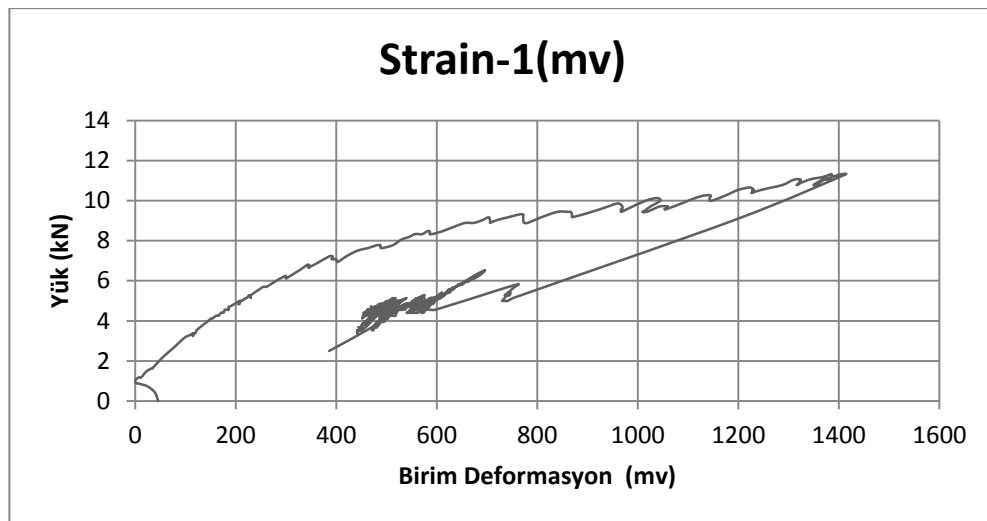


Şekil 4.2. 2 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

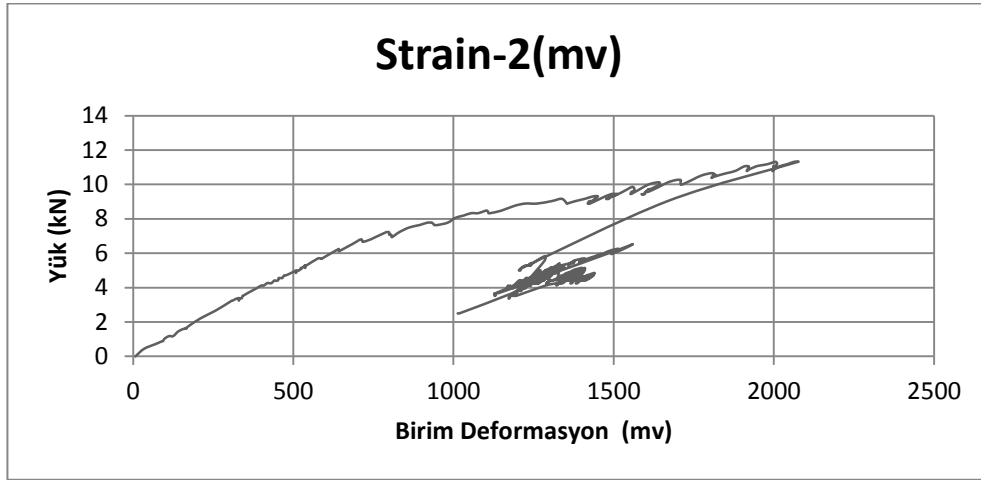
Ayrıca deney elemanı 2 üzerinde bulunan ana çaprazdaki 2 şeritten 2 şer adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin CFRP şeritler üzerindeki yerleri Şekil 4.3 de gösterilmiştir. Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de görüldüğü gibi artan yükle beraber birim deformasyonların her iki şerit içinde doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Birim deformasyon ölçümleri genel itibarla aynı artış seviyelerinde seyrettikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca bu şekillerden süneklikte gözlemlenebilmektedir.



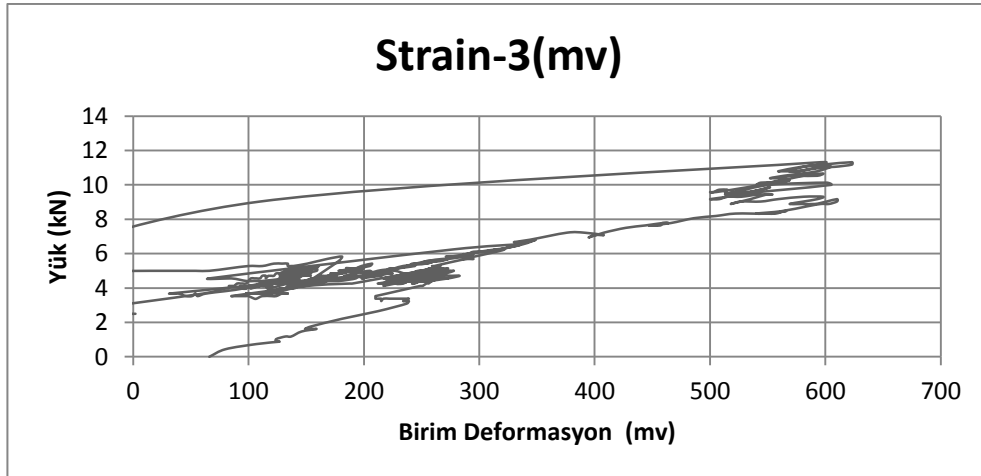
Şekil 4.3. 2 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



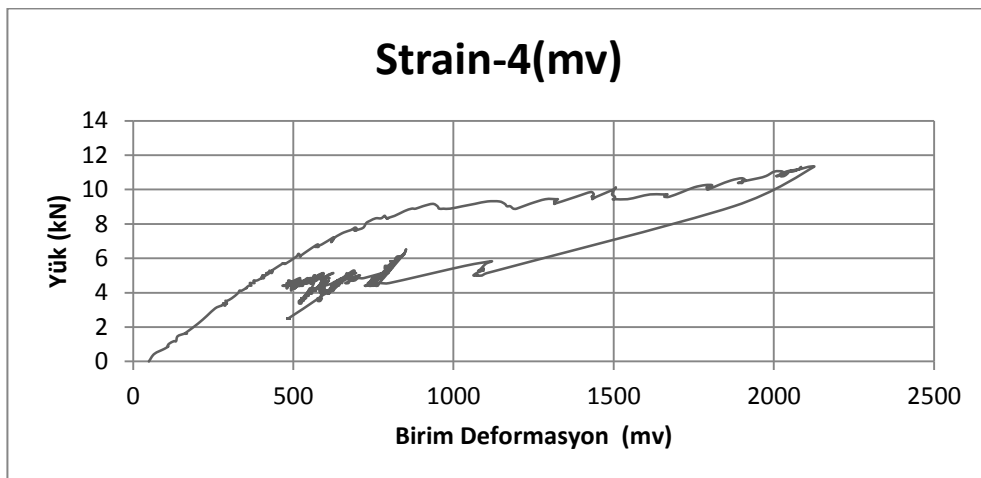
Şekil 4.4. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.5. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.6. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

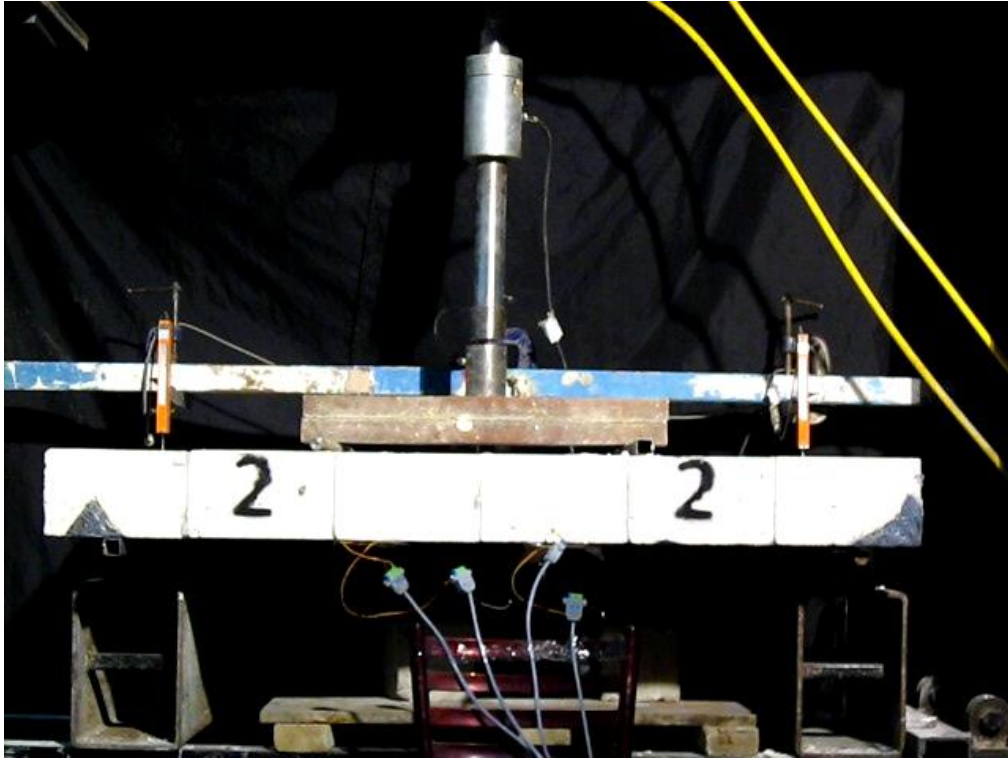


Şekil 4.7. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

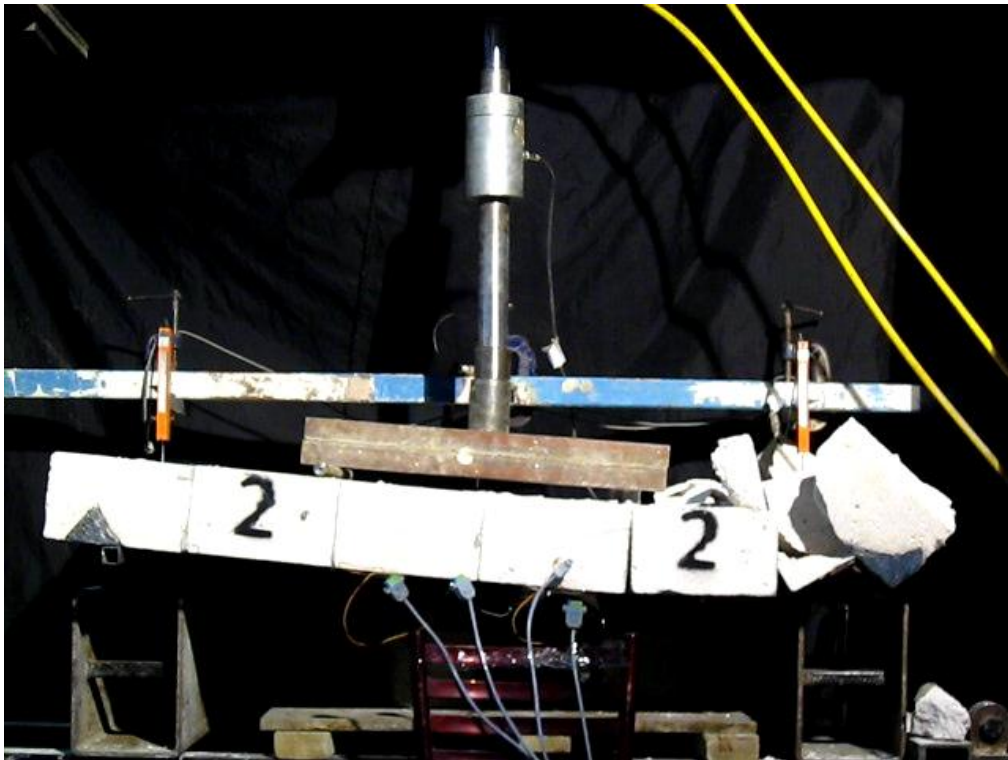
Deney elemanı göçme yüküne karşılık gelen yükte sağ mesnedi ezerek (Resim 4.5) ve 2. Sıra blokların kesme kırılmasına uğraması sonucunda göçmüştür. Deney elemanı 2'nin (Resim 4.3) bünyesinde barındırdığı CFRP ankrajlar elemanın sünek bir davranış sergilemesine sebep olmuştur. CFRP ankrajlar duvarın yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmasını geciktirmiş ve göçme yükünü artırmıştır. Deney elemanı bu durumdan CFRP ankrajların duvar blokları ezmesiyle (Resim 4.7) göçme anına kadar deformasyon yapmıştır. Deney elemanın deformasyon yapmamış hali ve deney sonrası son deformasyonu Resim 4.4 ve Resim 4.5 de gösterilmiştir. Resim 4.6 ve Resim 4.8 de CFRP şeritlerin ezilen bloklardan ve duvar yüzeyinden nasıl ayrıldığı gösterilmiştir.



Resim 4.3. 2 Numaralı elemanı



Resim 4.4. 2 numaralı elemanın deney öncesi resmi



Resim 4.5. 2 numaralı deney elemanın deney sonrası resmi



Resim 4.6. 1. sıra derzin CFRP şeritler üzerinden açılması



Resim 4.7. CFRP ankrajların etrafındaki bloklarda ayrılması



Resim 4.8. CFRP şeridin yüzeyden ayrılması

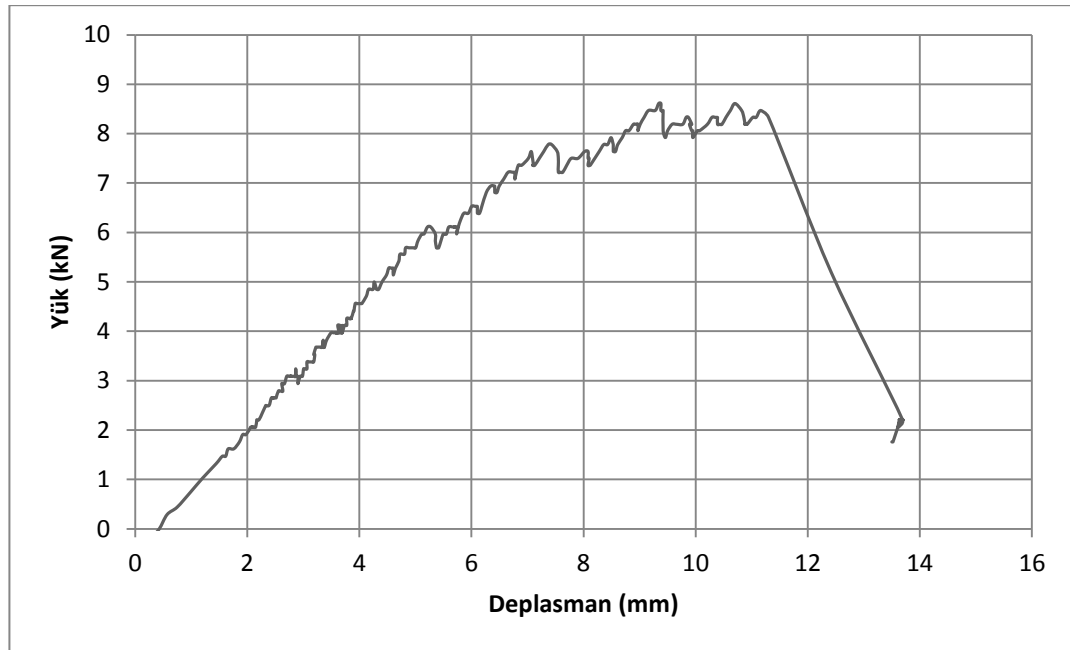
4.3. Deney Elemanı 3

Deney elemanı-3 150 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin gaz beton dolgu duvarın diyagonaline yerleştirilmesi ile güçlendirilmiş olup ayrıca CFRP ankrajları kullanılmamıştır (Resim 4.9). Deney elemanı 3'ün test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.3 de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Deney elemanı 3'ün genel deney sonuçları tablosu

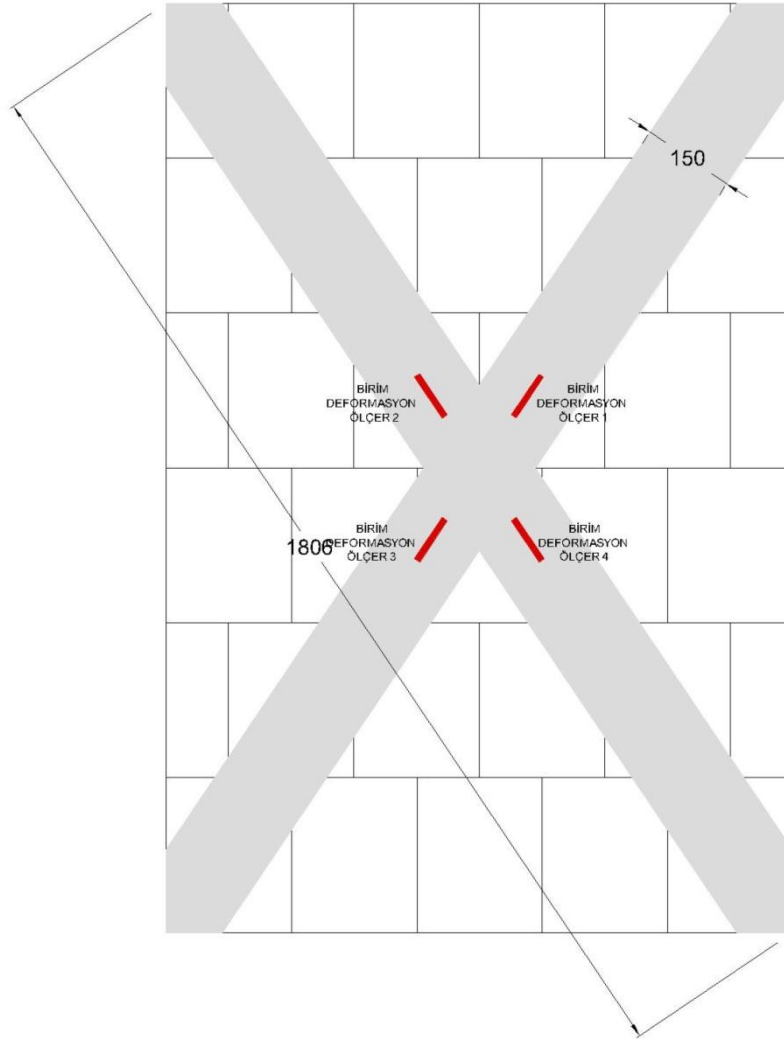
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	6.11	8.61	7.32
δ (mm)	5.95	9.38	11.30
Rijitlik (kN/mm)=			1.03
Süneklik Oranı=			1.90
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			71.94

Deney elemanı maksimum 8,61 kN yük taşımıştır. Deney elemanı 6,11 kN yük düzeyine kadar rijitlikte bir değişim meydana gelmeden yük taşımış ve bu yüke karşılık olarak 5,95 mm deformasyon yapmıştır. Göçme yükü 7,32 kN ve bu yük düzeyine karşılık gelen deplasman değeri 11,30 mm' dir. Rijitlik değeri 1,03 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 1,90 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 71,94 kN-mm' lik bir enerji tüketimi kapasitesi sahiptir. Deneyin yük deplasman grafiği Şekil 4.8 'de verilmiştir.

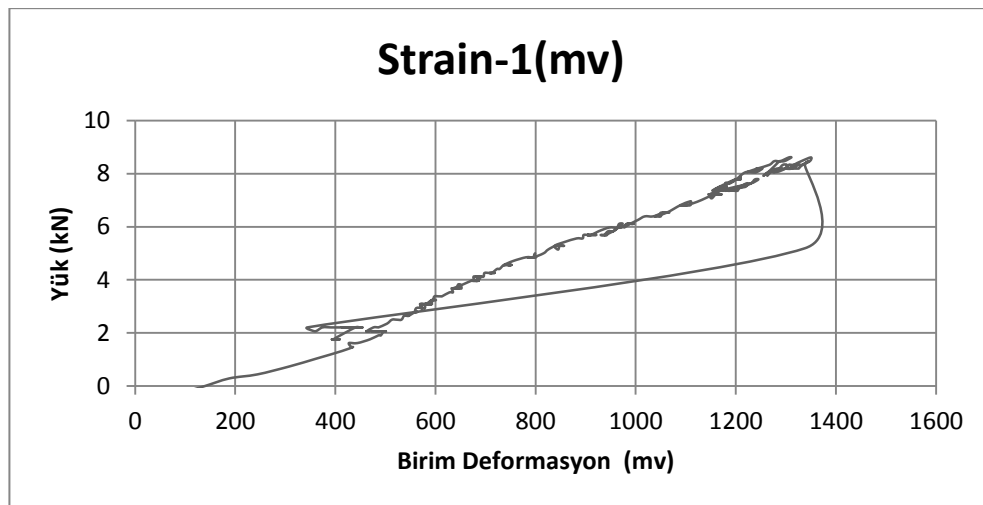


Şekil 4.8. 3 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

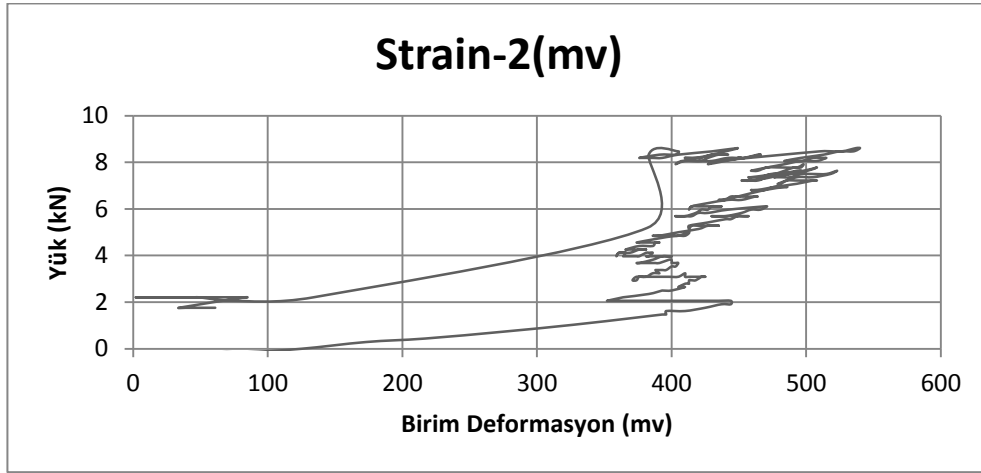
Ayrıca deney elemanı 3 üzerinde bulunan ana çaprazdaki 2 şeritten 2 şer adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin CFRP şeritler üzerindeki yerleri Şekil 4.9 de gösterilmiştir. Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 de görüldüğü gibi artan yüklerle beraber birim deformasyonların her iki şerit içinde doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Birim deformasyon ölçümlerinin yük deplasman grafiği ile uyum içinde olduğu görülmektedir.



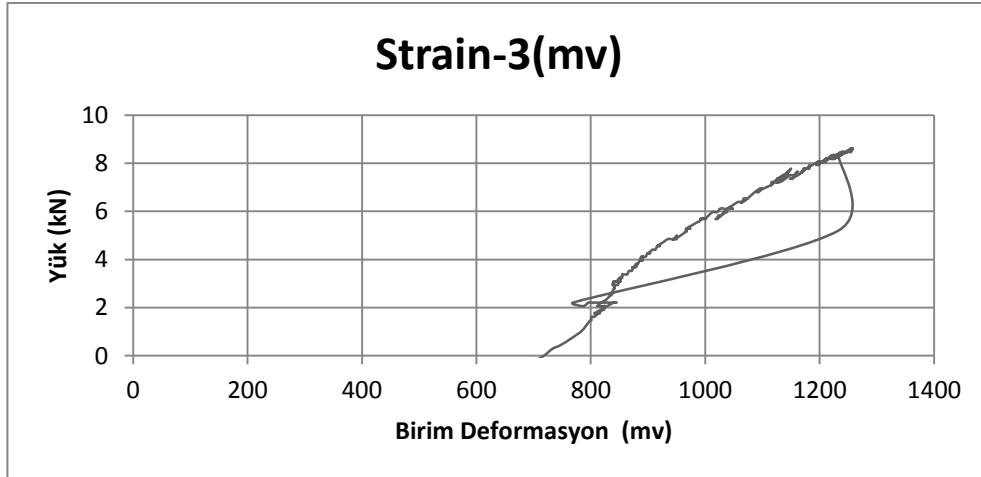
Şekil 4.9. 3 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



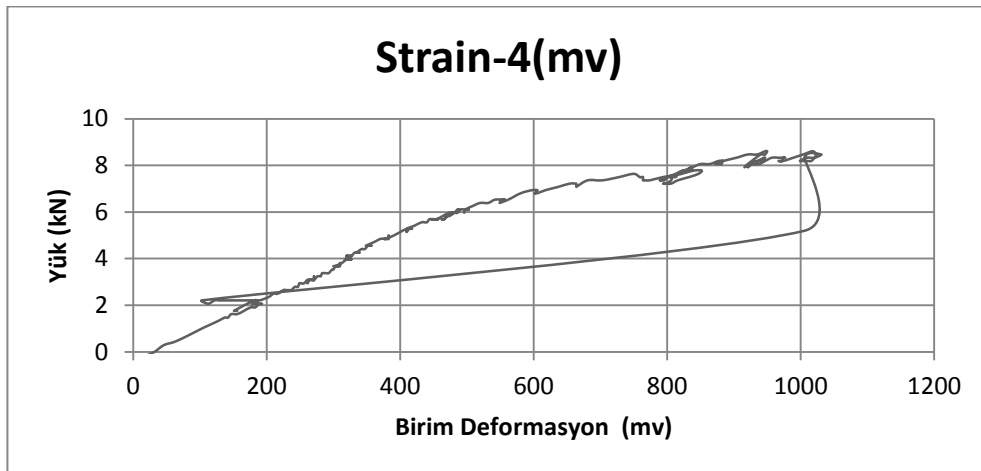
Şekil 4.10. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.11. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.12. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

