
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

CFRP FAN TİPİ ANKRAJLI ŞERİTLERİN ÇARPIŞMA YÜKÜ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ayfer KARAALP

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2019

AYFER KARAALP tarafından hazırlanan "CFRP FAN TİPİ ANKRAJLI ŞERİTLERİN ÇARPIŞMA YÜKÜ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Başkan:

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

Üye:

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……...

TezSavunmaTarihi: 23/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

…….……

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ayfer KARAALP

23/05/2019

CFRP FAN TİPİ ANKRAJLI ŞERİTLERİN ÇARPIŞMA YÜKÜ ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ayfer KARAALP

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2019

ÖZET

Betonarme yapı sistemleri incelendiğinde kolon, kiriş ve döşemeden oluşan3 ana temel taşıyıcı sisteme sahip oldukları görülür. Bu elemanlar çeşitli nedenlerden dolayı statik ve dinamik yüklemelere maruz kalabilirler. Ani dinamik yüklemelerde bunlardan biridir ve taşıyıcı sistem elemanlarına hasar verebilir. Yaygın olarak günlük hayatımızda karayolu veya denizyolu için yapılan köprülerin ayaklarına araçların çarpması sonucu ortaya çıkan ani çarpma etkileri, patlamalar etkisiyle ortaya çıkan hava şoku profilleri örnek olarak verilebilir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu önemli mühendislik probleminin bir çok açıdan çeşitli yöntemlerle incelendiği görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, kirişlerin etkisi altında kaldıkları ani çarpışma yüklemesinin modellenebilmesi için yaygın olarak serbest ağırlık düşürme test düzeneği seçildiği görülür. Deneysel çalışmamızda da bu düzenekle modelleme yapılıp, betonarme deney elemanlarımız olarak seçilen kirişlere ani çarpışma yüklemesi uygulanmıştır. Çalışmamızda kesitleri dikdörtgen olan toplam 15 adet kiriş incelenmiştir. Güçlendirme sonucu ortaya çıkan verilerin gözlendiği deneylerde seçilen ana değişkenler; CFRP şeritlerin yapıştırma boyu, ankraj kullanılıp kullanılmaması, ankraj türü ve ankraj sayısıdır. Kirişlere çarpışma yüklemesinin uygulanması için 9 kg ağırlığındaki çekiç 750 mm yükseklikten düşürülmüştür. Deneysel çalışma sırasında kiriş üzerinden, orta noktasından ve çekiç üzerinden deneysel veriler kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ise dinamik bir veri toplama sistemi aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır ve sonra düzenlenip yorumlanmıştır. Deney sırasında kirişlerin değişkenlere göre davranışları, ivme-zaman ve deplasman-zaman grafikleri incelenmiş ve bunlara bağlı olarak yük-deplasman grafikleri çizilerek çarpışma sonrası deney elemanları tarafından yutulan çarpışma enerjileri hesaplanıp yorumlanmıştır. Deneysel çalışma sonucunda CFRP ile güçlendirilmiş kirişler fan tipi, mekanik veya ankrajsız uygulamalar sonucu ani dinamik çarpışma etkisi altında incelenmiş ve bu konuda önemli deneysel bulgulara ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91128

Anahtar Kelimeler : Ankraj, CFRP şerit, çarpışma, betonarme kiriş, dinamik etki, deplasman

Sayfa Adedi : 123

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF CFRP FAN TYPE ANCRAUS STRIPS IN THE EFFECT OF CRIME LOAD

(M. Sc. Thesis)

Ayfer KARAALP

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2019

ABSTRACT

When the reinforced concrete building systems are examined, it is seen that they have 3 main basic carrier systems consisting of columns, beams and slabs. These elements can be exposed to static and dynamic loading for a variety of reasons. Sudden dynamic loadings are also one of them and can damage carrier system components. As a result of the collision of vehicles on the bridges of the highway and sea, which are widely used in our daily life, the air shock profiles that emerge as a result of the explosions can be given as examples. When the studies done in the literature are examined, it is seen that this important engineering problem is examined in many ways with various methods. In the experimental studies, it is seen that the free weight reduction test device is widely used in order to model the sudden collision load under the influence of the beams. In this experimental study, modeling was carried out with this mechanism and a sudden collision load was applied to the beams selected as reinforced concrete test elements. In our study, a total of 15 beams with rectangular sections were examined. The main variables selected in the experiments in which the data obtained from the strengthening were observed; bonding length of the CFRP strips, the use of anchors, anchorage type and the number of anchors. The hammer weighing 9 kg was reduced from a height of 750 mm in order to apply the collision load to the beams. During the experimental study, experimental data were recorded through the beam, midpoint and hammer. The data was transferred to the computer by means of a dynamic data collection system and then it was edited and interpreted. During the experiment, the behaviors of the beams according to variables, acceleration-time and displacement-time graphs were examined and load-displacement graphs were drawn according to these and the collision energies that were swallowed by the experimental elements were calculated and interpreted. As a result of experimental study, CFRP reinforced beams were examined under the effect of sudden dynamic collision as a result of fan type, mechanical or non-anchored applications and significant experimental findings were reached.