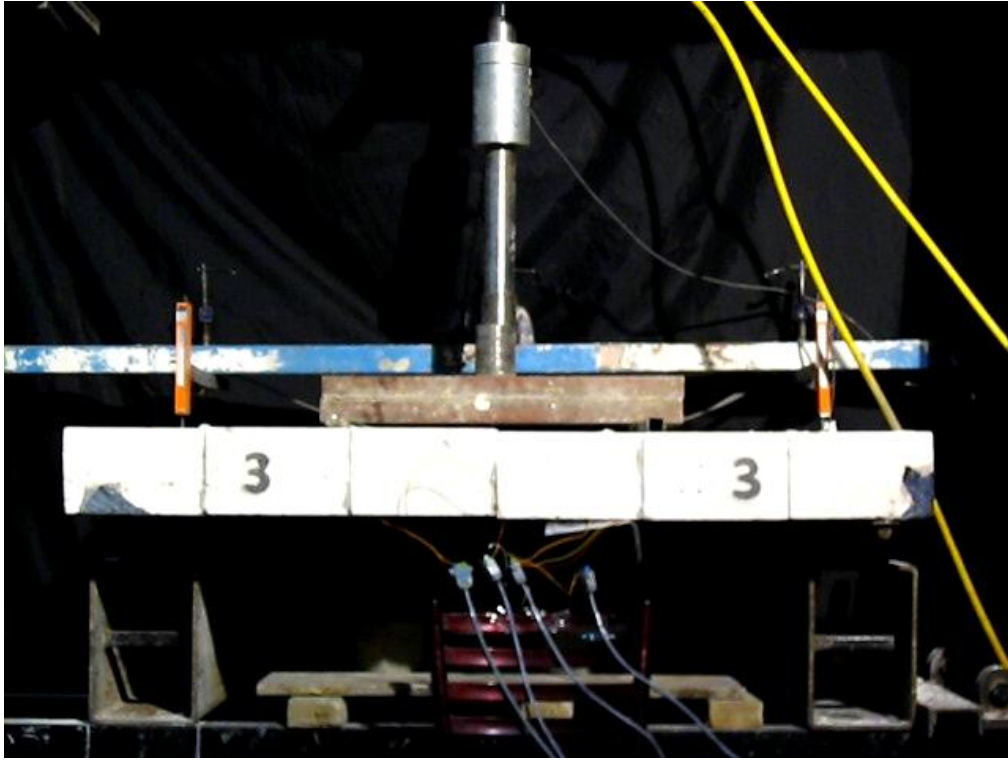


Şekil 4.13. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

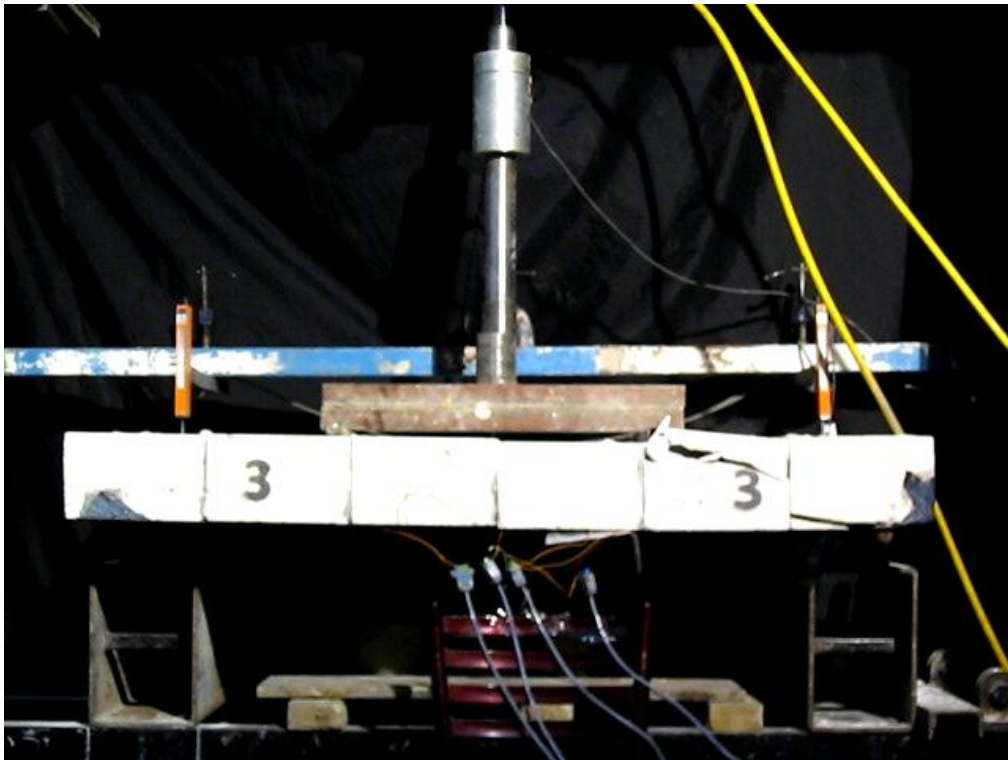
Deney elemanı göçme yüküne karşılık gelen yükte sağ mesnedi kesme kırılmasıyla ezerek (Resim 4.11) ve 2. Sıra blokların kesme kırılmasına uğraması (Resim 4.12, Resim 4.13, Resim 4.15) sonucunda göçmüştür. Yükleme boyunca CFRP şeritler duvar yüzeyin yavaş yavaş ayrılma eğilimi göstermişlerdir. CFRP şeritler mesnetlerden ayrılmaya başlamış (Resim 4.14) ve kesme kırılmasını izlemişlerdir. 1. Sıra derzin göçmesiyle yüzeyden tamamen ayrılmışlardır. Deney elemanın deneyden önce ve sonraki halleri sırasıyla Resim 4.10 ve Resim 4.11 gösterilmiştir.



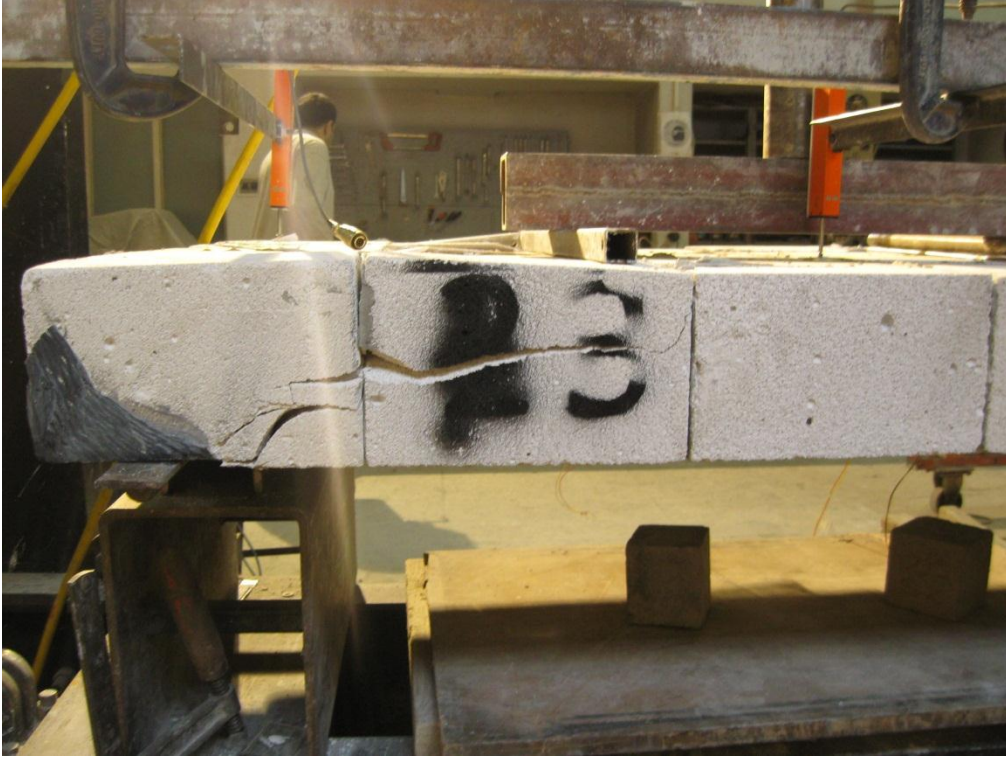
Resim 4.9. 3 Numaralı elemanı



Resim 4.10. 3 numaralı deney elemanının deney öncesi resmi



Resim 4.11. 3 numaralı elemanın deforme olmuş hali



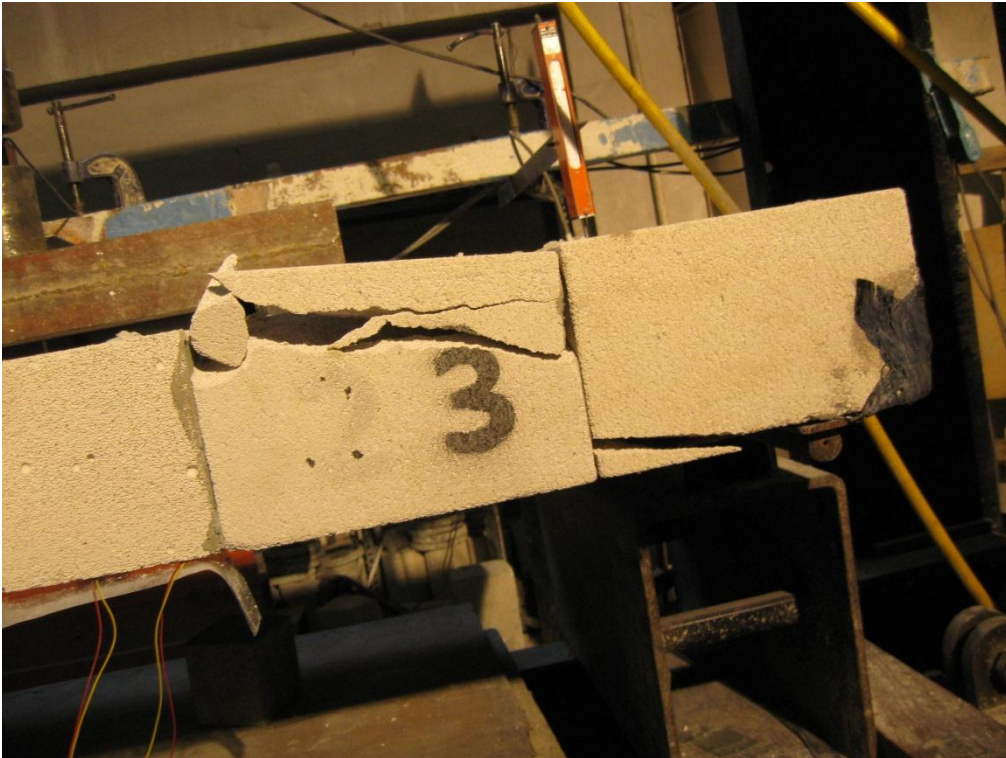
Resim 4.12. 2. sıra bloklardaki kesme kırılması



Resim 4.13. 2. Sıradaki ezilen bloklar



Resim 4.14. CFRP şeridin yüzeyden ayrılması



Resim 4.15. 2. sıra gaz betonların kırılması

4.4. Deney Elemanı 4

Deney elemanı-4 100 mm genişliğindeki diyagonal şeritler ile aynı genişlikteki yatay ve düşey şeritlerden meydana gelen bir desen ile güçlendirilmiştir. CFRP ankrajı kullanılmıştır (Resim 4.16). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.4. Deney elemanı 4'ün genel deney sonuçları tablosu de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Deney elemanı 4'ün genel deney sonuçları tablosu

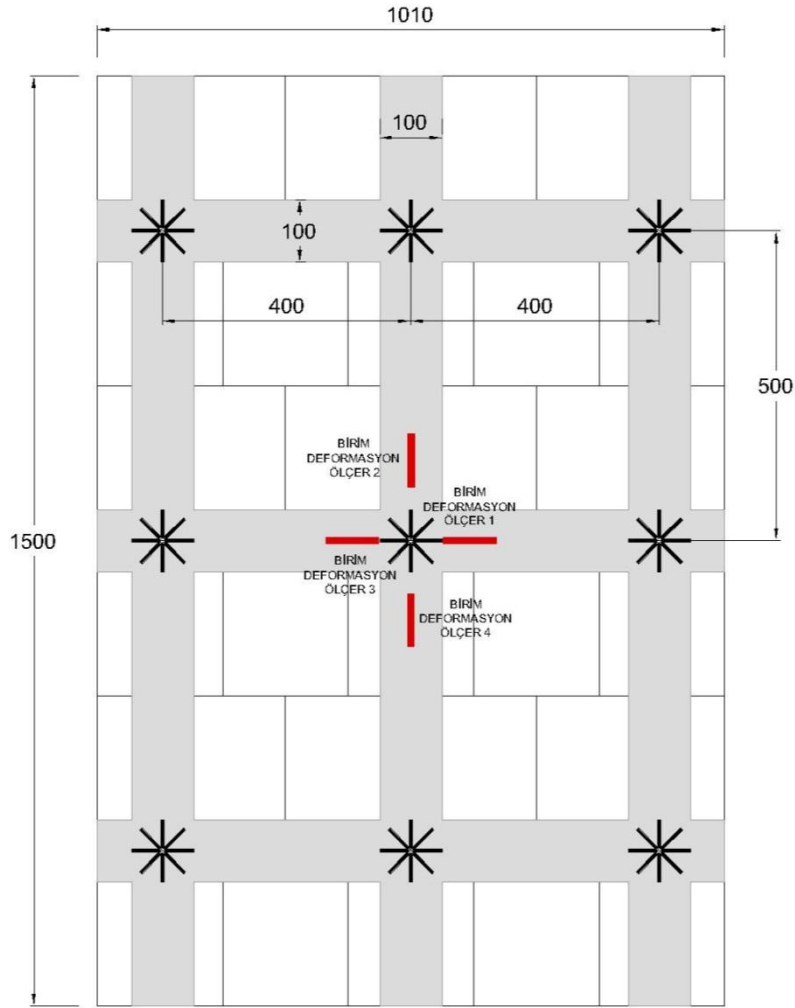
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	6.11	16.32	13.87
δ (mm)	1.18	7.49	7.90
Rijitlik (kN/mm)=			5.18
Süneklik Oranı=			6.69
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			100.42

Deney elemanın maksimum 16,32 kN yük taşımıştır. Deney elemanı 6,11 kN yük taşıdığı anda rijitliğinde değişim meydana gelmiş ve bu yüke karşılık olarak 1,18 mm deformasyon yapmıştır. En fazla yükünün %85 olan 13,87 kN yüke karşılık 7,90 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 5,18 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 6,69 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 100,42 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneyin yük deplasman grafiği Şekil 4.14'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.15) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerde verilmiştir.

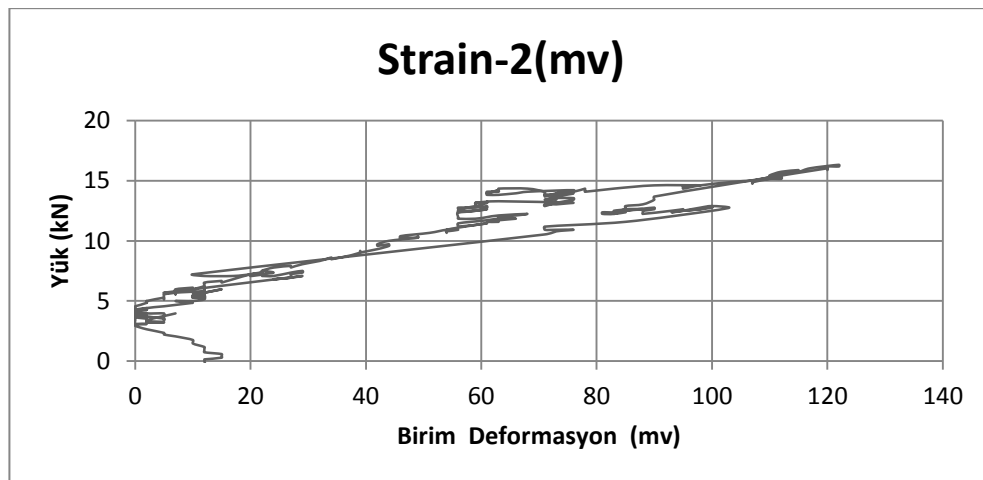


Şekil 4.14. 4 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

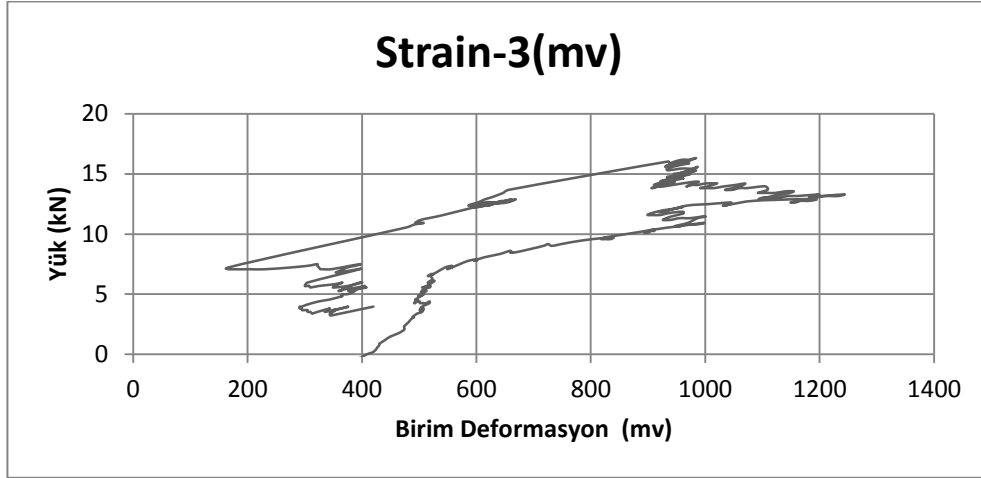
Ayrıca deney elemanı 3 üzerinde bulunan ana düşey ve yatay 2 şeritten 2 şer adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Fakat deney sırasında 1 ve 4 numaralı birim deformasyon ölçerler kilitlendiğinden bu ölçümler grafiklere yansıtılamamıştır. Bu ölçümlerin CFRP şeritler üzerindeki yerleri Şekil 4.15 de gösterilmiştir. Şekil 4.16, Şekil 4.17 de görüldüğü gibi artan yüklerle beraber birim deformasyonların ölçüm alınan şerit için doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Birim deformasyon ölçümlerinin yük deplasman grafiği ile uyum içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. 4 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



Şekil 4.16. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

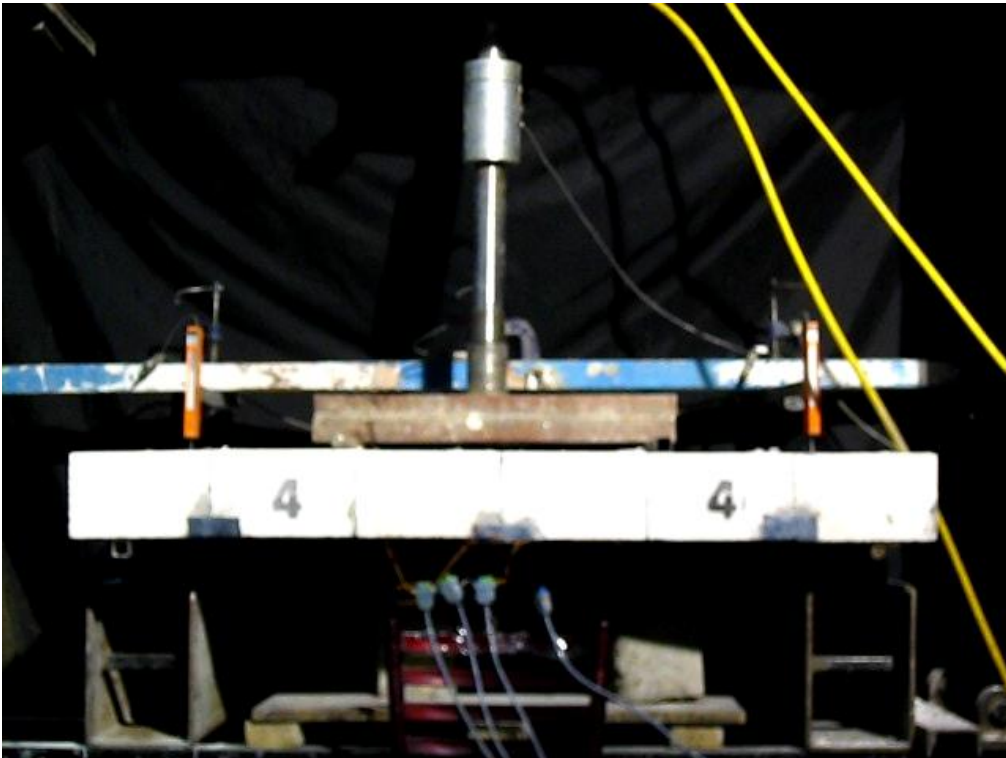


Şekil 4.17. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

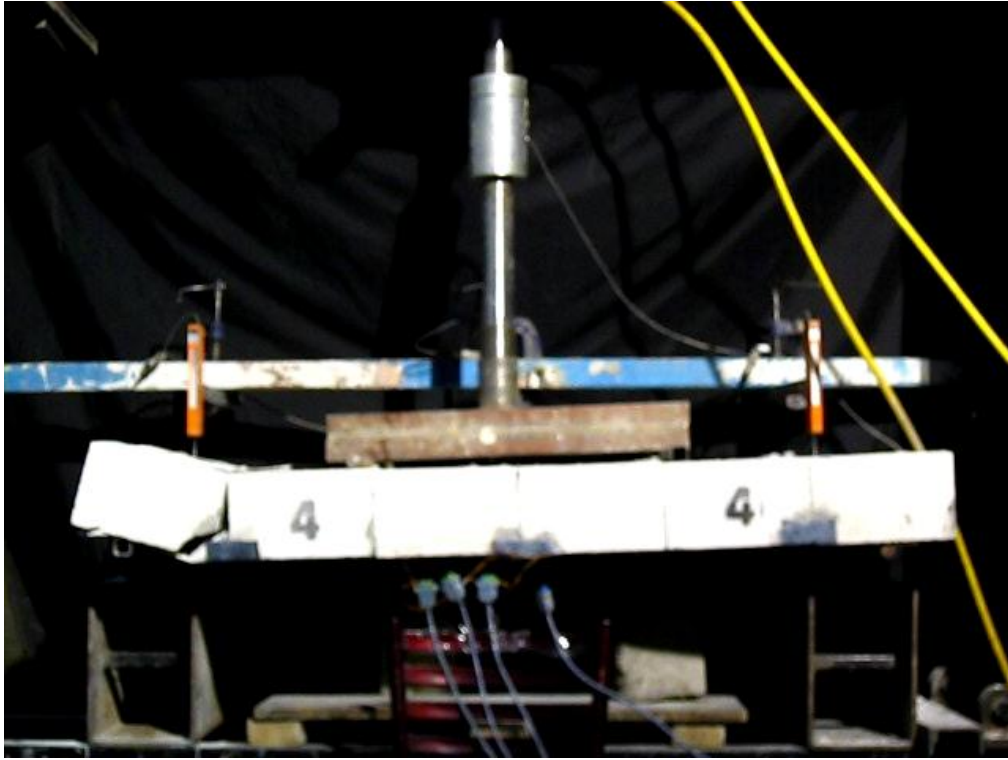
Deney elemanı göçme yüküne karşılık gelen yükte sol mesnet 1. derzi açılarak (Resim 4.22) ve 2. Sıra blokların kesme kırılmasına uğraması sonucunda (Resim 4.22) göçmüştür. 1. Sıra derzin açılmasında o sırada bulunan CFRP ankrajlar her ne kadar engel olsa da bölgesel momentleri üzerine toplayarak bu noktada göçme olmasına sebep olmuştur. Deney elemanı 2'nin bünyesinde barındırdığı CFRP ankrajlar elemanın sünek bir davranış sergilemesine sebep olmuştur. CFRP ankrajlar duvarın yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmasını geciktirmiş ve göçme yükünü artırmıştır. Deney elemanı bu durumdan CFRP ankrajların duvar blokları ezmesiyle göçme anına kadar deformasyon yapmıştır. Deney elemanın deformasyon yapmamış hali ve deney sonrası son deformasyonu Resim 4.17 ve Resim 4.18 de gösterilmiştir. Resim 4.19 ve Resim 4.20 de CFRP şeritlerin ezilen bloklardan ve duvar yüzeyinden nasıl ayrıldığı gösterilmiştir.



Resim 4.16. 4 Numaralı deney elemanı



Resim 4.17. 4 numaralı deney elemanın deney öncesi resmi



Resim 4.18. 4 numaralı elemanın deformasyona uğramış hali



Resim 4.19. 1. Derzdeki CFRP şeridin yüzeyden ayrılması



Resim 4.20. Sıra blokların kırılması



Resim 4.21. 1. ve 2. sıradaki bloklarda oluşan kesme çatlağı



Resim 4.22. 1. derzin ankrajlar etrafında dönerek ayrılması



Resim 4.23. Ankrajlar etrafındaki zorlanmalar

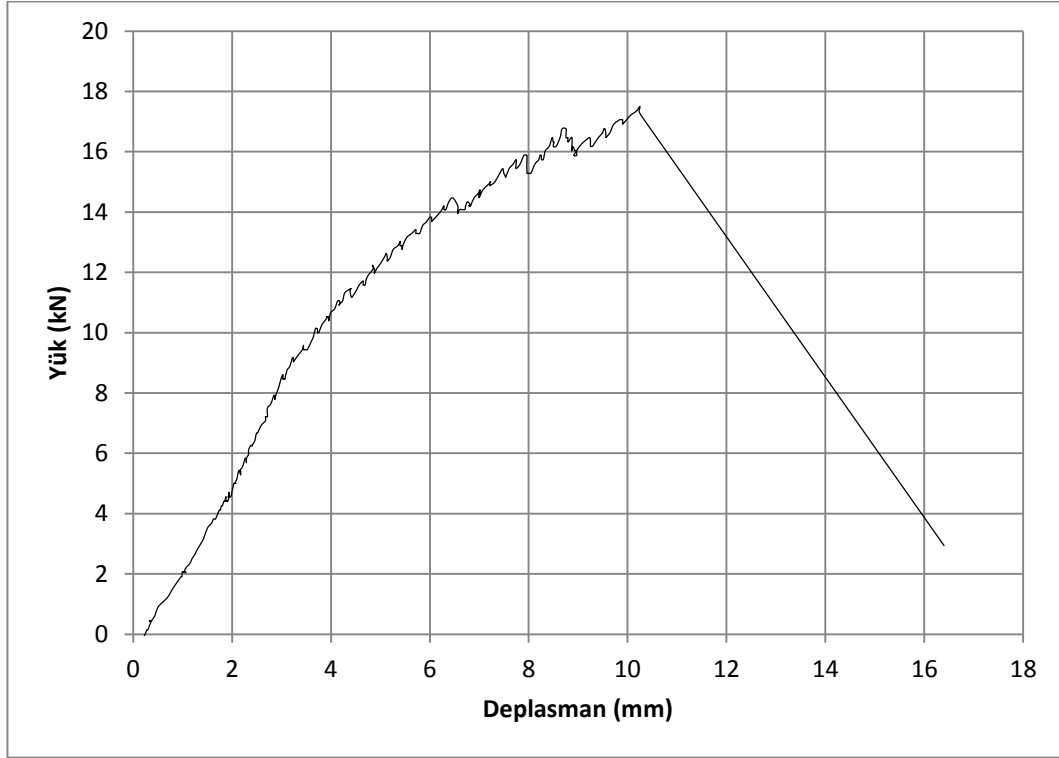
4.5. Deney elemanı 5

Deney elemanı-5 100 mm genişliğindeki diyagonal şeritler ile aynı genişlikteki yatay ve düşey şeritlerden meydana gelen bir desen ile güçlendirilmiştir. Ayrıca CFRP ankrajları da kullanılmamıştır. Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.5 de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Deney elemanı 5'in genel deney sonuçları tablosu

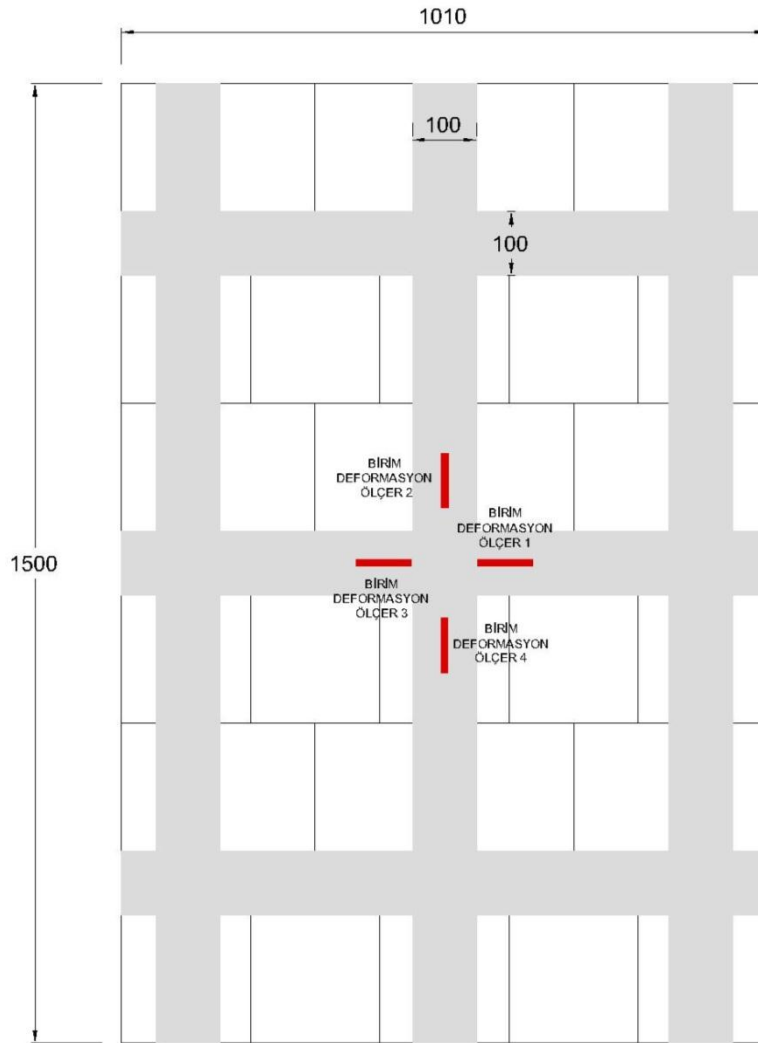
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	7.92	17.50	14.88
δ (mm)	2.89	10.25	14.23
Rijitlik (kN/mm)=			2.75
Süneklik Oranı=			4.93
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			121.30

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 17,50 kN yük taşıyarak ulaşmıştır. Deney elemanı 7,92 kN yük düzeyine rijitliğinde önemli sayılabilecek bir değişim olmadan ulaşmış ve bu yüke karşılık olarak 2,89 mm deformasyon yapmıştır. Maksimum taşıma gücünün %85 olan 14,88 kN yük düzeyinde göçme noktası olarak kabul edilmiş olup deney elemanı bu noktaya gelene kadar 14,23 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,75 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 4,93 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 121,30 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.18 olarak verilmiştir.

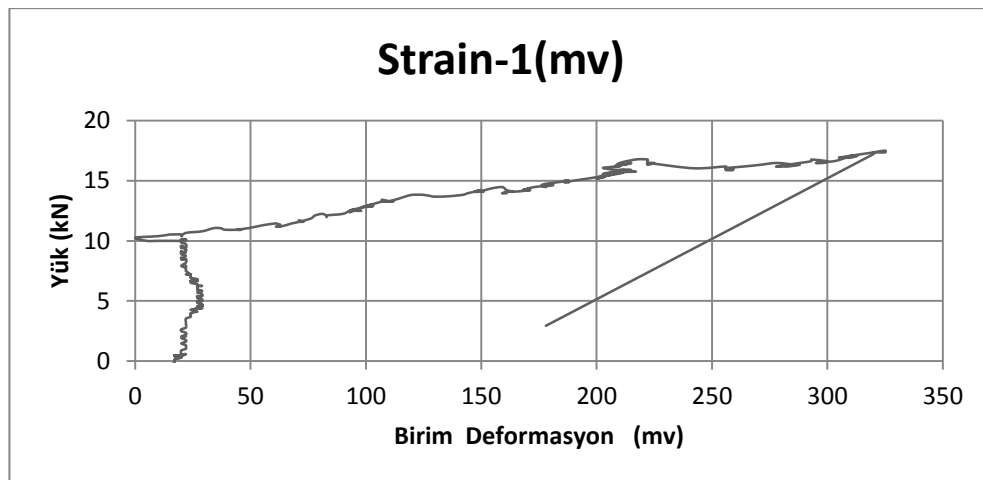


Şekil 4.18. 5 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

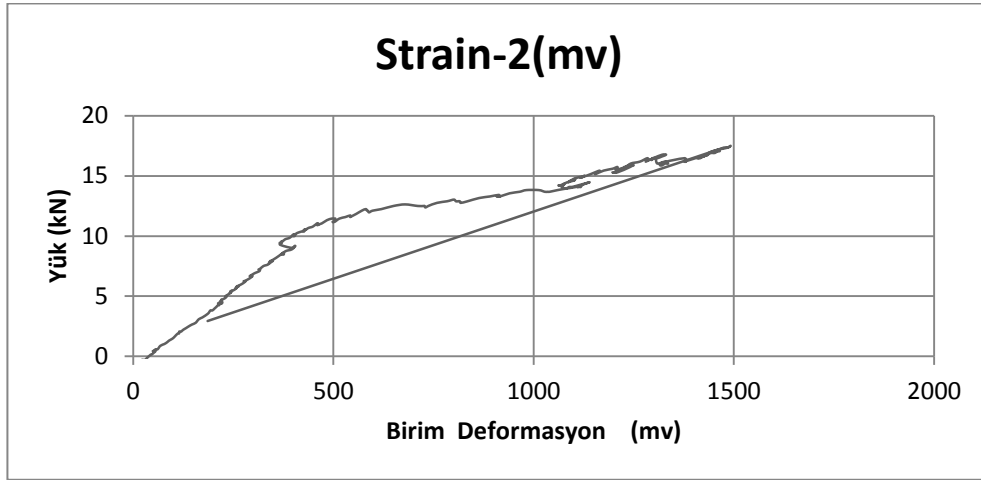
Ayrıca deney elemanı 5 üzerinde bulunan orta düşey ve orta yatay 2 şeritten 2 şer adet birim deformasyon ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlerin CFRP şeritler üzerindeki yerleri Şekil 4.19 de gösterilmiştir. Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 de görüldüğü gibi artan yüklerle beraber birim deformasyonların her iki şerit içinde doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Birim deformasyon ölçümlerinin yük deplasman grafiği ile uyum içinde olduğu görülmektedir.



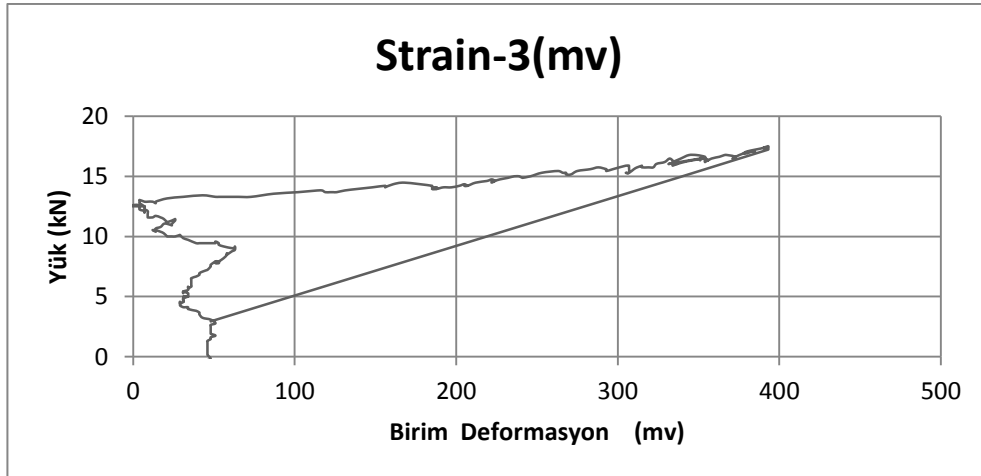
Şekil 4.19. 5 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



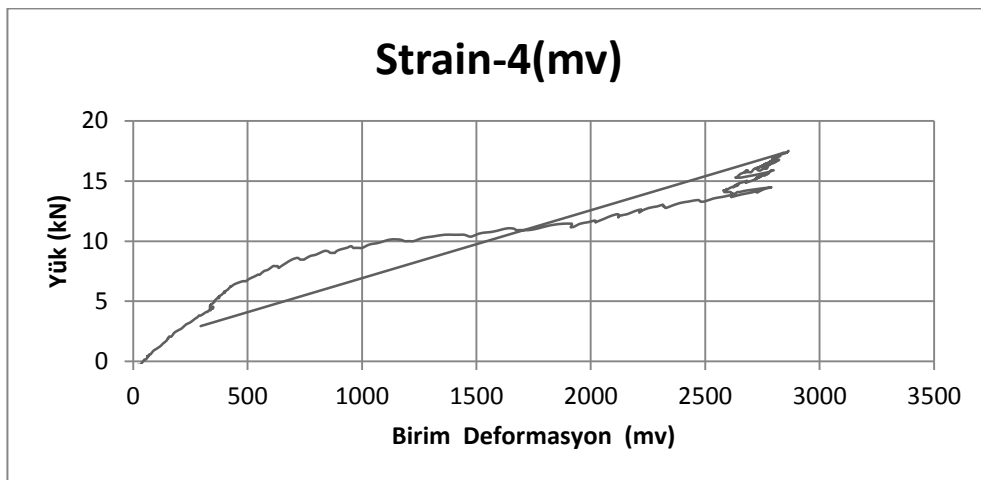
Şekil 4.20. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.21. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.22. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



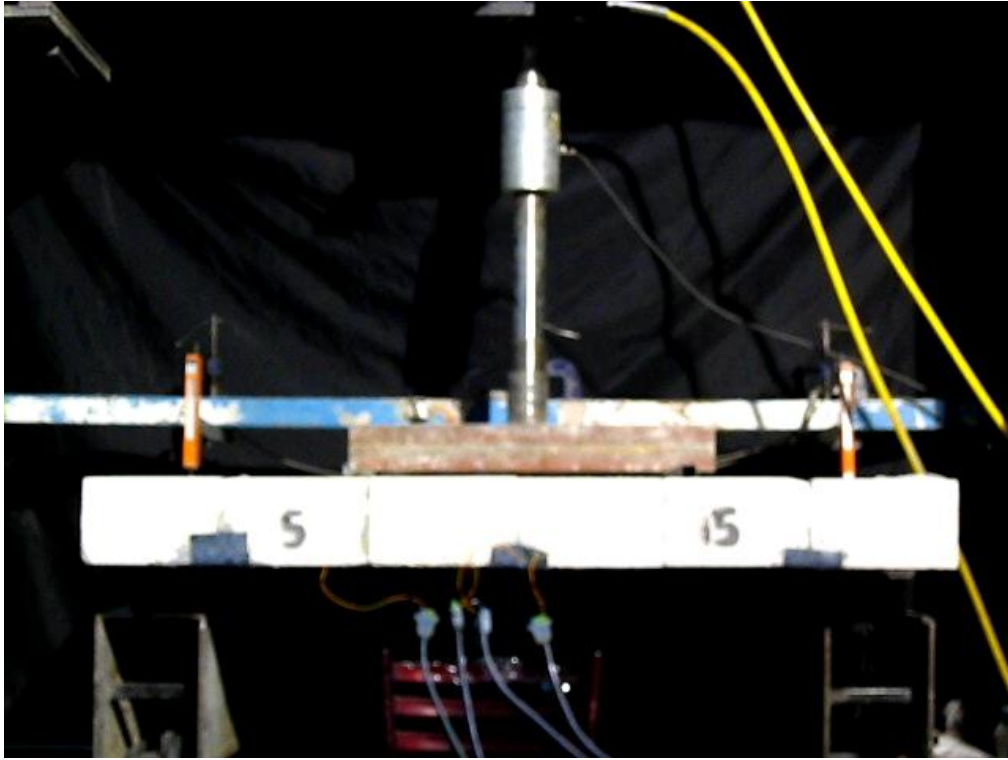
Şekil 4.23. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği

Deney elemanı (Resim 4.24) göçme yüküne karşılık gelen yükte sağ mesnedi ezerek Resim 4.32 ve 1. Sıra blokların ani kesme kırılmasına uğraması (Resim 4.28) sonucunda göçmüştür. Yükleme sonlarına doğru CFRP şeritler duvar yüzeyinden ayrılmamış fakat sağ mesnede fazladan yük getirmeleri sebebiyle mesnet blokları aniden parçalanmıştır (Resim 4.27). Parçalanma anı grafiklere ani bir yük kaybı olarak yansımıştır. CFRP şeritler mesnetlerde kesme kuvvetini yoğunlaştırmış ve blokların kesme kırılması ile parçalanmasına sebep olmuşlardır. Yüzeyden ayrılan şeritler Resim 4.29 ve Resim 4.30 da görülebilir.

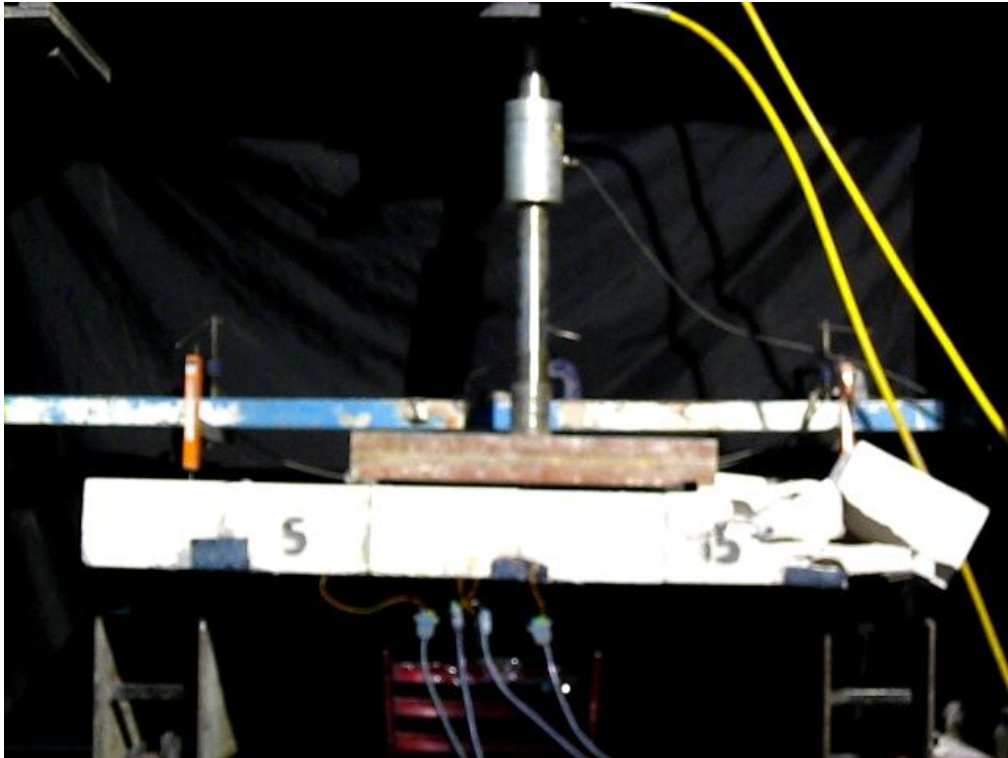


Resim 4.24. Deney elemanı 5

Deney elemanın deney öncesi ve sonrası resimleri sırasıyla Resim 4.25 ve Resim 4.26 da görülebilir.



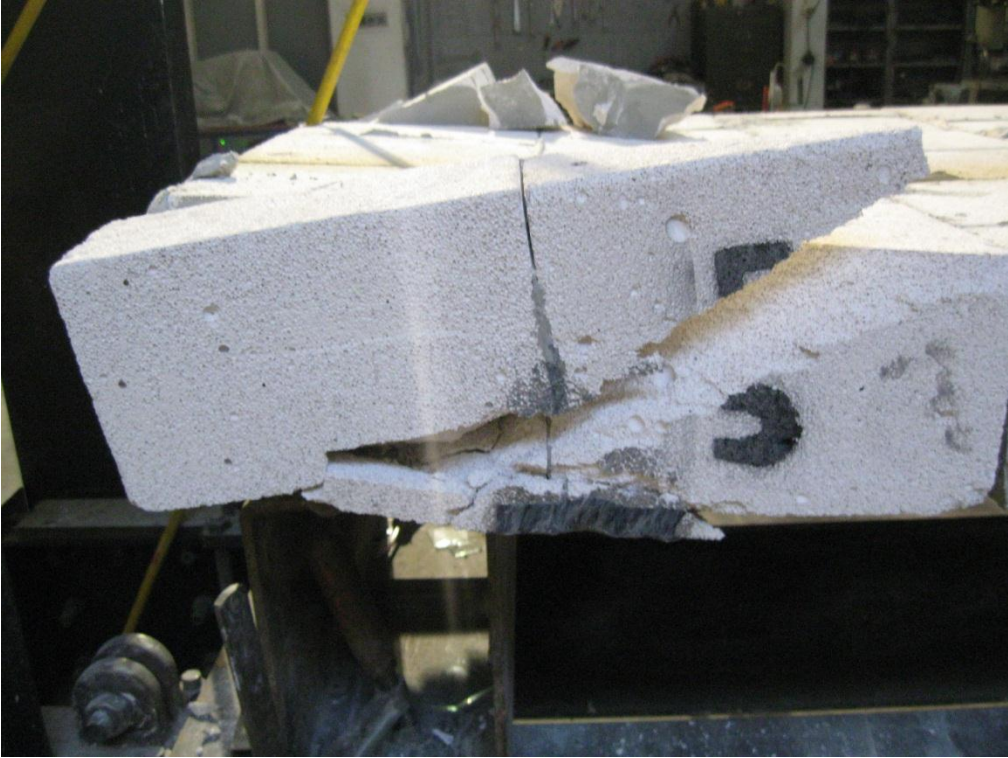
Resim 4.25. Deforme olmamış deney elemanı



Resim 4.26. Deney elemanı 5'in deney sonrası görünüşü



Resim 4.27. Deney elemanın 1. ve 2. sıra bloklarının kesme kuvveti etkisinde parçalanması



Resim 4.28. Kesme kırılması



Resim 4.29. Duvar yüzeyi CFRP şeritler ve parçalanmış duvar



Resim 4.30. Blokların kırılmasıyla yüzeyden ayrılan şeritler

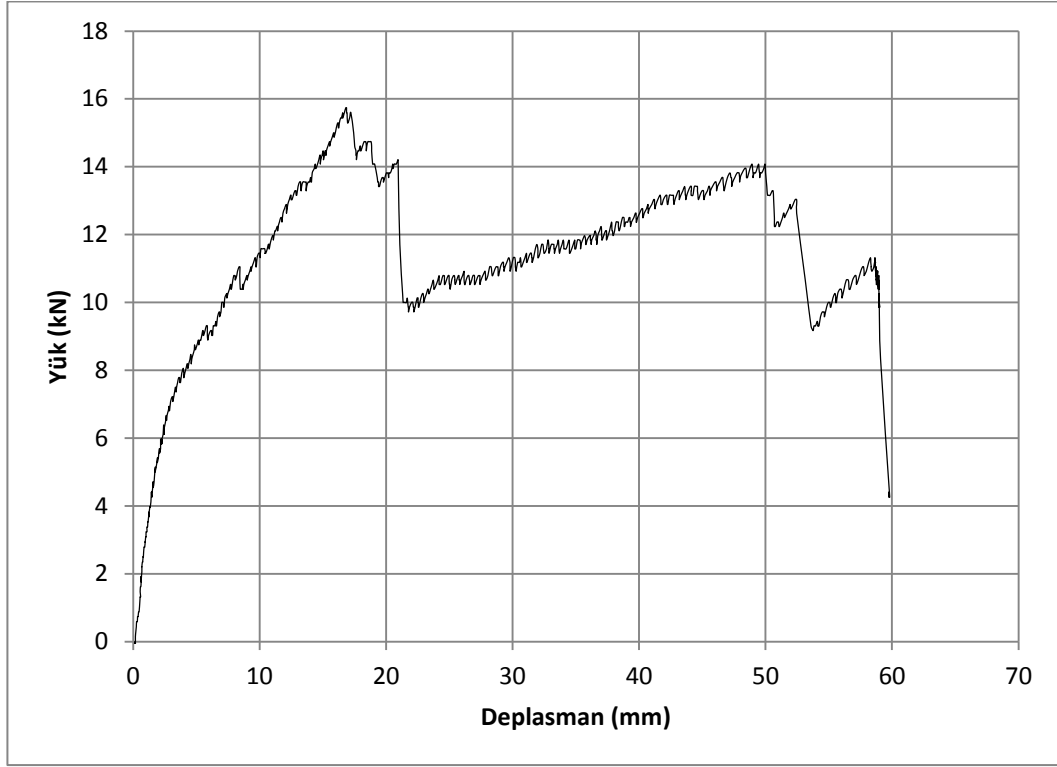
4.6. Deney Elemanı 6

Deney elemanı 6 (Resim 4.33), 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin diyagonal olarak gaz beton dolgu duvarı yüzeyine 300 mm aralıkla yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Deney elemanına CFRP ankraj uygulanmıştır. Diyagonal şeritler çapraz olacak şekilde yerleştirilmiştir (Resim 4.16). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Deney elemanı 6'nın genel deney sonuçları tablosu

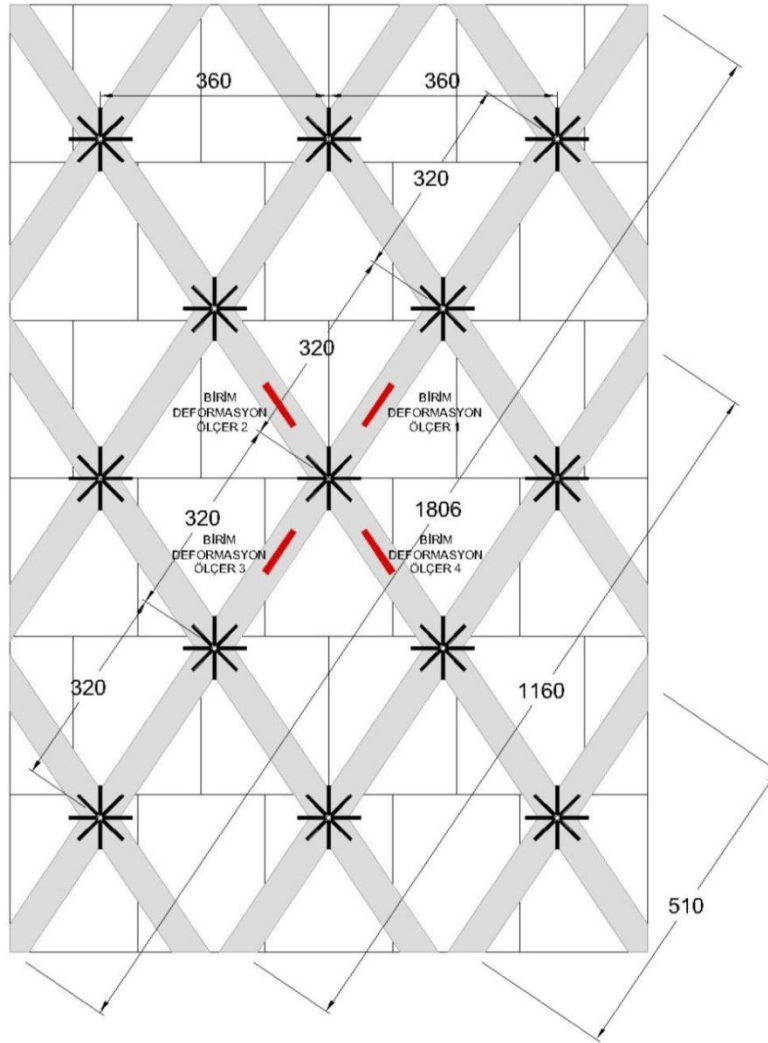
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	6.25	15.74	13.38
δ (mm)	2.45	16.88	20.97
Rijitlik (kN/mm)=			2.55
Süneklik Oranı=			8.56
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			241.13

Deney elemanın maksimum taşıma gücüne 15,74 kN yük değerinde ulaşmıştır. Deney elemanı 6,25 kN yük düzeyine kadar rijitliğinde önemli bir değişim olmadan ulaşmış ve bu yüke karşılık olarak 2,45 mm deformasyon yapmıştır. Deney elemanı en fazla yük değerinin %85 olan 13,38 kN yüke karşılık 20,97 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,55 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 8,56 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 241,13 kN-mm' lik bir enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.6'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanı üzerinden 4 adet birim deformasyon ölçümü alınıp (Şekil 4.25), elde edilen birim deformasyon yük grafikleri Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29 te verilmiştir.