Science Code : 91128

Key Words : Reinforced concrete column, impact behavior, vehicle impact, explosion

Page Number : 123

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Teşekkürlerime öncelikle bana mesleğimi daha da sevmeme katkıda bulunan ve mesleğe, hayata, insanlara yaklaşımıyla herkese örnek olan, bilgisini ve deneyimlerini her zaman cömertçe paylaşan ve her zaman öğrencilerinin yanında olan değerli hocam Prof. Dr. Özgür ANIL ile başlamak istiyorum. Bana tez çalışmam süresince ve eminim ki ne zaman ihtiyacım olsa her an zaman ayırdığı ve ayıracağını bildiğim için katkılarından dolayı teşekkür ederim. Başta annem ve kardeşim olmak üzere tüm aileme desteklerinden dolayı müteşekkirim. Burada ismini sayamadığım ve bu zamana kadar yanımda olan Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü ve Gazi üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmakta olan değerli hocalarıma da ayrı ayrı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT……. v

TEŞEKKÜR..... vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR…… xviii

1. GİRİŞ……..... 1

2. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM ARAÇLARI..... 19

2.1. Deney Düzeneği 19

2.1.1. İvmeölçerler 21

2.1.2. Veri toplayıcısı 22

2.1.3. Fotoseller..... 23

2.1.4. Düşük gürültülü koaksiyal kablo 24

2.1.5. Doğrusal değişkenli fark transformatörler (LVDT)..... 24

3. DENEYSEL ÇALIŞMA..... 26

3.1. Deney Elemanı Hazırlanırken Kullanılan Malzemeler 28

3.2. Deney Düzeneği ve Hazırlanması 33

4. DENEYLERİN YAPILMASI 37

4.1. REF_0_120 İsimli Deney Elemanı 37

4.2. FAN_1_120 İsimli Deney Elemanı..... 43

4.3. FAN_2_120 İsimli Deney Elemanı..... 48

Sayfa

4.4. REF_0_180 İsimli Deney Elemanı 53

4.5. FAN_1_180 İsimli Deney Elemanı..... 58

4.6. FAN_2_180 İsimli Deney Elemanı..... 63

4.7. REF_0_240 İsimli Deney Elemanı 69

4.8. FAN_1_240 İsimli Deney Elemanı..... 74

4.9. FAN_2_240 İsimli Deney Elemanı..... 79

4.10. MEC_1_120 İsimli Deney Elemanı 84

4.11. MEC_1_180 İsimli Deney Elemanı 90

4.12.MEC_1_240 İsimli Deney Elemanı……. 95

4.13. MEC_2_120 İsimli Deney Elemanı……..... 100

4.14. MEC_2_180 İsimli Deney Elemanı……...…….. 105

4.15. MEC_2_240 İsimli Deney Elemanı……..... 110

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ……..... 115

6. SONUÇLAR……..... 119

KAYNAKLAR……..... 121

ÖZGEÇMİŞ……..... 123

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1.1. Deney elemanlarının özellikleri 5

Çizelge 3.1. CFRP'nin özellikleri 31

Çizelge 3.2. Epoksinin özellikleri 31

Çizelge 3.3. Kullanılan Strain Gauge sayısı 33

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının isimlendirilmesi ve özellikleri 37

Çizelge 4.2. Deney elemanının sayısal sonuçları 39

Çizelge 4.3. Deney elemanının sayısal sonuçları 44

Çizelge 4.4. Deney elemanının sayısal sonuçları 49

Çizelge 4.5. Deney elemanının sayısal sonuçları 54

Çizelge 4.6. Deney elemanının sayısal sonuçları 60

Çizelge 4.7. Deney elemanının sayısal sonuçları 65

Çizelge 4.8. Deney elemanının sayısal sonuçları 70

Çizelge 4.9. Deney elemanının sayısal sonuçları 76

Çizelge 4.10. Deney elemanının sayısal sonuçları 81

Çizelge 4.11. Deney elemanının sayısal sonuçları 86

Çizelge 4.12. Deney elemanının sayısal sonuçları 91

Çizelge 4.13. Deney elemanının sayısal sonuçları 96

Çizelge 4.14. Deney elemanının sayısal sonuçları 101

Çizelge 4.15. Deney elemanının sayısal sonuçları 106

Çizelge 4.16. Deney elemanının sayısal sonuçları 111

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Patlayıcıların yapı üzerinde oluşturduğu etkiler 4

Şekil 1.2. Basitleştirilmiş test kurulumu 7

Şekil 1.3. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla yapılan çalışma 8

Şekil 1.4. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyon sonucu çatlak oluşumu 9

Şekil 1.5. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla yapılan çalışma sonucu çatlak oluşumu..... 10

Şekil 1.6. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla ve deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılması 10

Şekil 1.7. FE modeli darbe testi kurulum 11

Şekil 1.8. Darbe etkisi altındaki kirişin deneysel ve modelleme sonucu görünüşü..... 11

Şekil 1.9. Statik analiz sonucu kirişteki deformasyon görünüşü 12

Şekil 1.10. Deney numunesinin ayrıntıları ve gerinim ölçerlerin düzeni (birim: mm): (a) numunenin ayrıntıları; (b) gerinim ölçer konumları..... 16

Şekil 1.11. Darbe kuvveti zaman tarihçesi..... 18

Şekil 2.1. Ağırlık düşürücü deney düzeneği 19

Şekil 2.2. İvmeölçerin yapısı 21

Şekil.3.1. Mekanik ankraj detayı 32

Şekil.3.2. Deney elemanının özellikleri..... 34

Şekil 3.3. Deney elemanlarına uygulanan ankrajlama yöntemi örneği (Tek Ankraj) 36

Şekil 3.4. Deney elemanlarına uygulanan ankrajlama yöntemi örneği (Çift Ankraj) 37

Şekil 4.1. İvme zaman değişimleri..... 40

Şekil 4.2. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği..... 40

Şekil 4.3. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 41

Şekil 4.4. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği..... 41

Şekil **Sayfa**

Şekil.4.5. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 42

Şekil 4.6. Yük-deplasman grafiği 42

Şekil 4.7. İvme zaman değişimleri 45

Şekil 4.8. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 45

Şekil 4.9. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 46

Şekil