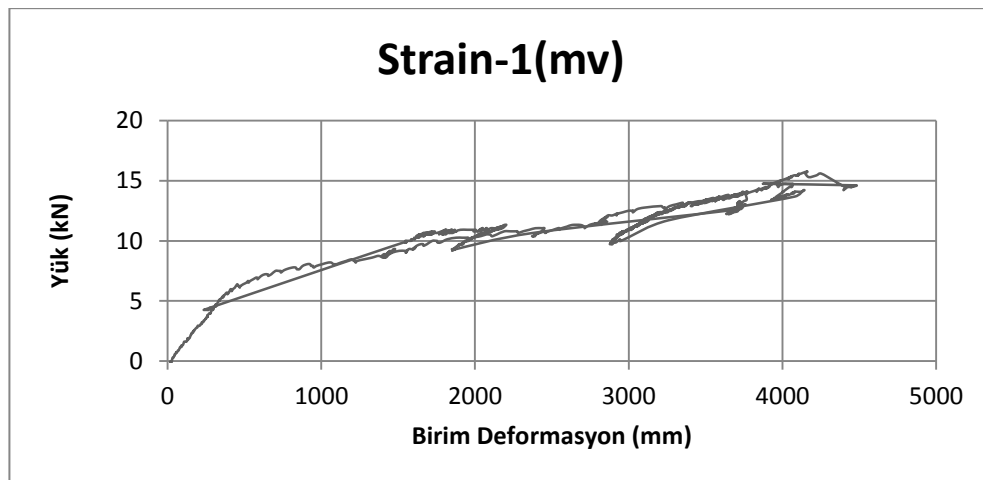


Şekil 4.24. 6 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

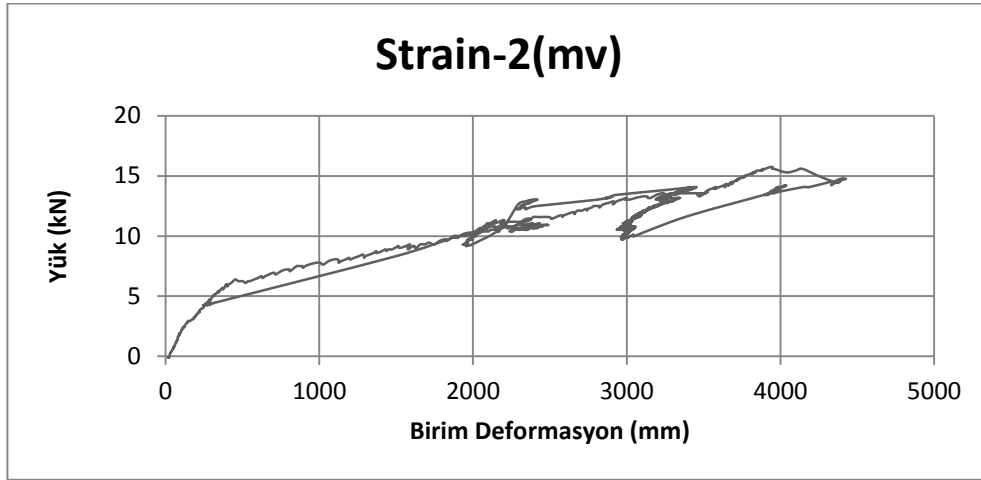
Deney elemanı (Resim 4.33) oldukça sünek bir davranış sergilemiştir. Deney elemanı 6 cm deformasyon ile diğer deney elemanları arasında en büyük deplasmanı yapan eleman olmuştur. Göçme tabir ettiğimiz noktaya kadar çok sünek bir davranış sergilemiş olup bir miktar yük kaybettikten sonra tekrar maksimum yüküne kadar ulaşmış bu noktadan sonra 1 cm ye yakın deplasman yaparak göçmeye uğramıştır. Deney elemanı neredeyse bir lastik davranışı sergilemiş olup bu davranışta yapısında bulundurduğu 13 adet ankrajın büyük katkısı olduğu söylenebilir. Ankrajlar blokları tamamen un ufak edinceye kadar dayanmışlardır. Deney elemanın deforme olmuş ve deney öncesi hali Resim 4.31 ve Resim 4.32 de görülebilir. Deney elemanı CFRP şeritleri yüzeyde tutan ankrajlara gelen aksenal yük (Resim 4.37, Resim 4.38) etkisiyle parçalanmıştır. Ayrıca mesnetlerde kesme kırıkları Resim 4.40 ve Resim 4.41 oluşmuştur. Kesme kırılmaları ve ankrajların zorlanmaları ankrajların yüzeyden ayrılmasına sebep olmuşlardır.(Resim 4.34, Resim 4.35, Resim 4.39, Resim 4.40)



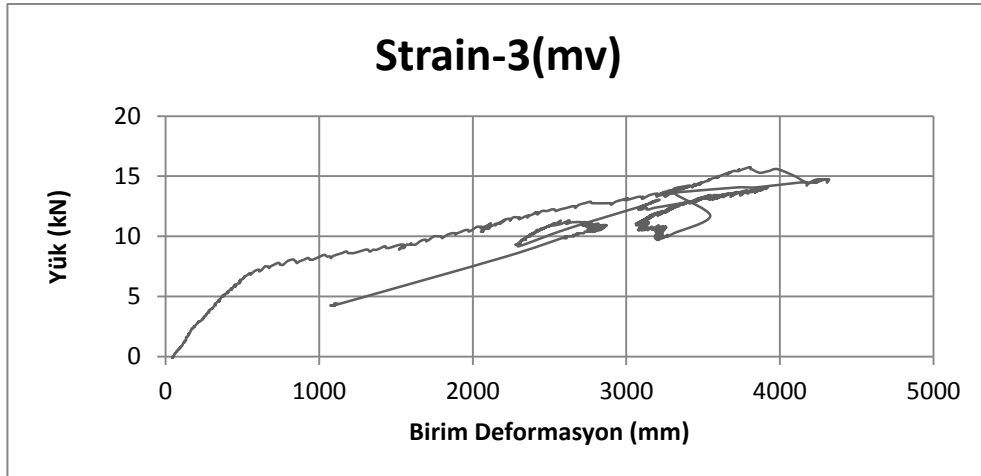
Şekil 4.25. 6 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



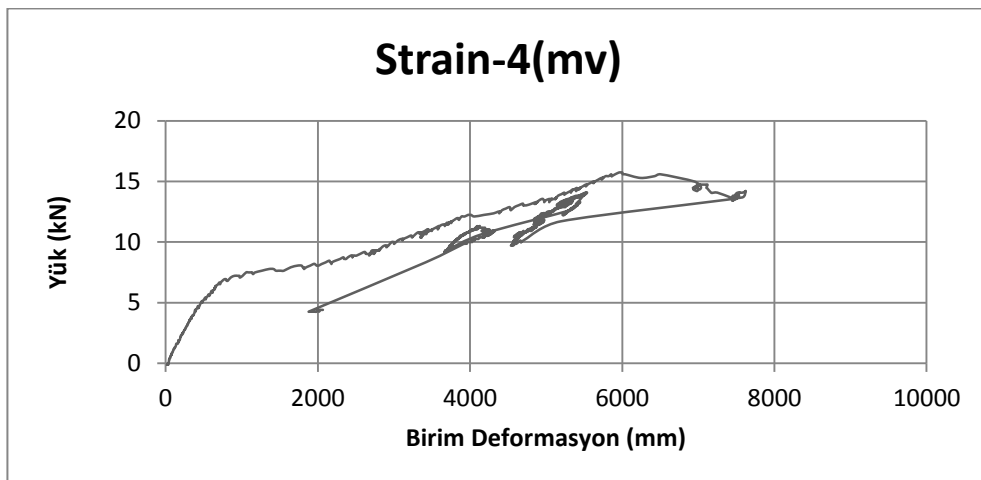
Şekil 4.26. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



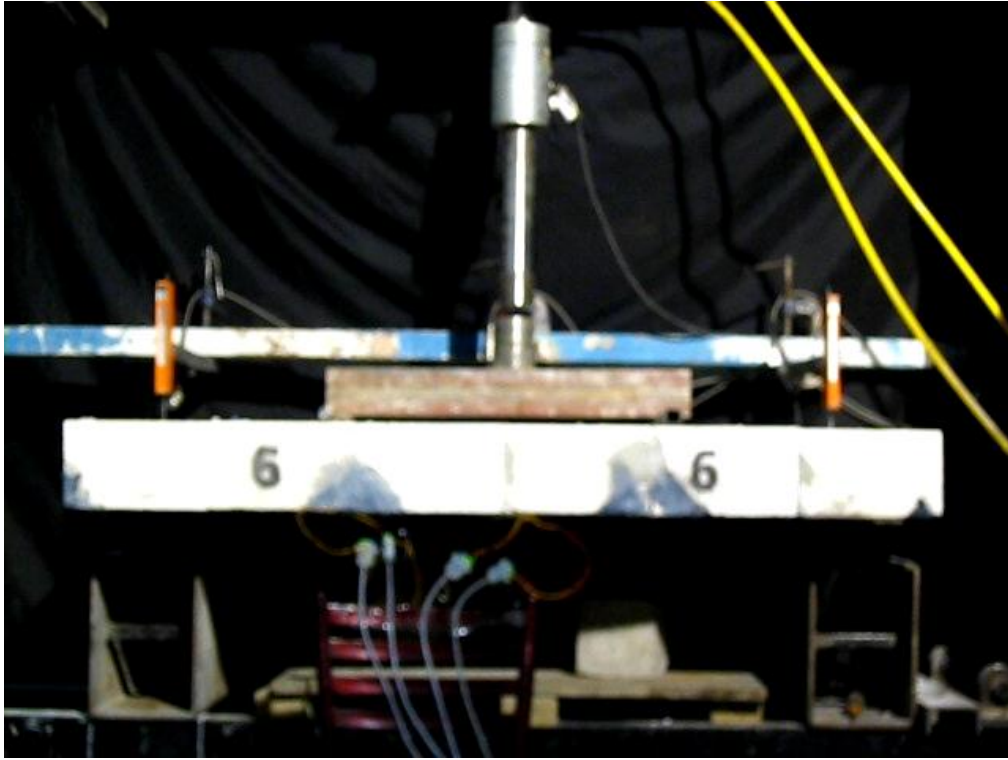
Şekil 4.27. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



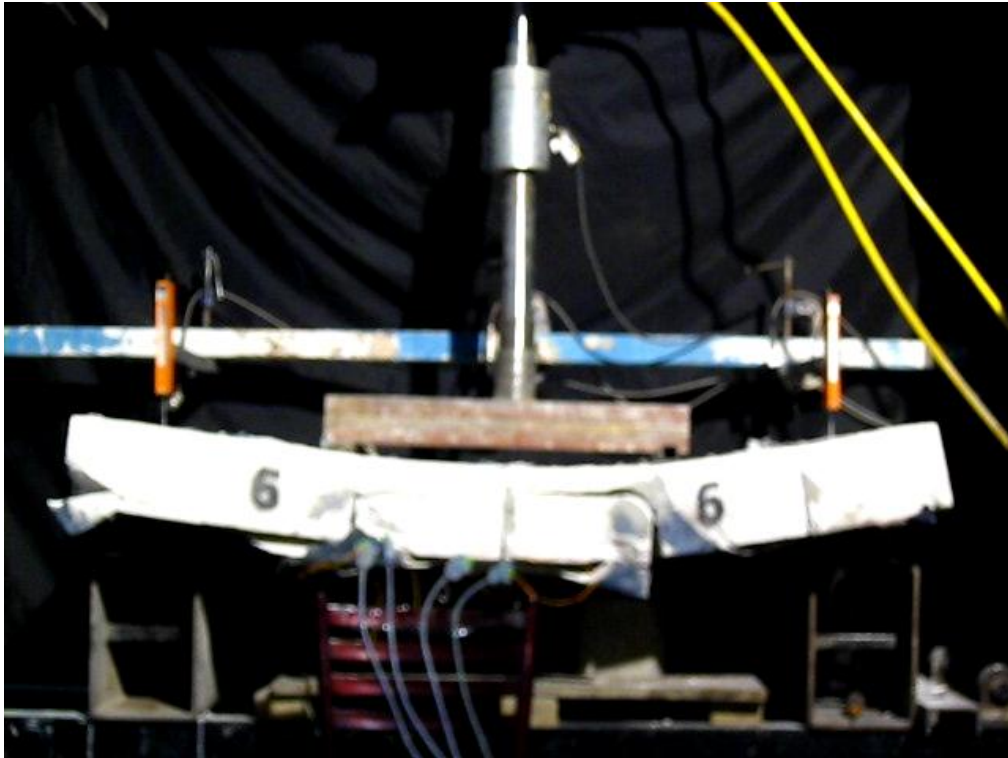
Şekil 4.28. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.29. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.31. 6 numaralı elemanın deney öncesi resmi



Resim 4.32. 6 numaralı elemanın deformasyona uğramış hali



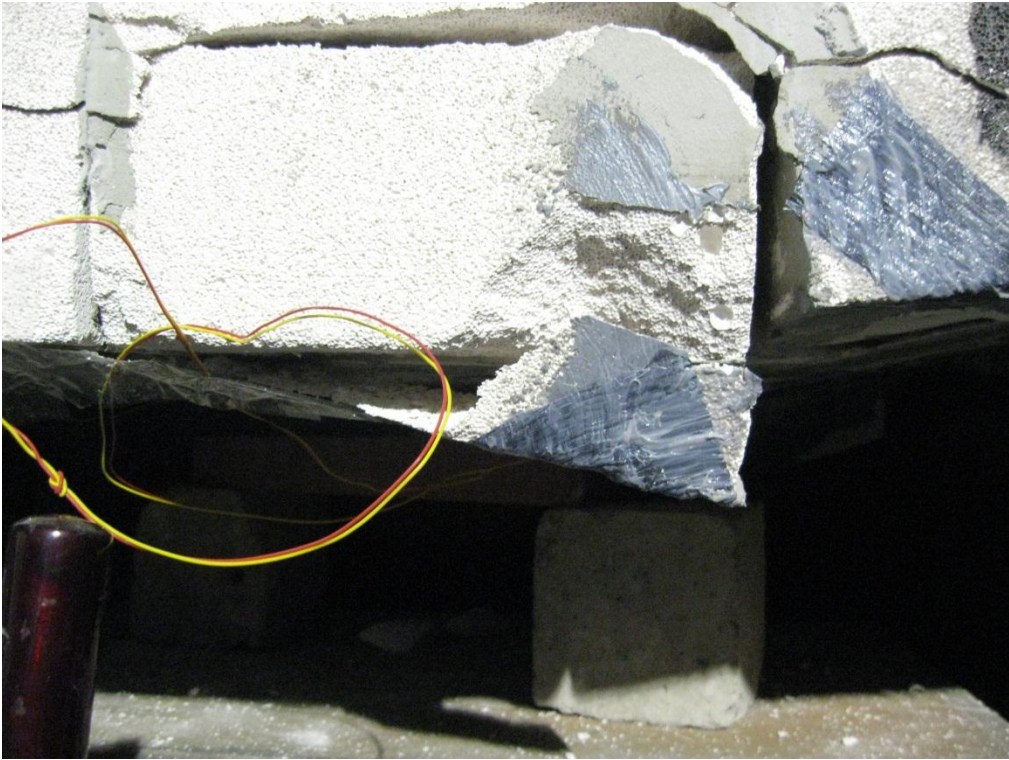
Resim 4.33. Deney elemanı 6



Resim 4.34. Kesme kırılması ve CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılımları



Resim 4.35. CFRP şeritlerin parçalanan yüzeyden ayrılımları



Resim 4.36. Kesme kırılmasına maruz kalan bloklar



Resim 4.37. Kesme kırılmasına maruz kalan bloklar



Resim 4.38. Ankraj etrafı blok kırılmaları



Resim 4.39. Ankrajın yüzeyden ayrılması



Resim 4.40. Ankrajların yüzeyden ayrılması

4.7. Deney Elemanı 7

Deney elemanı 7 (Resim 4.43) 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin diyagonal olarak gaz beton dolgu duvarı yüzeyine 300 mm aralıkla yerleştirilmesi ile güçlendirilmiştir. Diyagonal şeritler çapraz olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.7 de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Deney elemanı 7'nin genel deney sonuçları tablosu

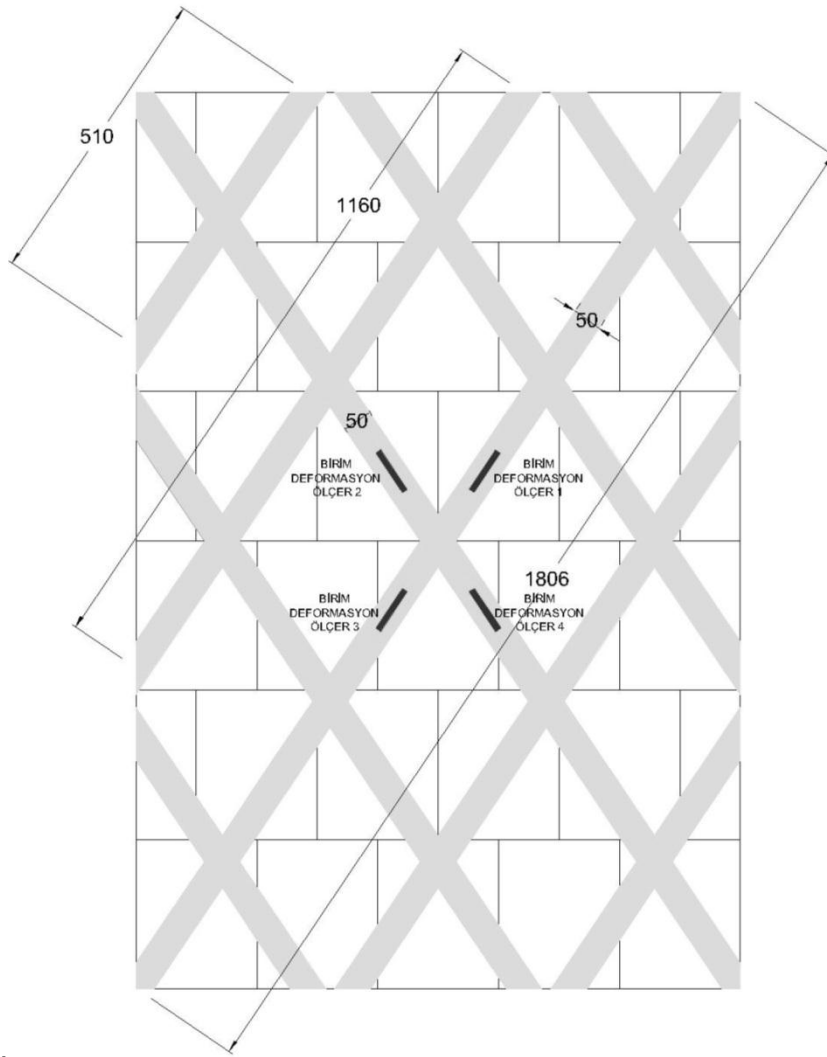
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	4.26	8.33	7.08
δ (mm)	1.80	5.36	5.58
Rijitlik (kN/mm)=			2.37
Süneklik Oranı=			3.10
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			35.86

Deney elemanı maksimum 8,33 kN yük taşımış ve bu yüke karşılık olarak 5,36 mm deformasyon yapmıştır. Akma yükünün %85 olan 7,08 kN yüküne karşılık 5,58 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,37 kN/mm olarak hesaplanırken süneklik oranının 3,10 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca deney elemanı 35,86 kN-mm' lik bir enerji tüketimi oluşturduğu görülmektedir. Deneyin yük deplasman grafiği Şekil 4.30 da verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.31) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 te verilmiştir.

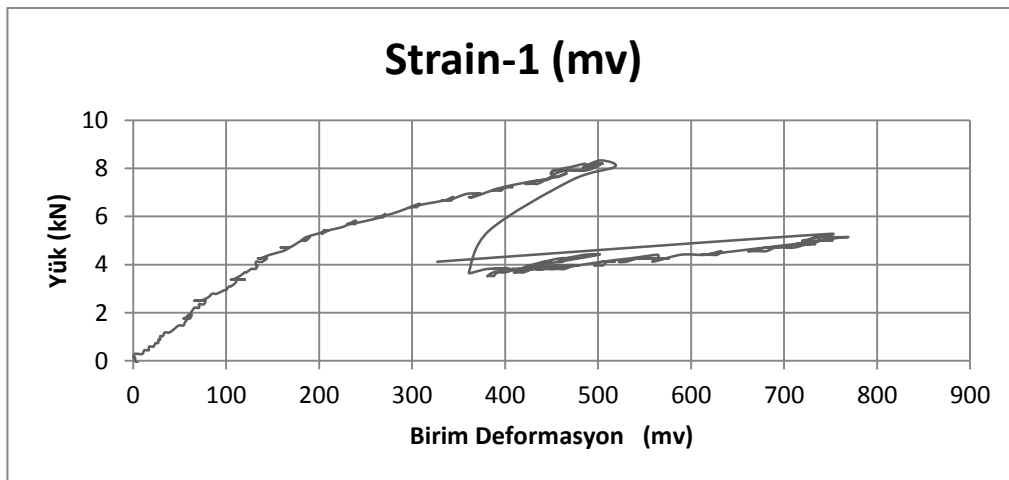


Şekil 4.30. 7 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

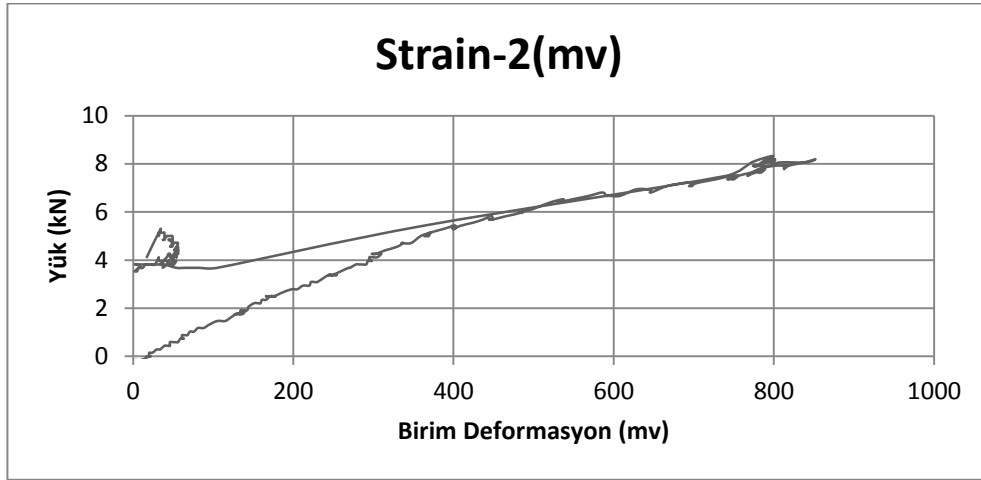
Deney elemanı (Resim 4.43) deney sürecinde soldan 2. Derzin açılmasıyla (Resim 4.44) ve CFRP şeritler yüzeyden ayrılmasıyla (Resim 4.45, Resim 4.46) göçmeye uğramıştır. Ayrıca 2. Sıra ve 1. Sıra bloklar ezilmiş (Resim 4.48) ve parçalanmıştır. Deney elemanın deney öncesi ve sonrası resimleri Resim 4.41 ve Resim 4.42, Resim 4.50 de gösterilmiştir.



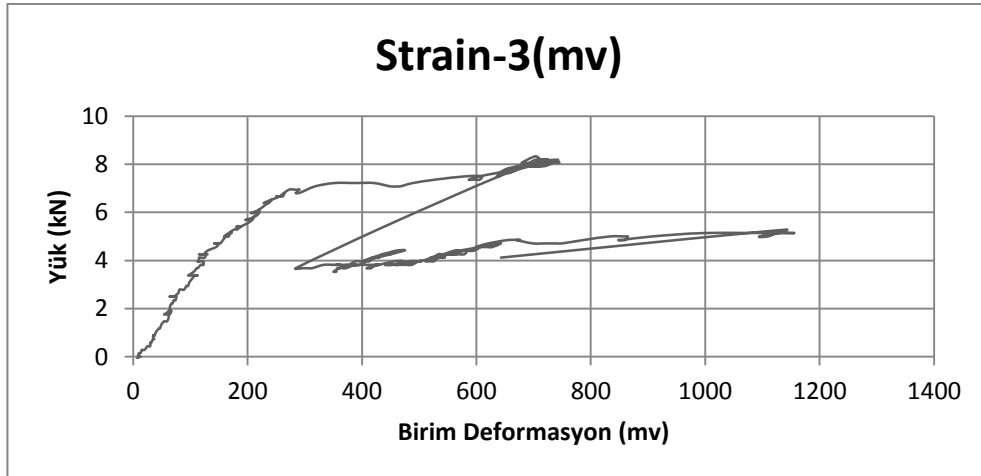
Şekil 4.31. 7 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli



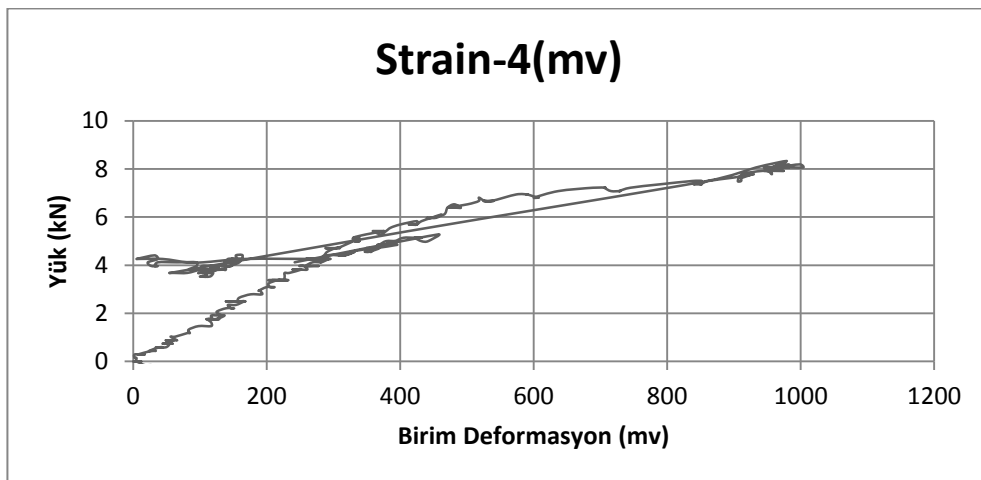
Şekil 4.32. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



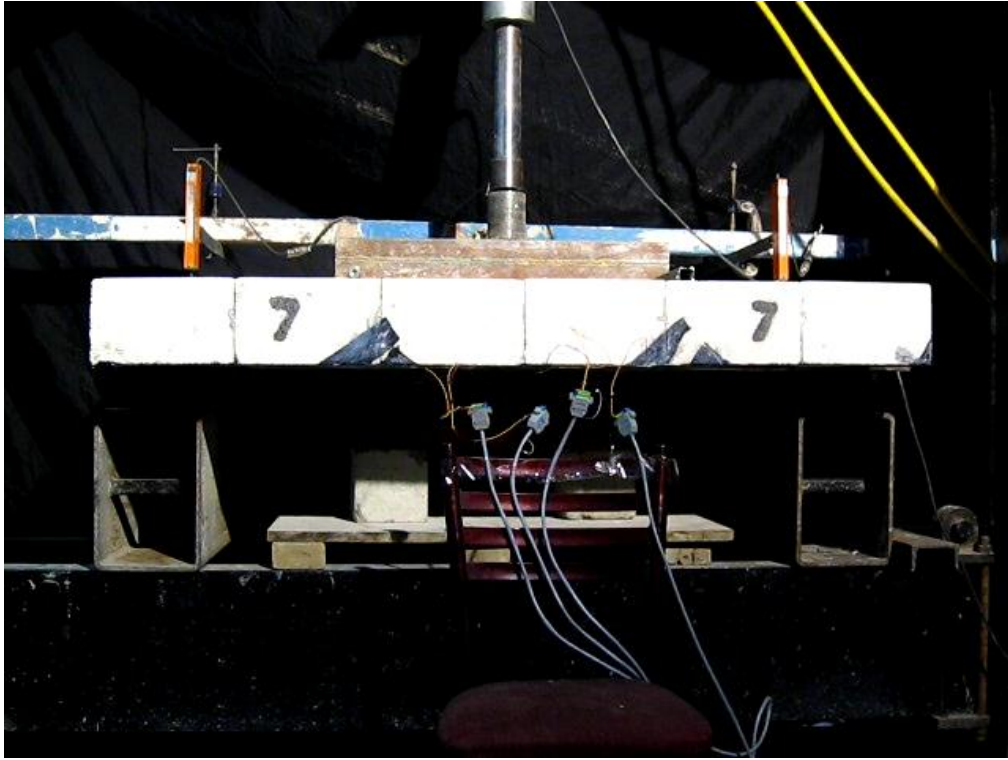
Şekil 4.33. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



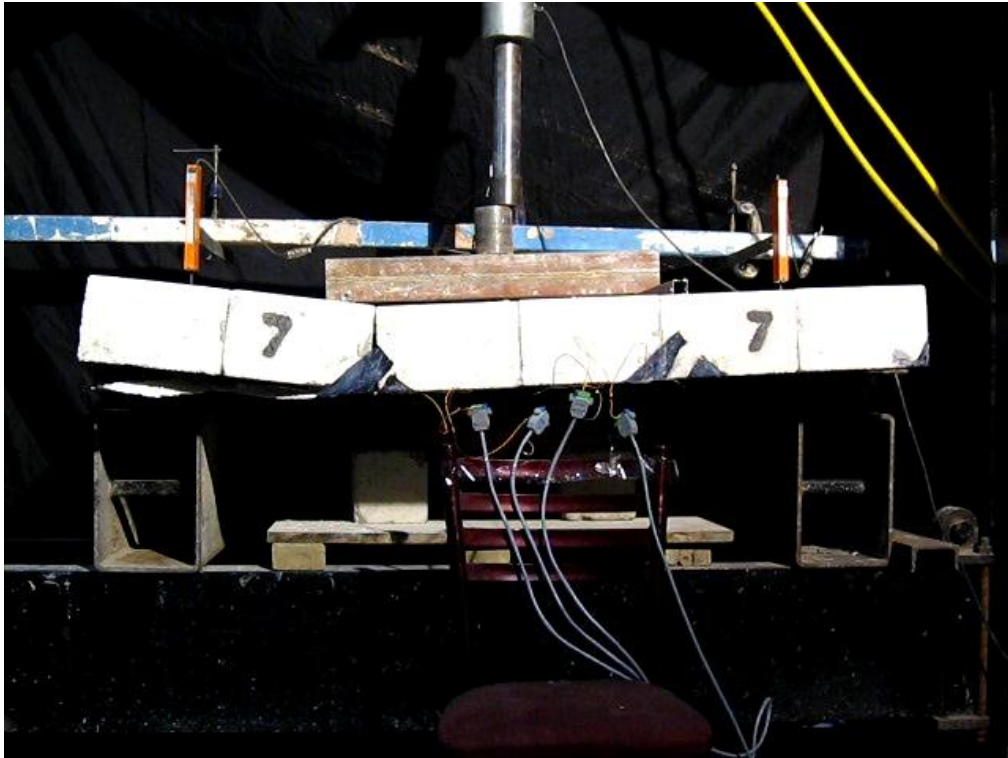
Şekil 4.34. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.35. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.41. Deney öncesi 7 numaralı deney elemanı



Resim 4.42. Deformasyona uğramış deney elemanı 7



Resim 4.43. Deney elemanı 7



Resim 4.44. Genel göçme modu



Resim 4.45. Yüzeyden ayrılan CFRP şerit



Resim 4.46. Parçalanmış bloklar üzerinde kopan ve yüzeyden ayrılan şeritler



Resim 4.47. Yüzeyden ayrılan şeritler



Resim 4.48. Parçalanmış bloklar

4.8. Deney Elemanı 8

Deney elemanı 8 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin yatay ve düşey olarak ortogonal bir şekilde gaz beton dolgu duvarı yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. 3 düşey şerdi 400 mm aralıkla, 3 yatay şerit ise 550 mm aralıkla yapıştırılmıştır. CFRP ankraj kullanılmıştır (Resim 4.51). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.8 de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Deney elemanı 8'in genel deney sonuçları tablosu

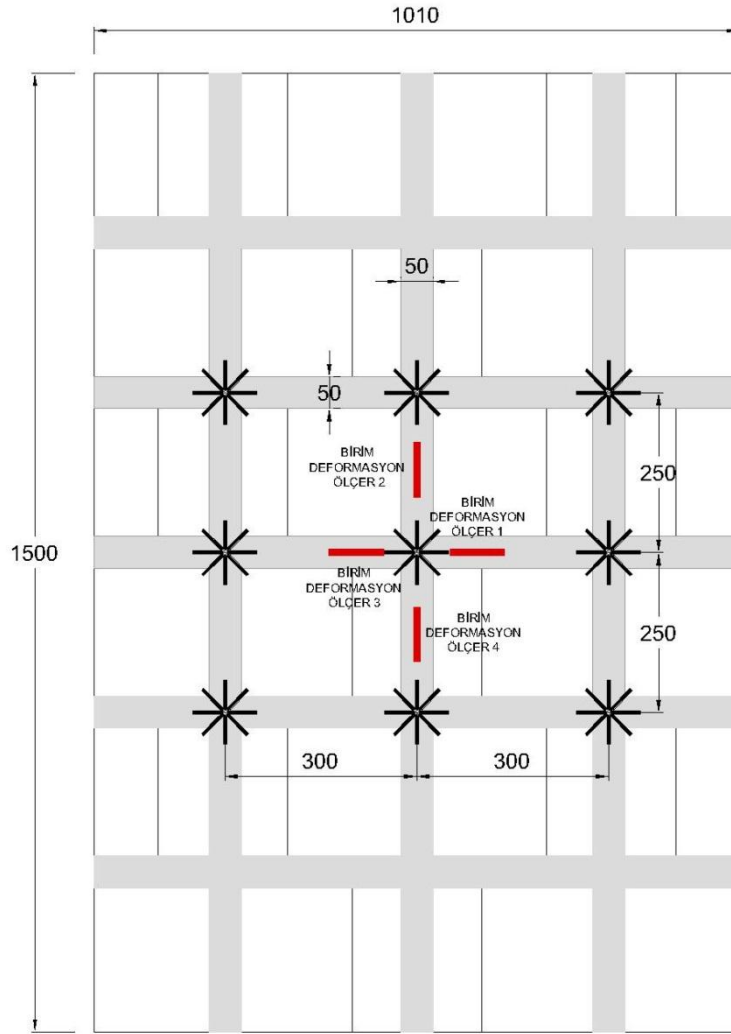
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	5.00	11.18	9.50
δ (mm)	0.84	7.16	7.37
Rijitlik (kN/mm)=			5.99
Süneklik Oranı=			8.83
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			72.24

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 11,18 kN yük değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık olarak 7,16 mm deformasyon yapmıştır. Maksimum taşıma gücü yükünün %85 olan 9,50 kN yük değerinde 7,37 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 5,99 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 8,83 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca deney elemanı 72,24 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.36'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.37) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.

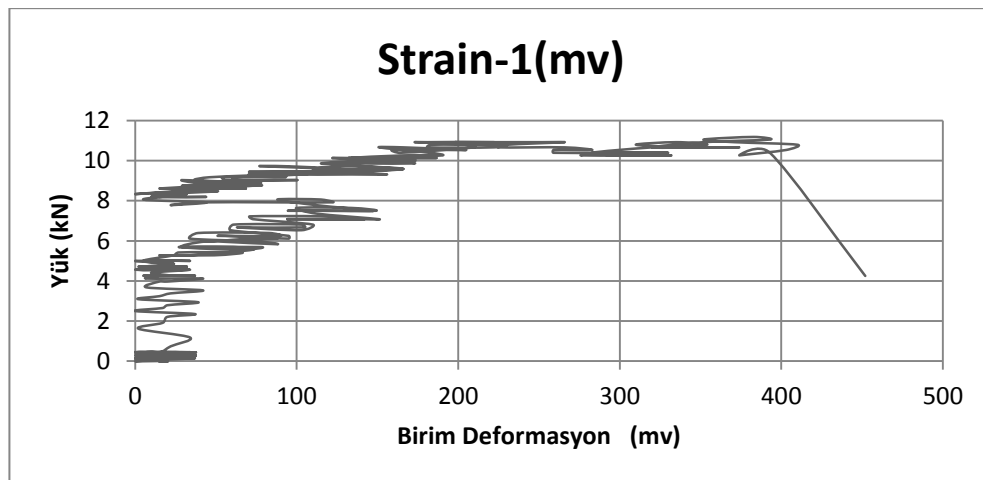


Şekil 4.36. 8 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

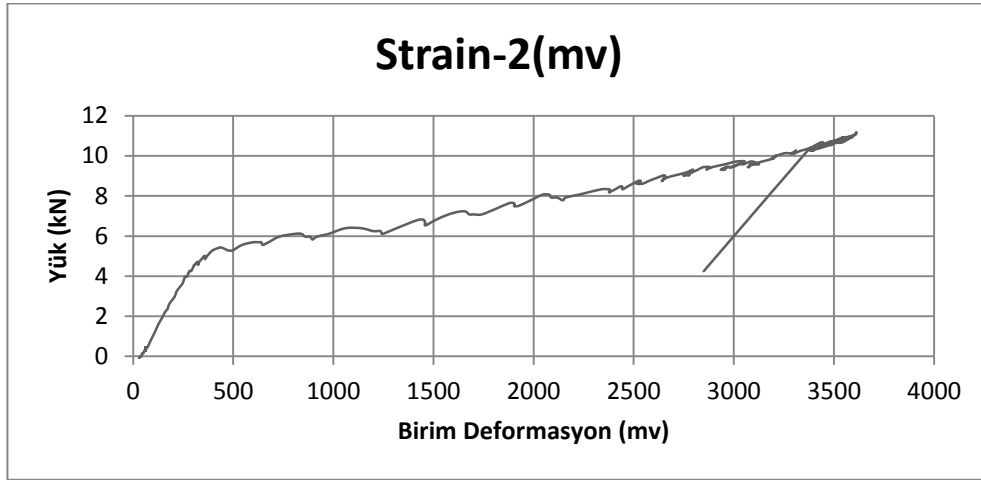
Deney elemanı (Resim 4.51)adeta bir lastik davranışı sergilemiş olup bu davranışta maksimum moment bölgesinde bulundurduğu 9 adet ankrajın büyük katkısı olduğu söylenebilir. Ankrajlar blokların kapasitelerini zorlamışlardır. Deney elemanın deforme olmuş ve deney öncesi hali ve Resim 4.49 ve Resim 4.50 de görülebilir. Deney elemanın deformasyonu ile birlikte CFRP şeritler yüzeyden ayrılmış (Resim 4.52, Resim 4.54, Resim 4.55, Resim 4.56) ve eleman kesme kırılmasıyla (Resim 4.53) göçmeye uğramıştır.



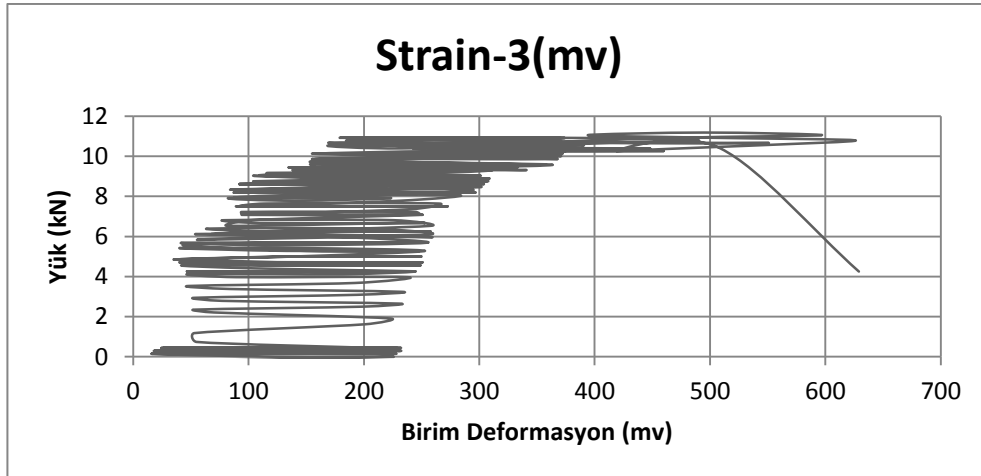
Şekil 4.37. 8 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli



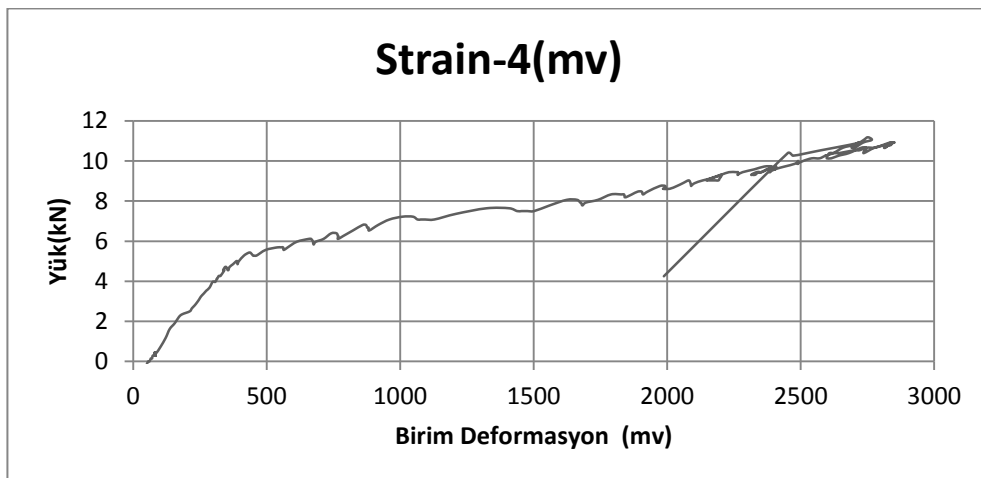
Şekil 4.38. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



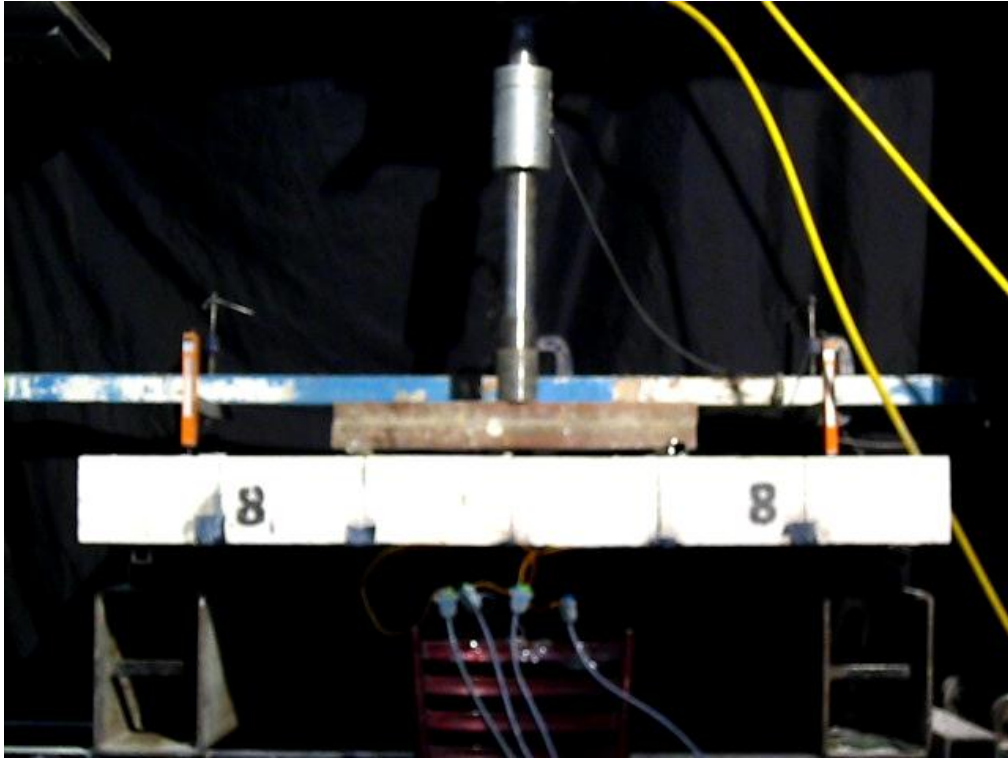
Şekil 4.39. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



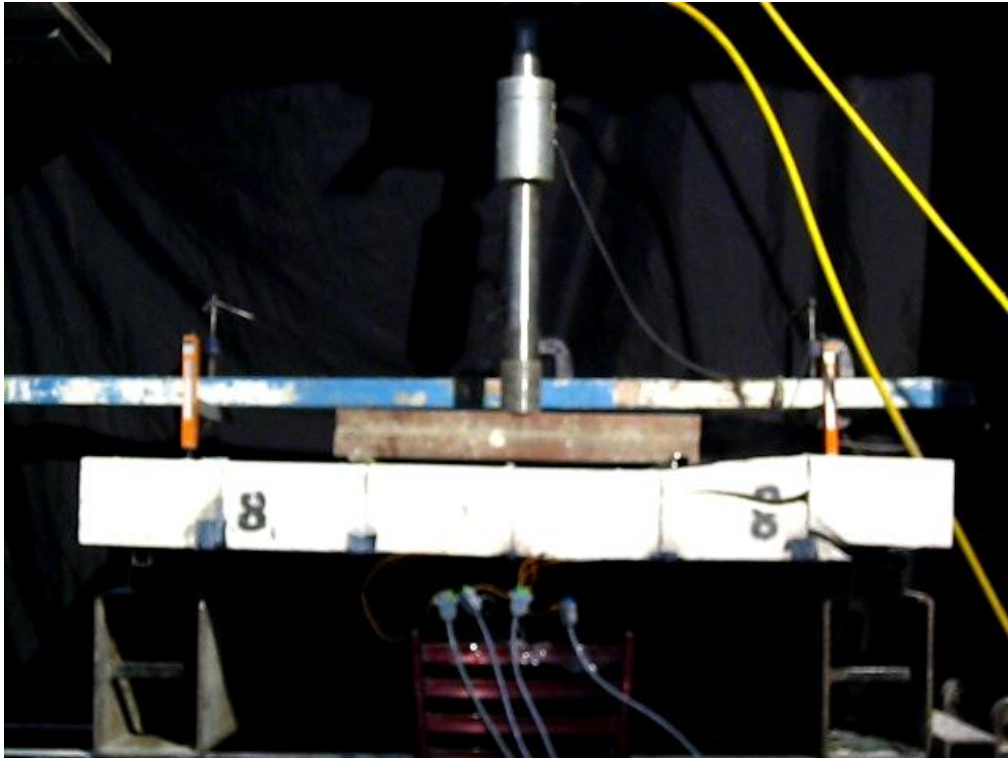
Şekil 4.40. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.41. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.49. 8 numaralı elemanın deney öncesi resmi



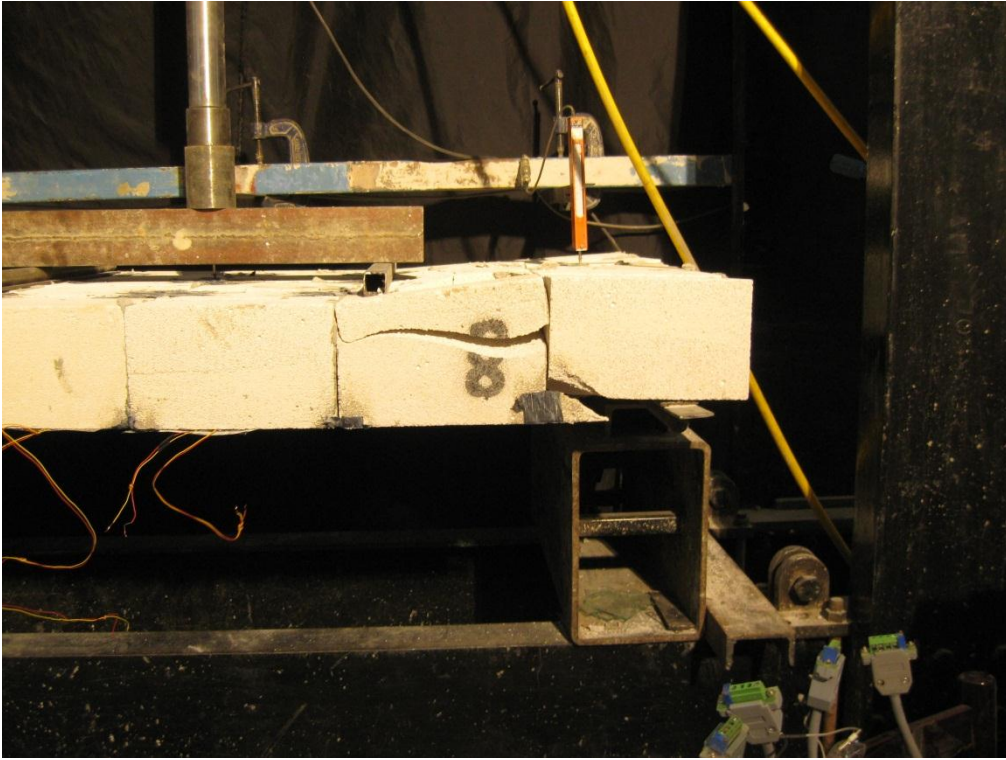
Resim 4.50. 8 numaralı elemanın deforme olmuş hali



Resim 4.51. 8 numaralı deney elemanı



Resim 4.52. Yüzeyden ayrılan şeritler



Resim 4.53. 22 Sıra bloklardaki kesme kırılması



Resim 4.54. CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmaları



Resim 4.55. Derz yüzeyinde yüzeyden ayrılan şeritler



Resim 4.56. Derz ve duvar yüzeyinden ayrılan şeritler

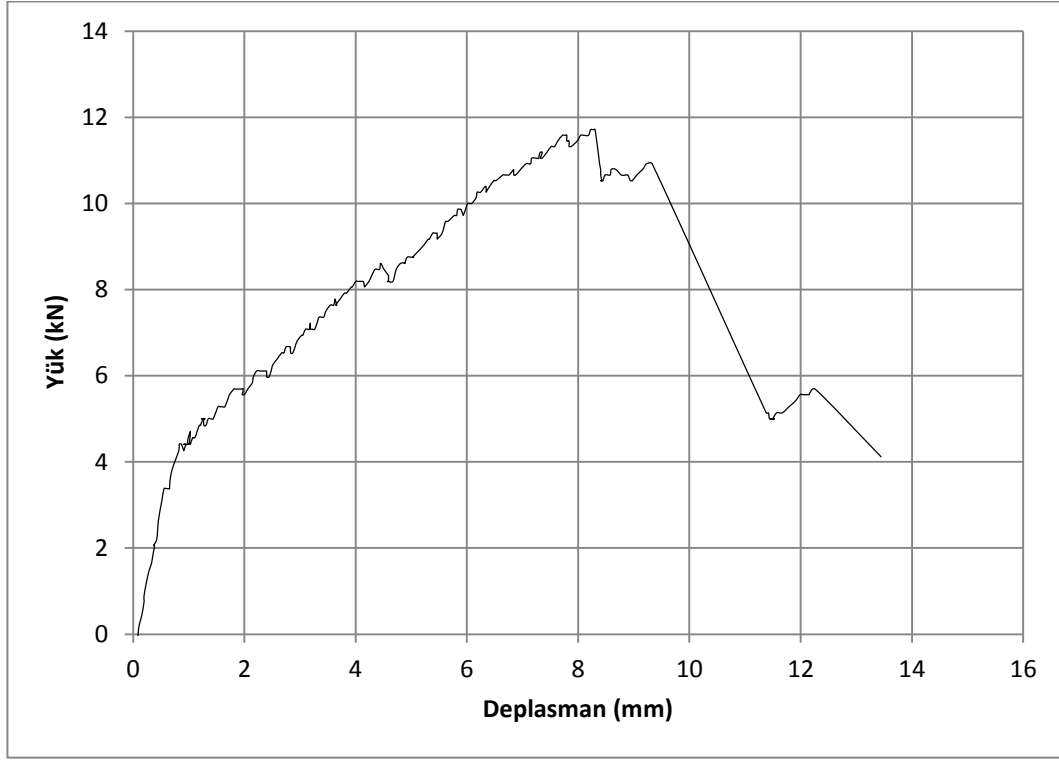
4.9. Deney Elemanı 9

Deney elemanı 9 100 mm genişliğindeki CFRP şeritlerin yatay ve düşey olarak ortogonal bir şekilde gaz beton dolgu duvarı yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. 3 düşey şerit 400 mm aralıkla, 3 yatay şerit ise 550 mm aralıkla yapıştırılmıştır. Ayrıca deney elemanında CFRP ankraj kullanılmamıştır (Resim 4.25). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.9 da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Deney elemanı 9'un genel deney sonuçları tablosu

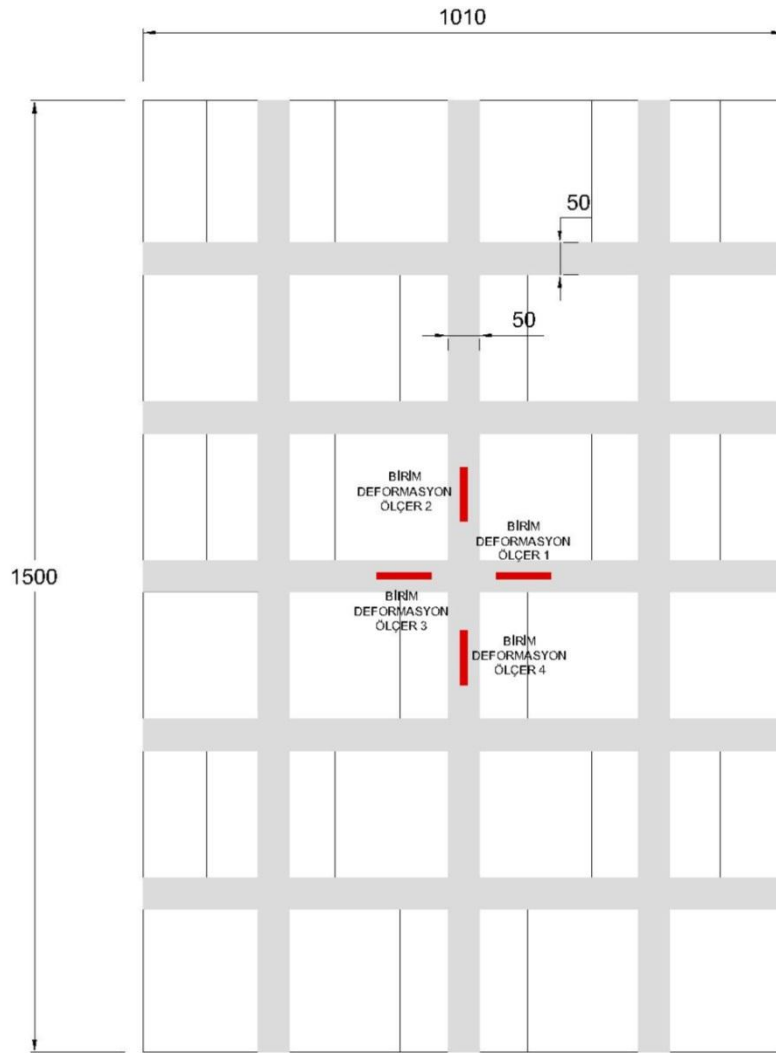
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	4.26	11.71	9.95
δ (mm)	0.82	8.31	9.23
Rijitlik (kN/mm)=			5.20
Süneklik Oranı=			11.26
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			79.54

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 11,71 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deney elemanı bu yüke ulaşana kadar 8,31 mm deformasyon yapmıştır. Deney elemanı maksimum taşıma gücünün %85 olan 9,23 kN yüke karşılık 9,23 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 5,20 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 11,26 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 79,54 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deneyin yük deplasman grafiği Şekil 4.42 olarak verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.43) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 4.25'de verilmiştir.

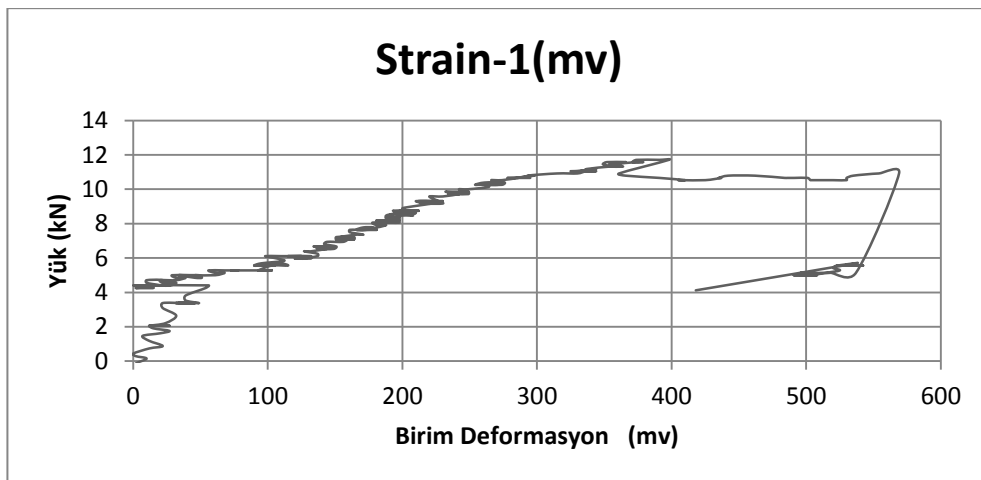


Şekil 4.42. 9 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

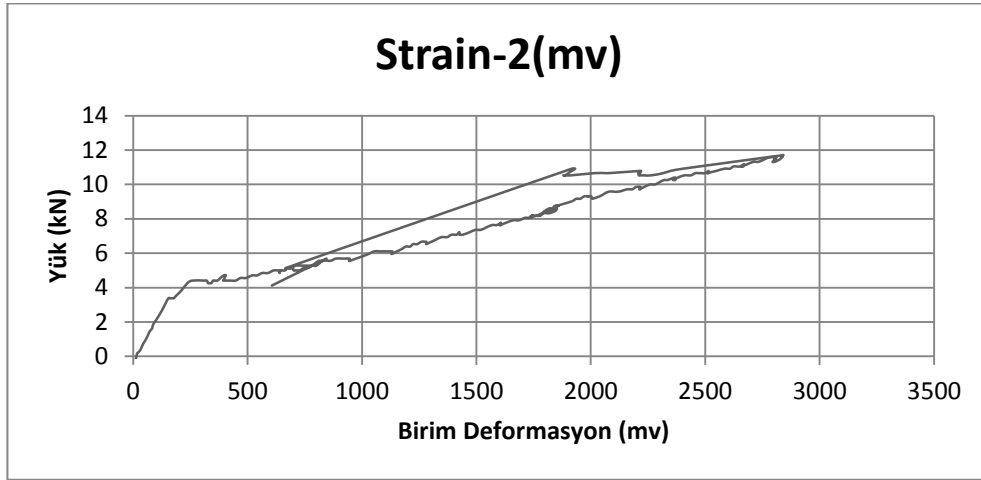
Deney öncesi ve sonrası resimleri Resim 4.57 ve Resim 4.58 görülen deney elemanı 9, 1. Ve 2. Sıra derzlerin açılmasıyla (Resim 4.60, Resim 4.62) göçmeye uğramışlardır. Açılan derzler CFRP şeritleri yüzeyden ayırmış (Resim 4.61, Resim 4.63) ve elemanın 2. Sıra bloklardan (Resim 4.64) bir kaçının parçalanmasına sebep olmuştur.



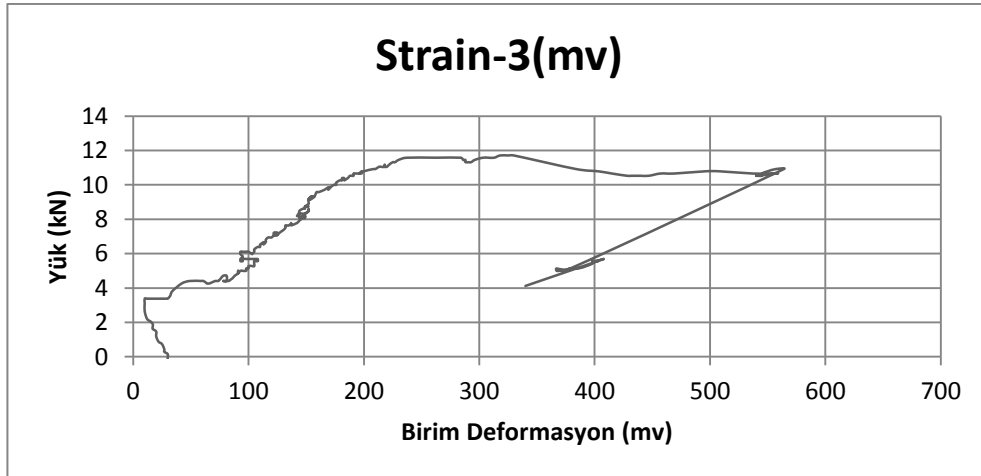
Şekil 4.43. 9 Numaralı elemanın birim deformasyon ölçer şekli



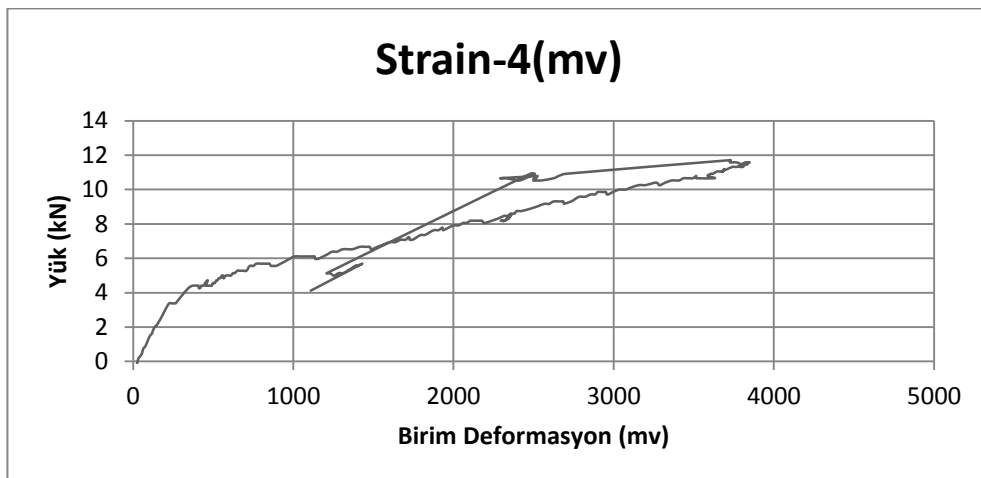
Şekil 4.44. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



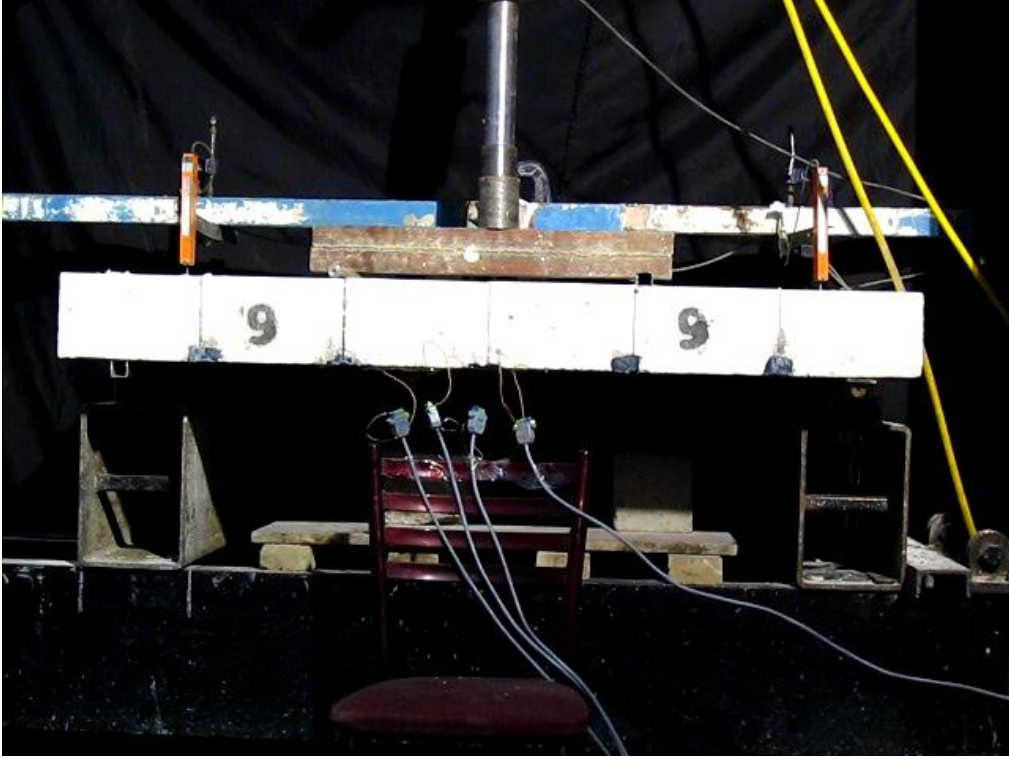
Şekil 4.45. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



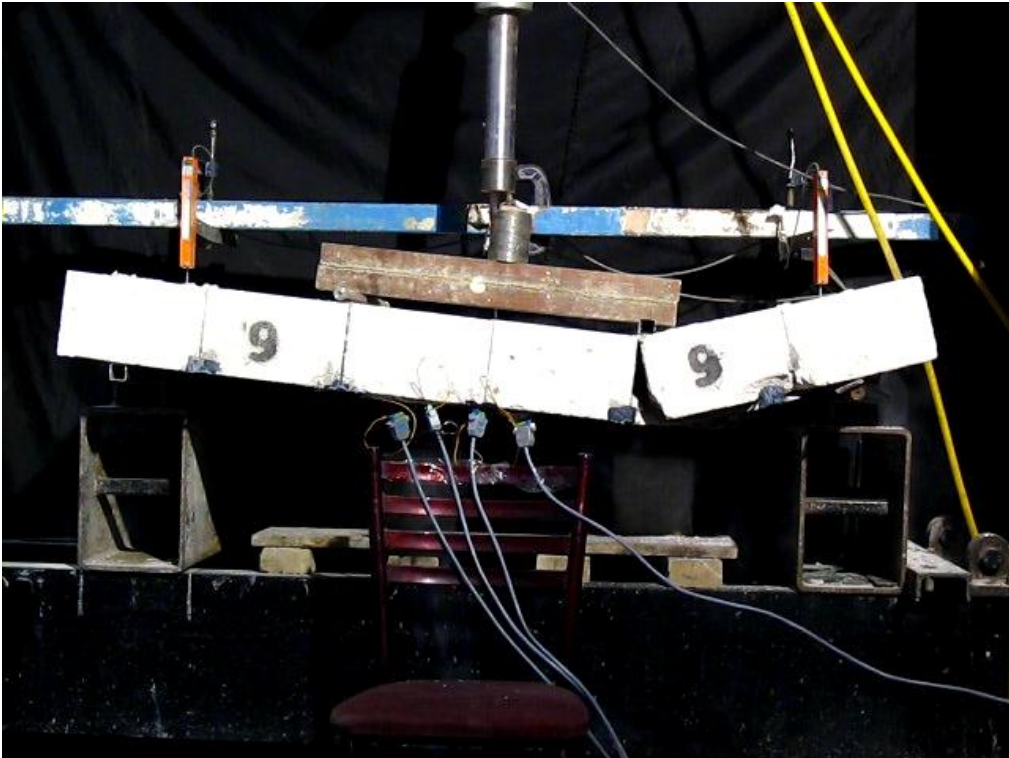
Şekil 4.46. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.47. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.57. 9 numaralı deney elemanının deney öncesi resmi



Resim 4.58. 9 numaralı deney elemanının göçmeye uğramış hali



Resim 4.59. 9 numaralı deney elemanı



Resim 4.60. CFRP şerit yüzey aderansı



Resim 4.61. 2. sıra derzin açılmasıyla yüzeyden ayrılan şeritler



Resim 4.62. 1.sıra derzin açılması



Resim 4.63. Yüzeyden ayrılan CFRP şeritler



Resim 4.64. 2.sıradaki kırılan bloklar

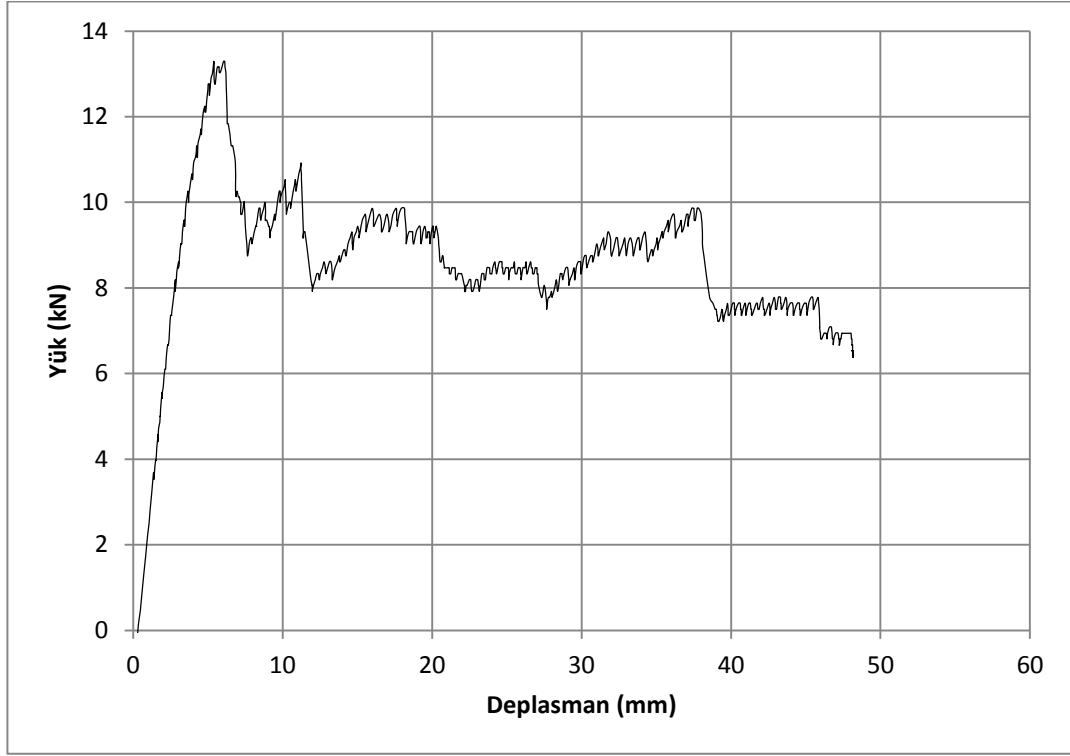
4.10. Deney Elemanı 10

Deney elemanı 10, 3 adet düşey ve 5 adet yatay 50 mm genişliğindeki CFRP şeridin ortogonal şekilde gaz beton duvar yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. Deney elemanında CFRP ankrajı kullanılmıştır (Resim 4.67). Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.10 de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Deney elemanı 10'un genel deney sonuçları tablosu

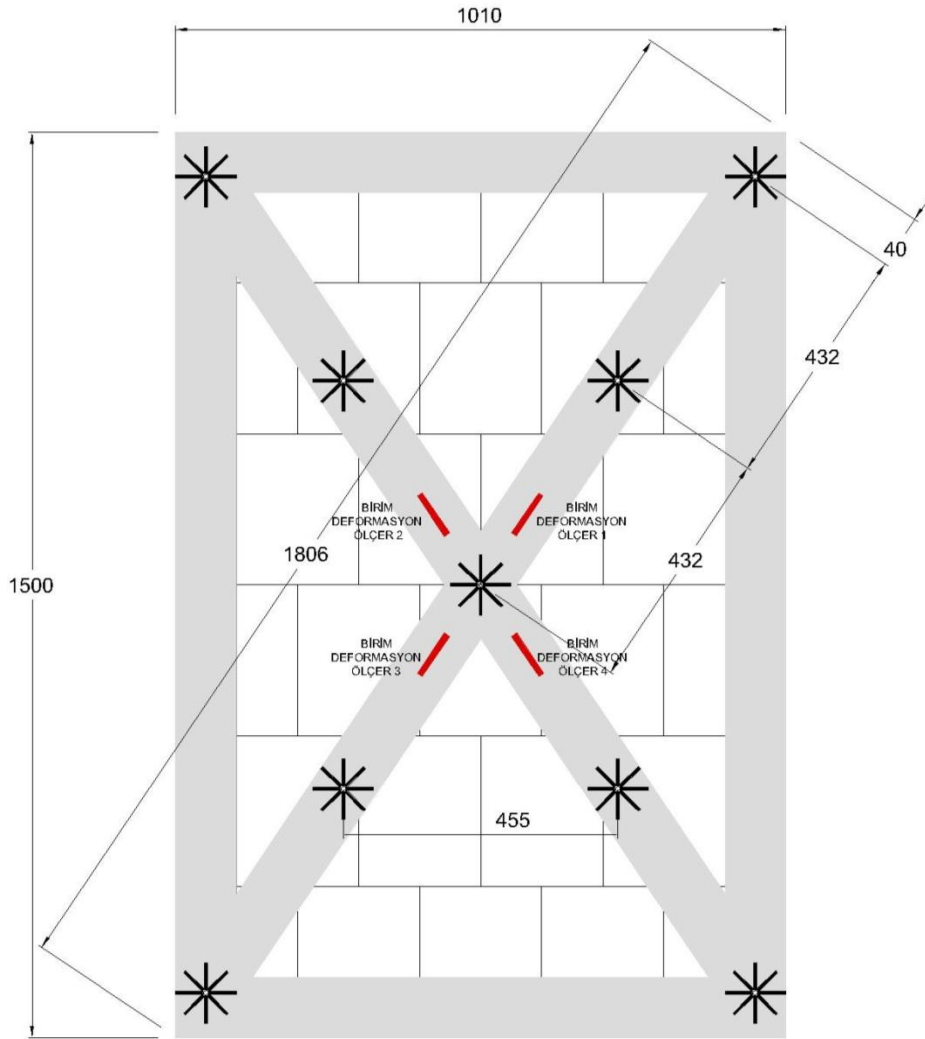
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	8.06	13.29	11.30
δ (mm)	2.79	6.13	6.66
Rijitlik (kN/mm)=			2.89
Süneklik Oranı=			2.39
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			61.04

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 13,29 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deney elemanı bu yük düzeyine 6,13 mm deformasyon yaparak gelmiştir. Deney elemanı maksimum taşıma gücünün %85 olan 11,30 kN yük düzeyine kadar 6,66 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 2,89 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 2,39 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 61,04 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.48'da verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.49) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafikler Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53'de verilmiştir.

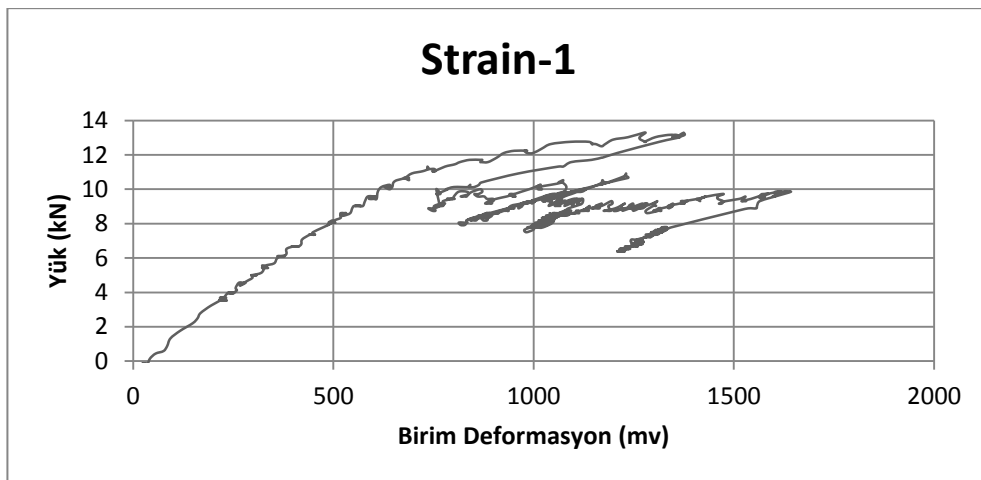


Şekil 4.48. 10 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

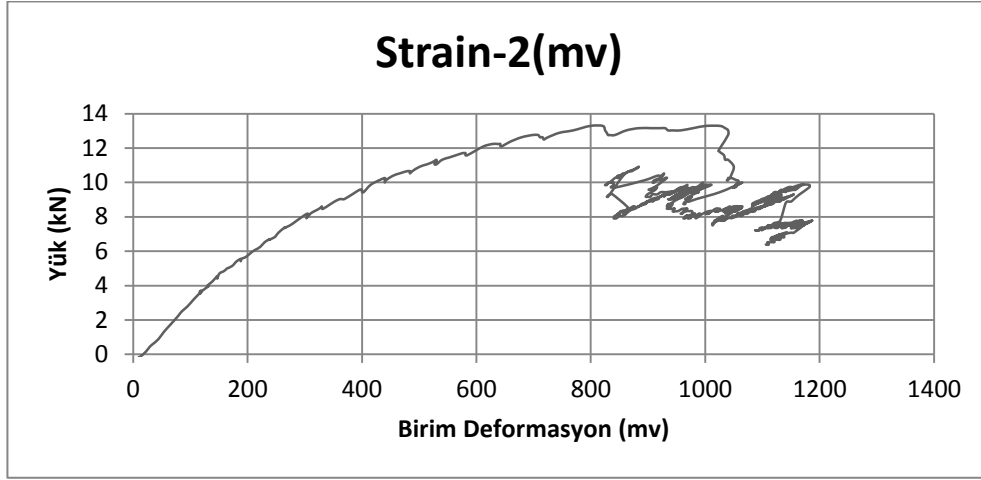
Deney elemanı ankrajların da etkisiyle oldukça sünek bir davranış sergilemiştir. Kesme açıklığındaki ankrajlar elemanın sünekliğini artırmıştır. Bu sebeple 2. Sıra bloklarda kesme kırılmaları oluşmuş (Resim 4.68, Resim 4.72) ve kırılan blokların (Resim 4.70) altındaki CFRP şeritler (Resim 4.69) yüzeyden ayrılmıştır. Deney elemanı kesme kırılması neticesinde göçmeye uğramıştır. Ayrıca yer yer ankraj etrafında açılmalar (Resim 4.71, Resim 4.73, Resim 4.74) meydana gelmiştir. Deney elemanın deney öncesi ve sonrası resimleri Resim 4.65 ve Resim 4.66 da gösterilmiştir.



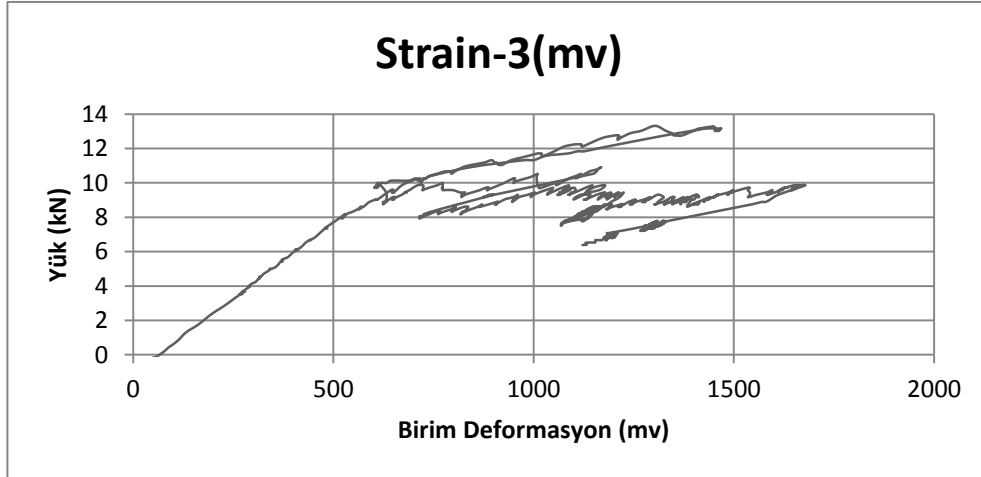
Şekil 4.49. 10 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



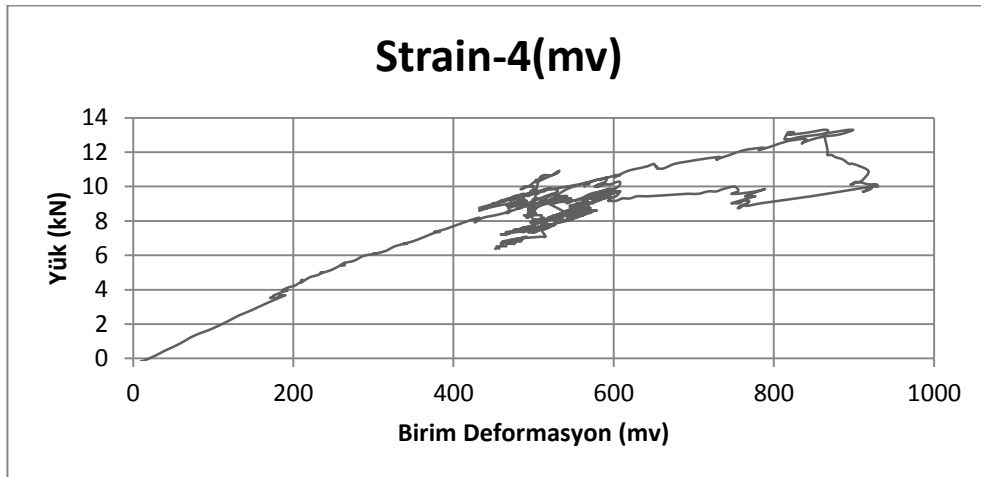
Şekil 4.50. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



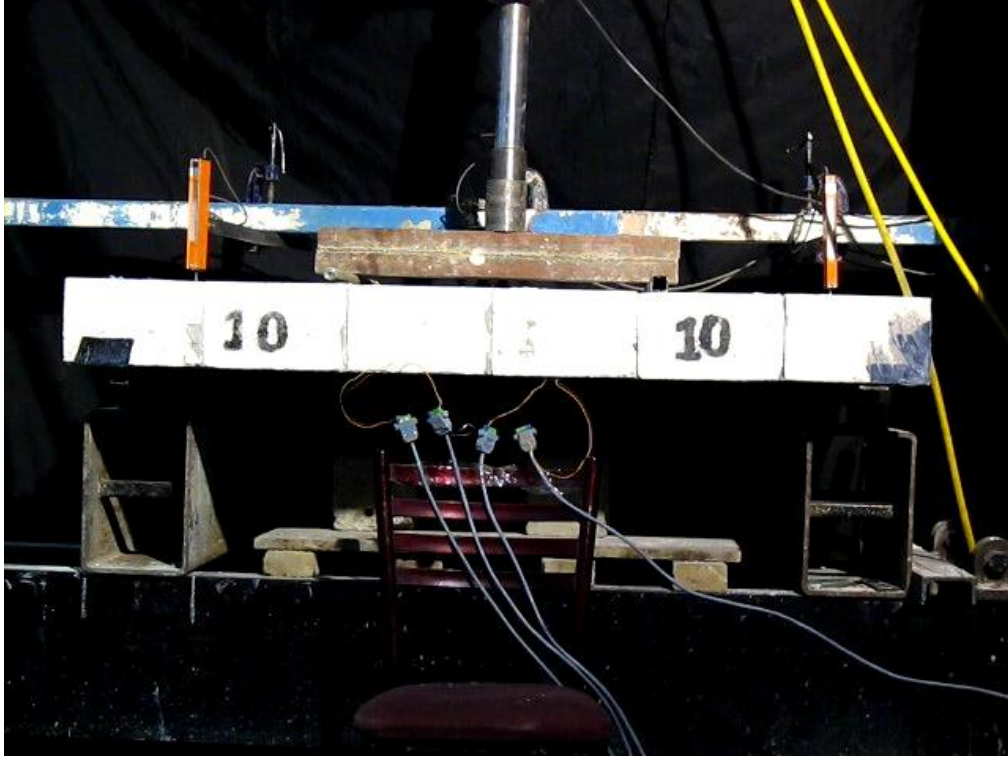
Şekil 4.51. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.52. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.53. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



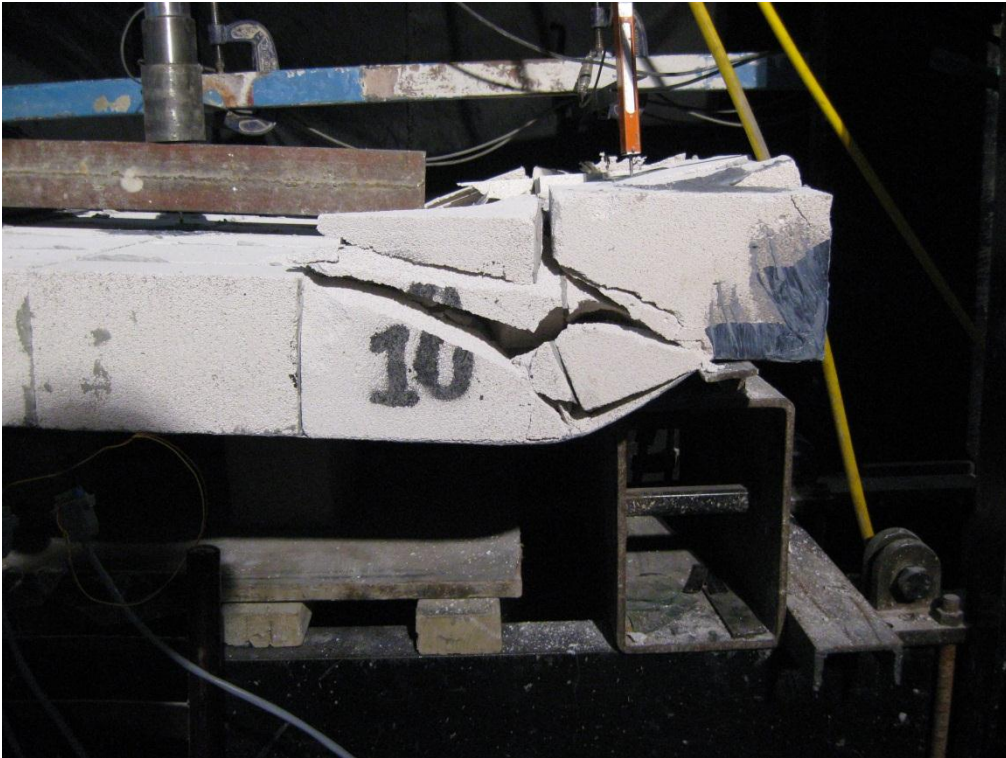
Resim 4.65. 10 numaralı deney elemanının deney öncesi resmi



Resim 4.66. 10 numaralı deney elemanının göçmeye uğramış hali



Resim 4.67. 10 numaralı deney elemanı



Resim 4.68. 1. ve 2. sıra bloklardaki kesme kırılması



Resim 4.69. CFRP şerit altında oluşan ayrılma



Resim 4.70. Parçalanmış bloklar



Resim 4.71. CFRP ankraj etrafında kırılan bloklar



Resim 4.72. Kesme kırılması



Resim 4.73. Ankrajın yüzeyden ayrılması



Resim 4.74. Ankrajın blok içine doğru çekilmesi

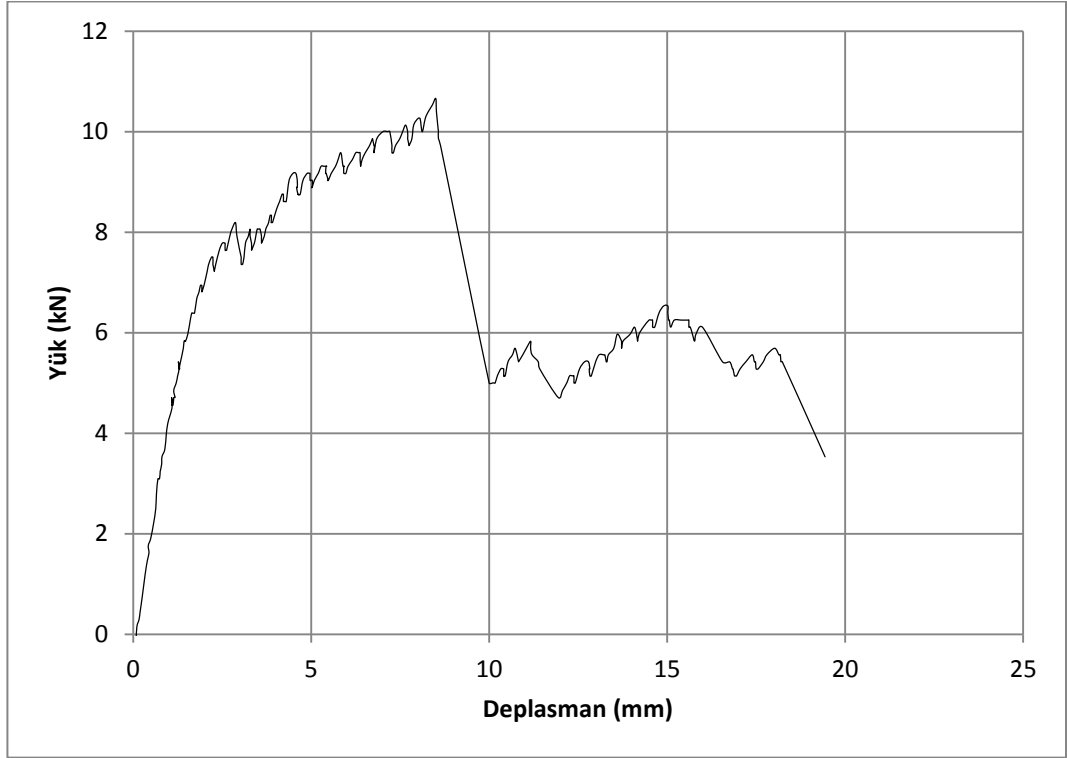
4.11. Deney Elemanı 11

Deney elemanı 11 (Resim 4.77) 3 adet düşey ve 5 adet yatay 50 mm genişliğindeki CFRP şeridin ortogonal şekilde gaz beton duvar yüzeyine yapıştırılması ile güçlendirilmiştir. Ayrıca deney elemanında CFRP ankraj kullanılmamıştır. Deney elemanı 1'in test sonuçları toplu olarak Çizelge 4.11 de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Deney elemanı 11'in genel deney sonuçları tablosu

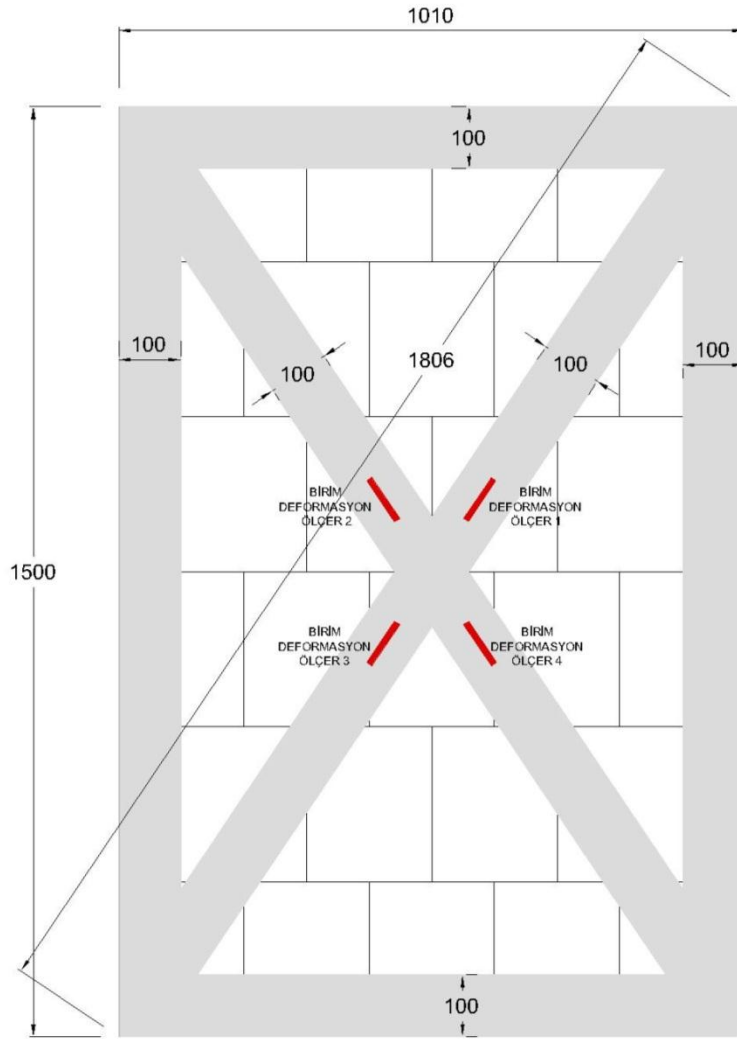
	Rijitliğin Değiştiği İlk Nokta	En Fazla Yükün Olduğu Nokta	Göçme Noktası
Yük (kN)	6.25	10.66	9.06
δ (mm)	1.61	8.50	8.58
Rijitlik (kN/mm)=			3.89
Süneklik Oranı=			5.34
Enerji Tüketim Kapasitesi (kN*mm)=			72.21

Deney elemanı maksimum taşıma gücüne 10,66 kN yük düzeyinde ulaşmıştır. Deney elemanı bu yük düzeyine kadar 8,50 mm deformasyon yapmıştır. Deney elemanı maksimum taşıma gücü değerinin %85 olan 9,06 kN yüke karşılık 8,58 mm deformasyon yapmıştır. Rijitlik değeri 3,89 kN/mm olarak hesaplanırken deplasman süneklik oranı 5,34 olarak elde edilmiştir. Ayrıca deney elemanı 72,21 kN-mm' lik enerji tüketim kapasitesine sahiptir. Deney elemanının yük deplasman grafiği Şekil 4.54'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanındaki CFRP şeritlerden ikişer adet (Şekil 4.55) birim deformasyon ölçümü alınmış olup yüke bağlı olarak çizilen grafikleri Şekil 4.56, Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 da gösterilmiştir.

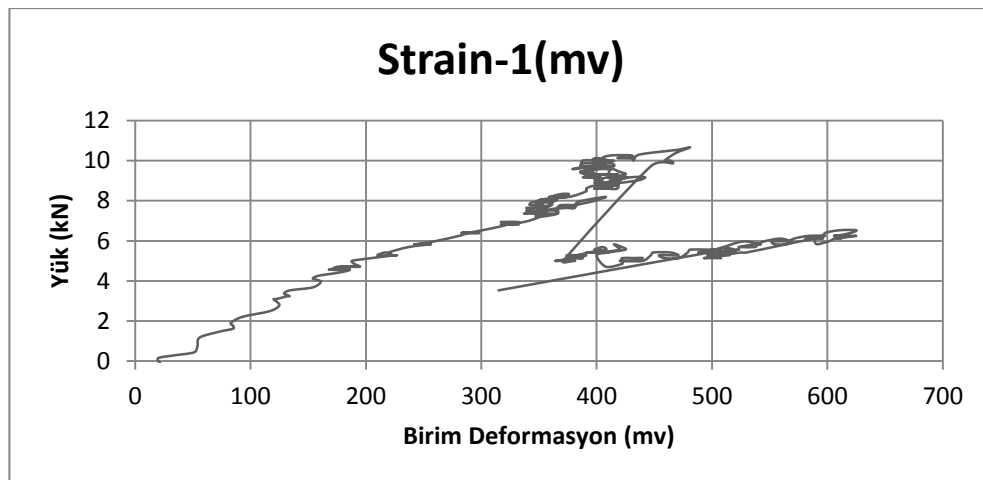


Şekil 4.54. 11 Numaralı elemanın yük deplasman grafiği

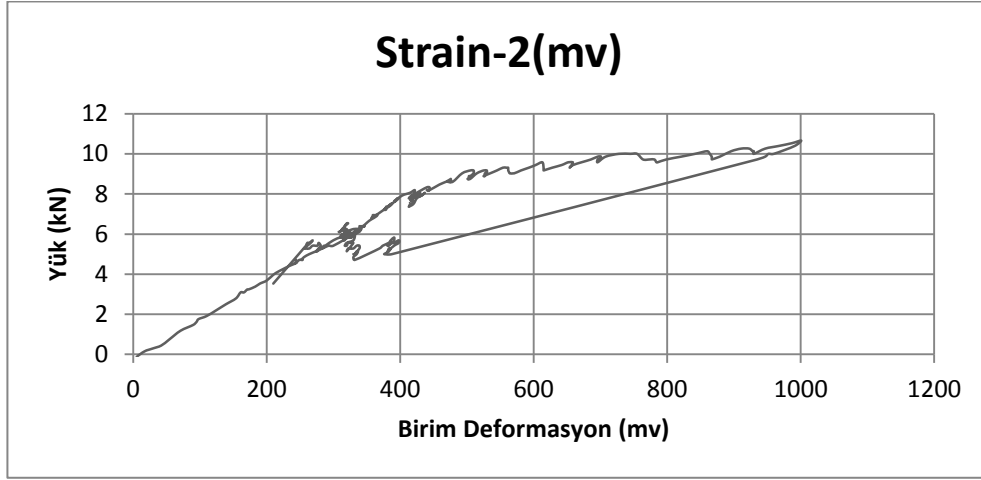
Deney elemanı (Resim 4.77) kesme kırılmasıyla göçmeye uğramıştır. 2. Sıra blokların kırılmasıyla (Resim 4.78) ve bu yüzeydeki CFRP şeritlerin yüzeyden ayrılmasıyla (Resim 4.79) sistem göçmeye uğramıştır. Deney elemanın deney öncesi ve sonrası resmi Resim 4.75 ve Resim 4.76 da görülebilir. Ayrıca yerel olarak CFRP şeritlerde ayrılmalar (Resim 4.80) meydana gelmiştir.



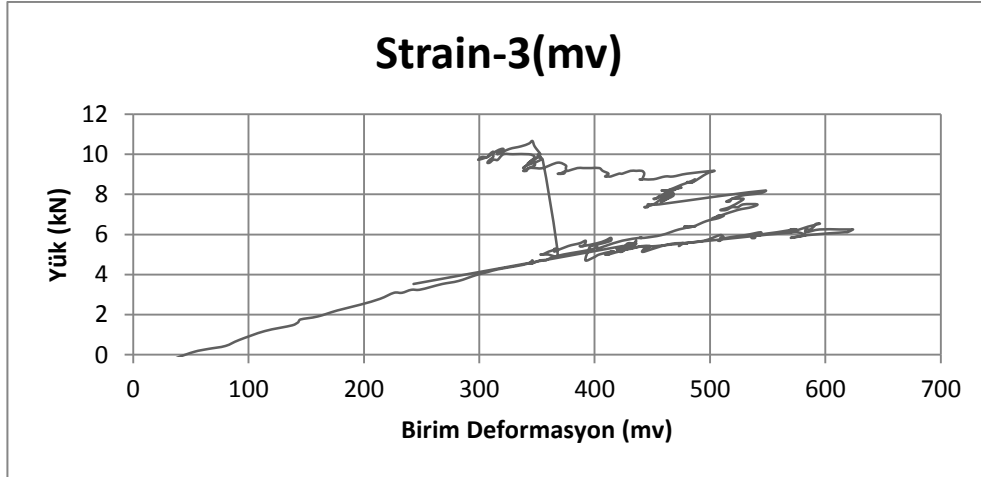
Şekil 4.55. 11 Numaralı deney elemanın birim deformasyon ölçer şekli



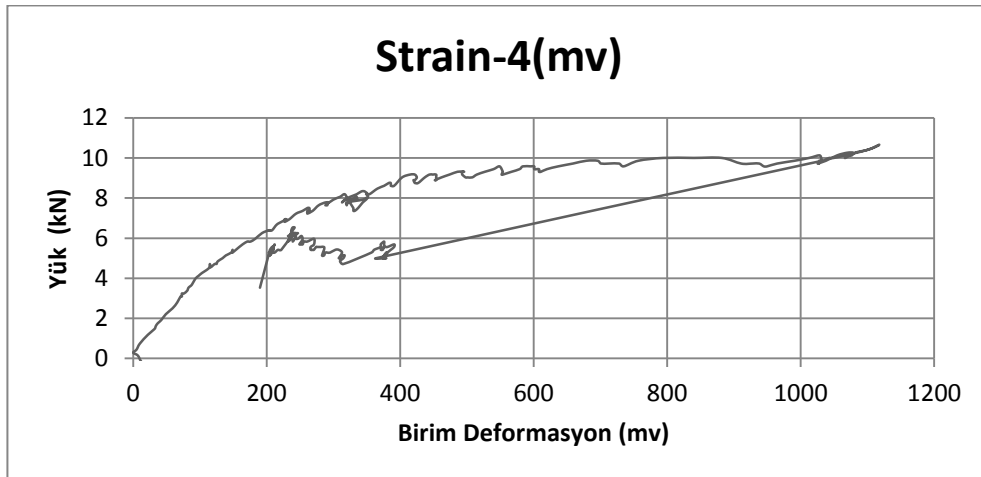
Şekil 4.56. 1 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



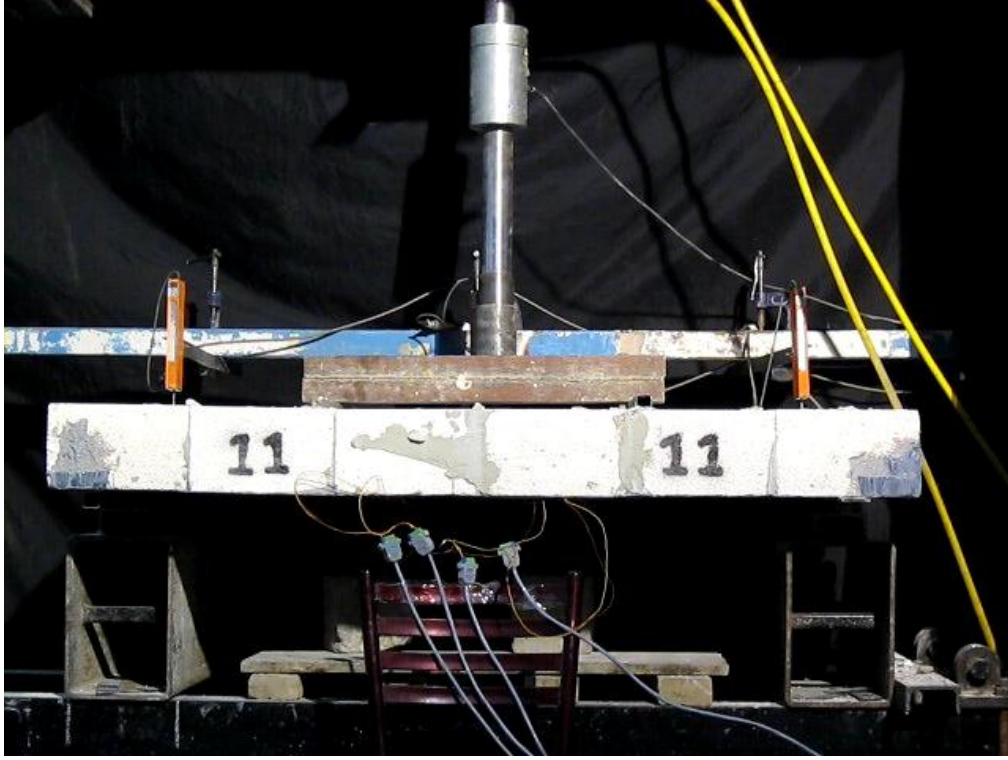
Şekil 4.57. 2 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



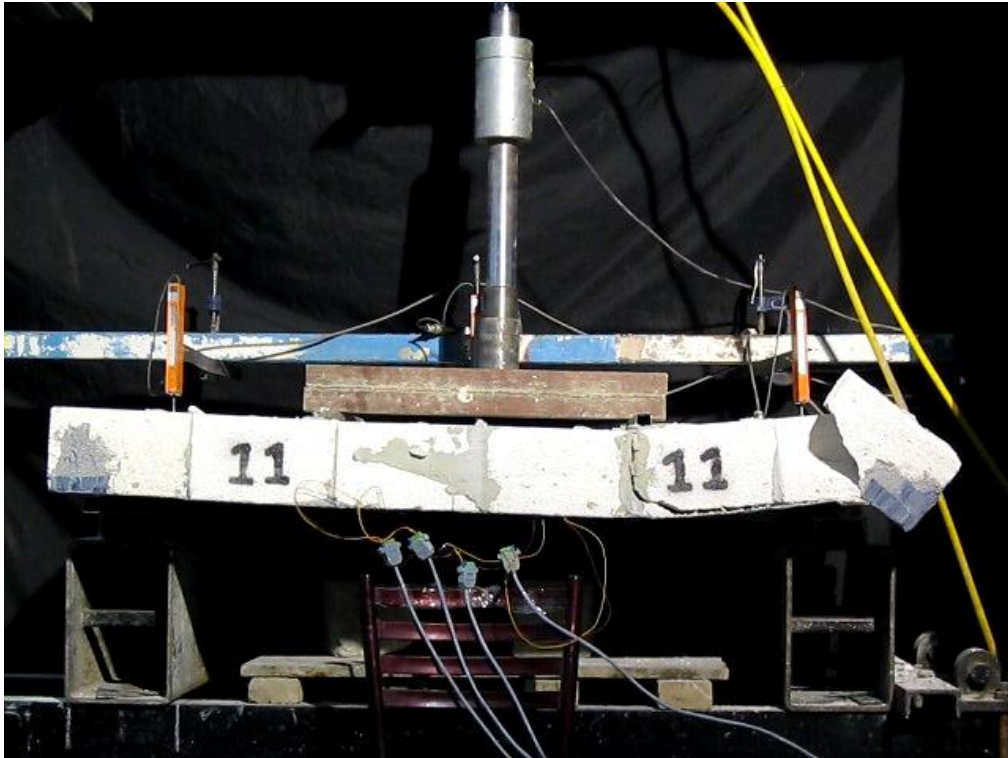
Şekil 4.58. 3 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Şekil 4.59. 4 numaralı birim deformasyon ölçerin yüke bağlı grafiği



Resim 4.75. 11 numaralı deney elemanının deney öncesi resmi



Resim 4.76. 11 numaralı deney elemanının deforme olmuş hali



Resim 4.77. 11 numaralı deney elemanı



Resim 4.78. 1. ve 2. Sıra bloklarda oluşan kesme kırılması



Resim 4.79. Yüzeyden ayrılan CFRP şeritler



Resim 4.80. Açılan derz üzerinden ayrılan şeritler

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.

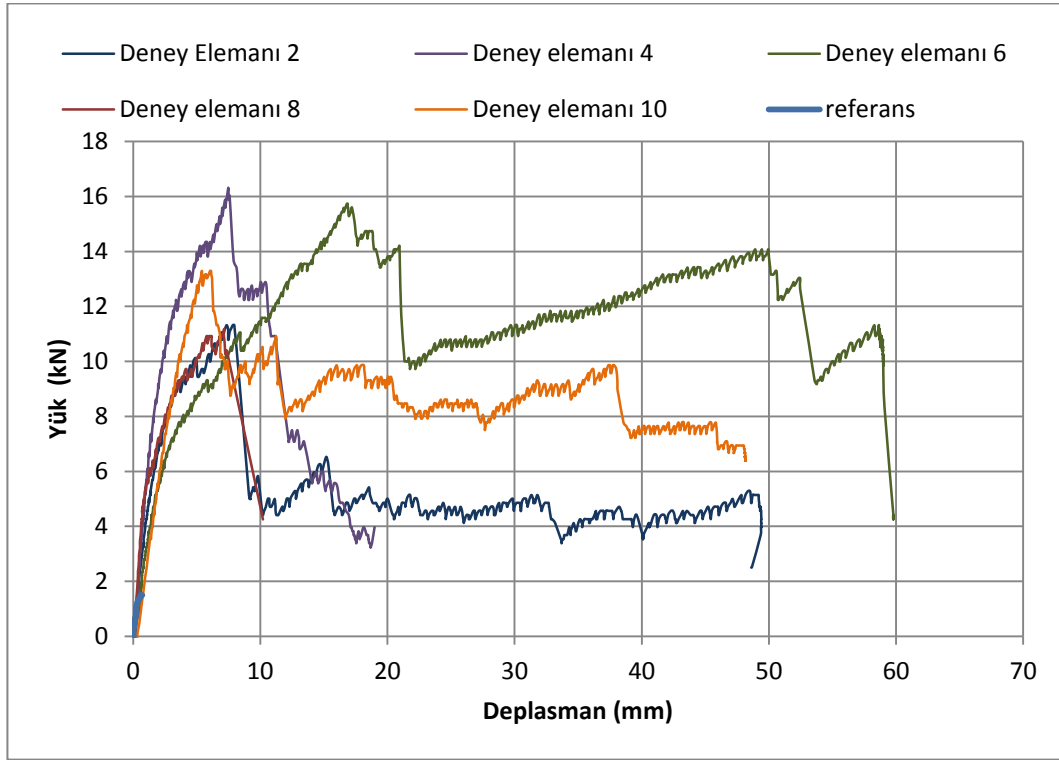
Çizelge 5.1. Referans elemanına göre dayanım oranları

		Rijitliğin değiştiği ilk nokta	En fazla yük	Göçme	Oran En fazla kuvvet	Oran deplasman
1	Yük (kN)	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00
	Deplasman (mm)	0.72	0.72	0.72		
2	Yük (kN)	4.41	11.32	9.62	7.57	6.43
	Deplasman (mm)	1.12	7.96	8.40		
3	Yük (kN)	6.11	8.61	7.32	5.76	4.89
	Deplasman (mm)	5.95	9.38	11.30		
4	Yük (kN)	6.11	16.32	13.87	10.91	9.27
	Deplasman (mm)	1.18	7.49	7.90		
5	Yük (kN)	7.92	17.50	14.88	11.70	9.94
	Deplasman (mm)	2.89	10.25	14.23		
6	Yük (kN)	6.25	15.74	13.38	10.52	8.94
	Deplasman (mm)	2.45	16.88	20.97		
7	Yük (kN)	4.26	8.33	7.08	5.57	4.73
	Deplasman (mm)	1.80	5.36	5.58		
8	Yük (kN)	5.00	11.18	9.50	7.47	6.35
	Deplasman (mm)	0.84	7.16	7.37		
9	Yük (kN)	4.26	11.71	9.95	7.83	6.65
	Deplasman (mm)	0.82	8.31	9.23		
10	Yük (kN)	8.06	13.29	11.30	8.88	7.55
	Deplasman (mm)	2.79	6.13	6.66		
11	Yük (kN)	6.25	10.66	9.06	7.13	6.06
	Deplasman (mm)	1.61	8.50	8.58		

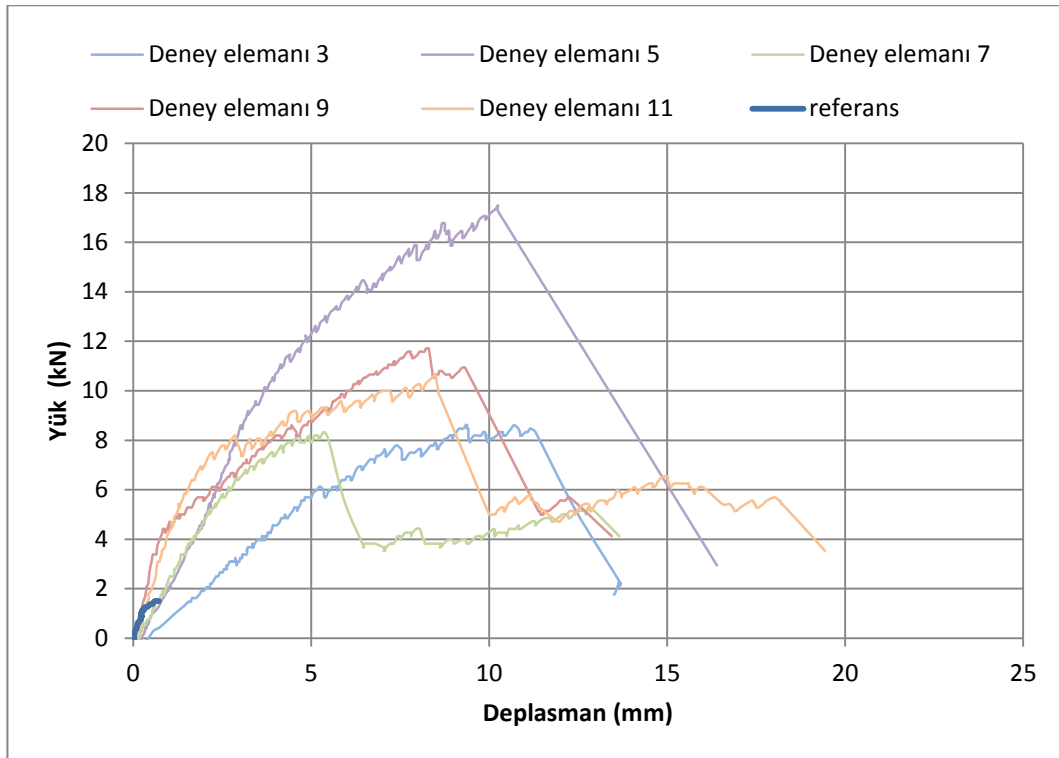
Deney elemanlarının dayanım artışları incelendiğinde hem ankrajsız hem de ankrajlı olarak güçlendirilen deney elemanlarında önemli oranlarda dayanım artışı sağlandığı görülmektedir. Ankrajlı deney elemanlarında güçlendirilmemiş referans elemanına göre ortalama 13,6 kat ankrajsız deney elemanlarında ise 12,47 kat dayanım artışı sağlanmıştır. Toplamda ise ortalama 12,47 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 100 mm genişliğindeki şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarının dayanım olarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Daha kalın olan şeritlerden ziyade kesme bölgesine yerleştirilen şeritler ve ankrajların daha ziyade etki ettikleri görülmüştür.

5.1. Deney Elemanlarının Davranışı

Genel olarak incelendiğinde CFRP şeritler ile güçlendirme yönteminin gaz beton 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 Şekil 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.

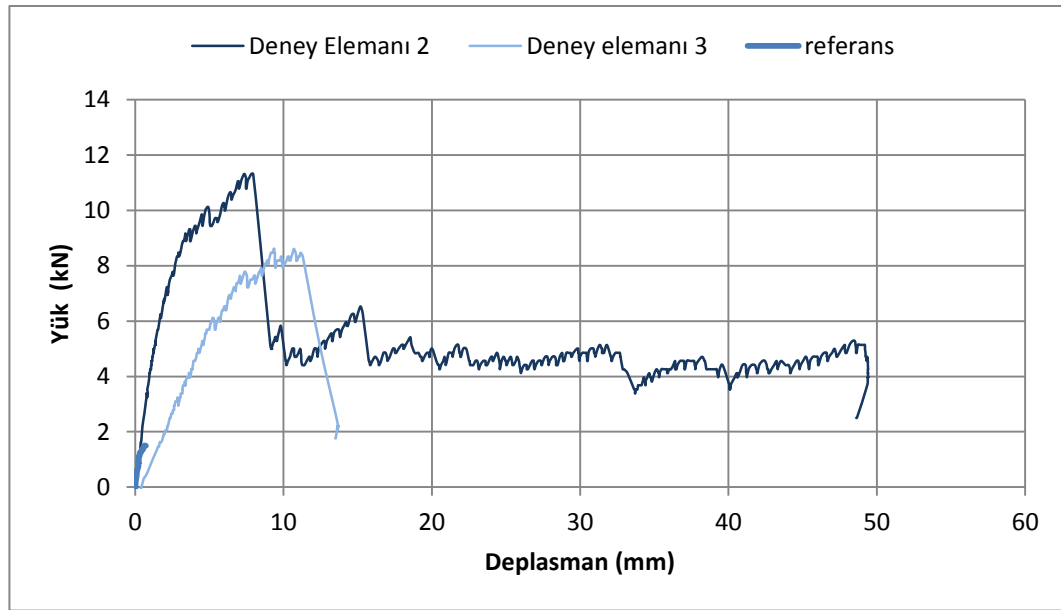


Şekil 5.1. Ankrajlı elemanlar ve referans



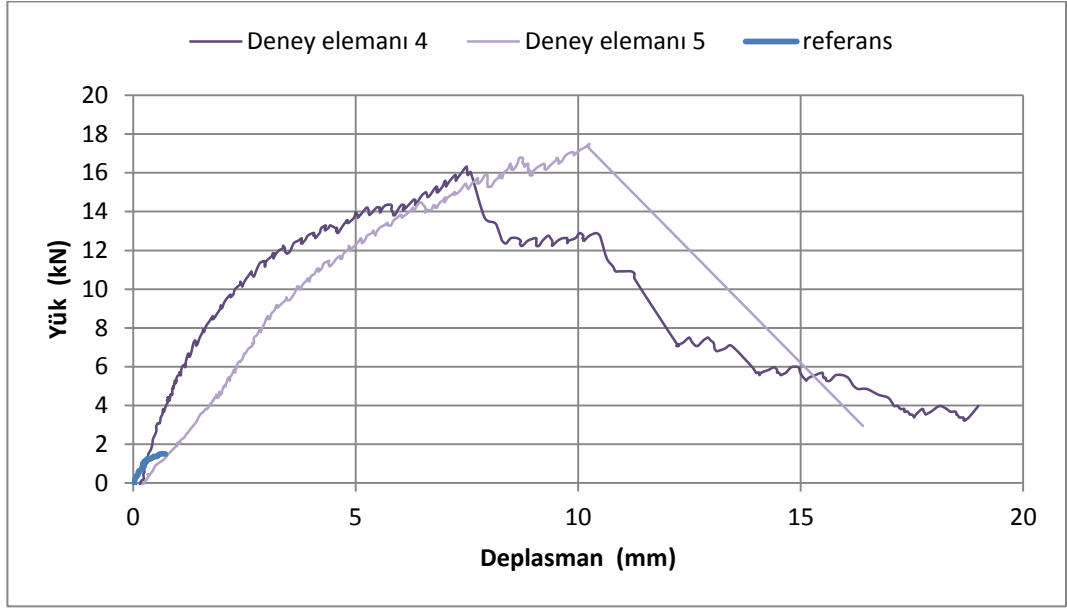
Şekil 5.2. Ankrajsız elemanlar ve referans

Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde de görüldüğü gibi referans elemanına göre her iki elemanda hem yük kapasitesi hem de yapılan deformasyon açısından büyük oranlarda artış sağlanmıştır. Ana diyagonale 150 mm genişliğinde yapıştırılan CFRP şeritlerden ankrajlı olan deney elemanı-4 daha sünek ve daha rijit bir davranış sergilemiştir.



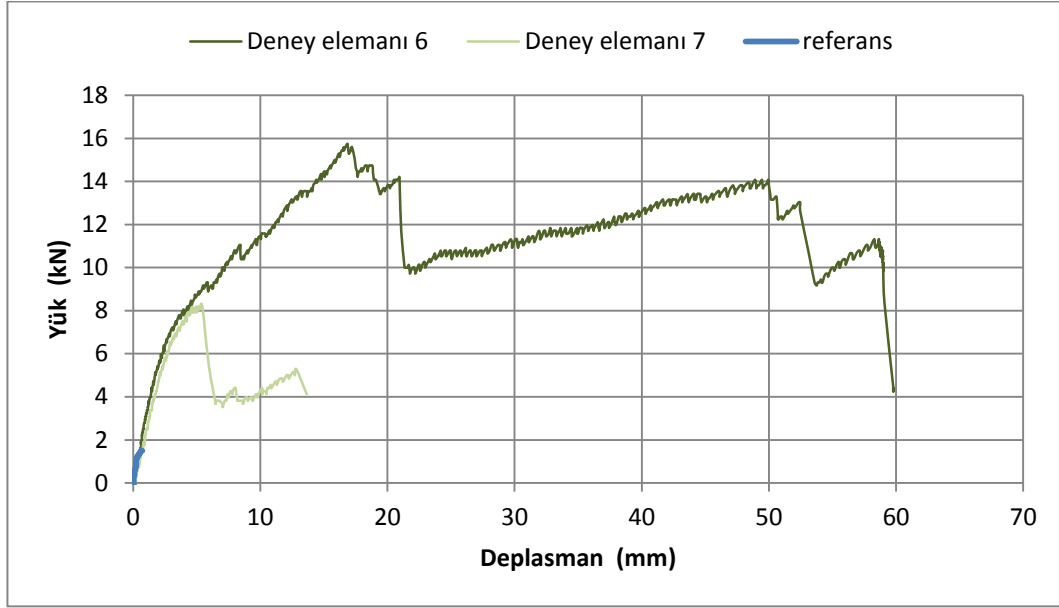
Şekil 5.3. Deney elemanı 2 ve 3 ün karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiğinde ankrajlı ve ankrajsız olan bütün elemanların kendi aralarındaki en başarılı deneyleri gözlenebilir. Dikey ve yatay olarak yerleştirilen 100 mm' lik 3 er adet CFRP şerit konuşlandırılmıştır. Ankrajlı ve ankrajsız deney elemanlarının her ikisi de referans elemanına göre yaklaşık 10 kat daha fazla yük taşıdıkları görülmektedir. Ayrıca kullanılan 9 adet fan ankrajın sünekliğe neredeyse yarı yarıya katkı sağladığı görülebilir.



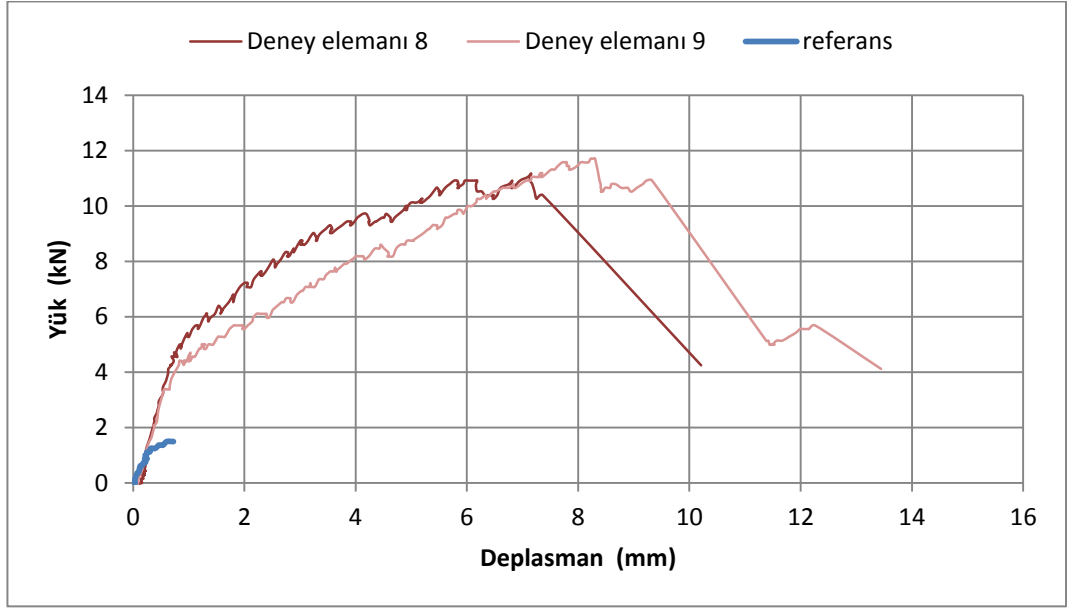
Şekil 5.4. Deney elemanı 4 ve 5 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

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 elemanda 10 ve ankrajsız deney elemanında 6 kat referans elemanına göre 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. Ayrıca kesme bölgesinde barındırdığı 5 ankrajla sünekliğin maksimuma erişmesi ankrajların kesme açıklığında sıklaştırılması sonucunu getirmektedir.



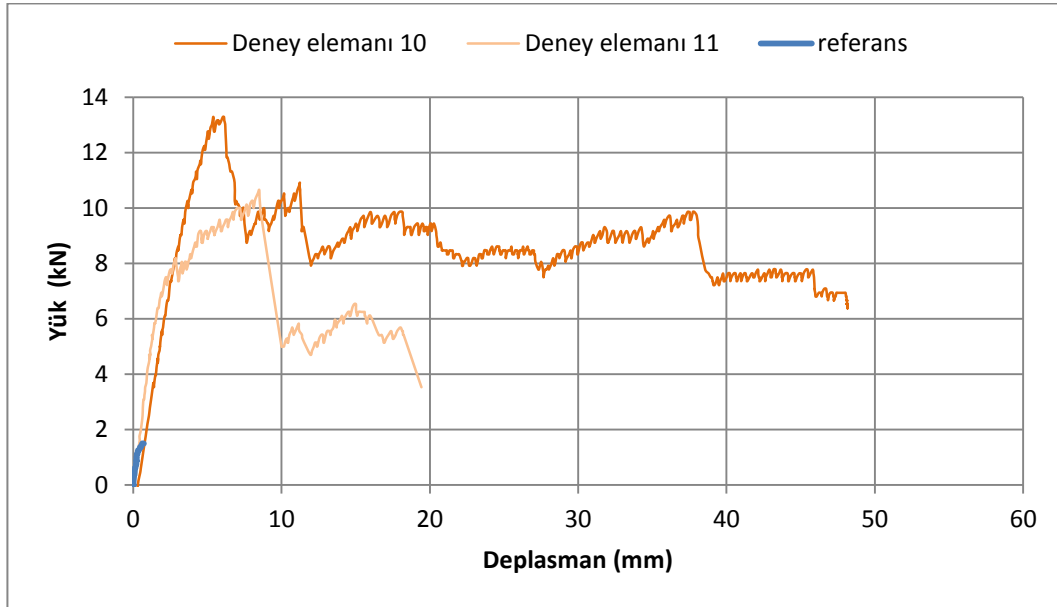
Şekil 5.5. Deney elemanı 6 ve 7 in karşılaştırılmalı yük deplasman grafiği

Şekil 5.6. Deney 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 (deney elemanı 8) daha sünek olmasa da rijitliğini daha uzun süre muhafaza ettiği ve aynı yük düzeyinde daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Numuneler aynı rijitlik değerine sahiptir. Deney elemanı 8 in taşıdığı yük 9 numaralı elemene yetişemese de ankrajların enerji tüketimine yaptığı olumlu etkileri yük-deplasman grafiğinde görülebilir.



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 100 mm'lik 2 adet CFRP şeritleri dik kesen aynı kalınlıkta 2 şerit ve çapraz olarak 2 şeridin daha bu şeritleri desteklemesiyle oluşturulan elemanın ankrajlı olanında toplam 9 adet ankraj vardır. Referans elemanına göre ankrajlı 9 ve ankrajsız ise yaklaşık olarak 6 kat daha fazla yük taşıdığı görülmektedir.



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

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 yüksek oldukları gözlenebilir. Ancak ankrajlı deney elemanlarının daha yüksek yük düzeylerine çok daha fazla deplasman yaparak ulaşmaları ve ankrajların gaz beton dolgu duvarın deformasyon yapabilme yeteneğini olumlu etkilemesinin rijitlik değerlerinden bir şey kaybetmeden yapabilmeleri ankraj uygulamasının ne kadar başarılı olduğunu göstermektedir. 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

		Rijitliğin değiştiği ilk nokta	En fazla yük	Göçme	Rijitlik (kN/mm)	Rijitlik oranı
1	Yük (kN)	1.50	1.50	1.50	2.07	1.00
	Deplasman (mm)	0.72	0.72	0.72		
2	Yük (kN)	4.41	11.32	9.62	3.96	1.91
	Deplasman (mm)	1.12	7.96	8.40		
3	Yük (kN)	6.11	8.61	7.32	1.03	0.50
	Deplasman (mm)	5.95	9.38	11.30		
4	Yük (kN)	6.11	16.32	13.87	5.18	2.51
	Deplasman (mm)	1.18	7.49	7.90		
5	Yük (kN)	7.92	17.50	14.88	2.75	1.33
	Deplasman (mm)	2.89	10.25	14.23		
6	Yük (kN)	6.25	15.74	13.38	2.55	1.23
	Deplasman (mm)	2.45	16.88	20.97		
7	Yük (kN)	4.26	8.33	7.08	2.37	1.15
	Deplasman (mm)	1.80	5.36	5.58		
8	Yük (kN)	5.00	11.18	9.50	5.99	2.90
	Deplasman (mm)	0.84	7.16	7.37		
9	Yük (kN)	4.26	11.71	9.95	5.20	2.51
	Deplasman (mm)	0.82	8.31	9.23		
10	Yük (kN)	8.06	13.29	11.30	2.89	1.40
	Deplasman (mm)	2.79	6.13	6.66		
11	Yük (kN)	6.25	10.66	9.06	3.89	1.88
	Deplasman (mm)	1.61	8.50	8.58		

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'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Süneklik oranı çizelgesi

		Rijitliğin değiştiği ilk nokta	En fazla yük	Göçme	Süneklik
1	Yük (kN)	1.50	1.50	1.50	1.00
	Deplasman (mm)	0.72	0.72	0.72	
2	Yük (kN)	4.41	11.32	9.62	7,53
	Deplasman (mm)	1.12	7.96	8.40	
3	Yük (kN)	6.11	8.61	7.32	1.90
	Deplasman (mm)	5.95	9.38	11.30	
4	Yük (kN)	6.11	16.32	13.87	6.69
	Deplasman (mm)	1.18	7.49	7.90	
5	Yük (kN)	7.92	17.50	14.88	4.93
	Deplasman (mm)	2.89	10.25	14.23	
6	Yük (kN)	6.25	15.74	13.38	8.56
	Deplasman (mm)	2.45	16.88	20.97	
7	Yük (kN)	4.26	8.33	7.08	3.10
	Deplasman (mm)	1.80	5.36	5.58	
8	Yük (kN)	5.00	11.18	9.50	8.83
	Deplasman (mm)	0.84	7.16	7.37	
9	Yük (kN)	4.26	11.71	9.95	11.26
	Deplasman (mm)	0.82	8.31	9.23	
10	Yük (kN)	8.06	13.29	11.30	2.39
	Deplasman (mm)	2.79	6.13	6.66	
11	Yük (kN)	6.25	10.66	9.06	5.34
	Deplasman (mm)	1.61	8.50	8.58	

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 gaz beton 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 da verilmiştir. Çizelge 5.4'te verilen değerler incelendiğinde uygulanan güçlendirme yönteminin enerji tüketim kapasitesi üzerinde çok olumlu etkileri olduğu ve önemli oranda artırdığı görülmektedir. CFRP ankrajların 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 5'dir.

Çizelge 5.4. Tüketilen enerji

		Rijitliğin değiştirdiği ilk nokta	En fazla yük	Göçme	Enerji tüketim kapasitesi (kN*mm)	Enerji tüketim kapasite oranı
1	Yük (kN)	1.50	1.50	1.50	0.88	1.00
	Deplasman (mm)	0.72	0.72	0.72		
2	Yük (kN)	4.41	11.32	9.62	78.40	88.96
	Deplasman (mm)	1.12	7.96	8.40		
3	Yük (kN)	6.11	8.61	7.32	71.94	81.62
	Deplasman (mm)	5.95	9.38	11.30		
4	Yük (kN)	6.11	16.32	13.87	100.42	113.94
	Deplasman (mm)	1.18	7.49	7.90		
5	Yük (kN)	7.92	17.50	14.88	121.30	137.63
	Deplasman (mm)	2.89	10.25	14.23		
6	Yük (kN)	6.25	15.74	13.38	241.13	273.61
	Deplasman (mm)	2.45	16.88	20.97		
7	Yük (kN)	4.26	8.33	7.08	35.86	40.69
	Deplasman (mm)	1.80	5.36	5.58		
8	Yük (kN)	5.00	11.18	9.50	72.24	81.97
	Deplasman (mm)	0.84	7.16	7.37		
9	Yük (kN)	4.26	11.71	9.95	79.54	90.26
	Deplasman (mm)	0.82	8.31	9.23		
10	Yük (kN)	8.06	13.29	11.30	29.00	32.91
	Deplasman (mm)	2.79	6.13	6.66		
11	Yük (kN)	6.25	10.66	9.06	72.21	81.93
	Deplasman (mm)	1.61	8.50	8.58		

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yürütülen tez çalışması kapsamında yapılarda taşıyıcı olmayan bölme duvarı olarak kullanılan gaz beton 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 gaz beton dolgu duvarı üzerine yapıştırma şekli ve CFRP ankraj kullanılıp kullanılmamasıdır. Düzenlenen deneysel çalışma kapsamında biri referans olmak üzere toplam on bir adet deney elemanı gaz beton 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 gaz beton dolgu duvarların düzlem dışı davranışını önemli oranlarda iyileştirdiği ve kullanılabilecek 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 gaz beton dolgu duvarların düzlem dışı davranışını kısa sürede, yapı sahiplerini rahatsız etmeden kolay bir

şekilde iyileştirecek bir yöntem olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

- Uygulanan güçlendirme yönteminin gaz beton dolgu duvarlarının düzlem dışı yatay kuvvetlere karşı dayanımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. CFRP ankrajların kullanıldığı seride dayanım artışı 13,57 kat, ankrajsız seride ise 11,16 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 5 dayanım yönünden en başarılı sonuç sergileyen deney elemanlarıdır.
- Uygulanan güçlendirme yöntemi genel olarak süneklik yönünden çok olumlu sonuçlar vermiştir. Süneklikten bahsedilmesi mümkün olmayan son derece gevrek ve aniden kırılma sergileyen gaz beton 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 273 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 gaz beton dolgu duvarının yüzeyinden ayrılmamış ve deney elemanlarının bütünlüklerini korumuştur.

Yığma dolgu duvarların kapasitelerini ve taşıdıkları yükleri artırmak adına her tür yığma yapının veya bölmenin yüzeyine uygulanması önerilir. Özellikle toplu yaşama alanları cami, okul hastane vb. gibi kat yüksekliğini fazla olduğu yapılarda kullanılması daha da uygun olacaktır. Yöntemin yığma yapı elemanlarına kolay uygulanabilirlik, fazladan yük getirmemek gibi avantajları uygulanabilirliğini artırmaktadır. Yöntemin rijit çerçeve içlerinde bulunan yığma yapı elemanlarına uygulanması durumunda duvar kenarlarından CFRP şeritlerin çerçeve elemanlarına mesnetlenerek yapıştırılması daha uygun sonuçlar verecektir.

Çalışmanın geliştirilmesi açısından düzlem dışı davranışı da daha iyi inceleyebilmek adına aynı deney silsilesi rijit bir çerçeve içinde yapılırsa gerçeğe daha yakın ve uygulamaya nazarla daha iyi sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

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 : TATAYOĞLU, Muhammed
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara, 17.02.1985
Telefon : 0 (312) 436 25
Elektronik Posta : muhtatayoglu@gmail.com

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Yılı
Lisans	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2009
Orta Öğrenim	Seyranbağları Lisesi	2003

Yıl	Kurumu	Görevi
2009-...	MET Proje Müh. Müş. Ltd. Şti.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça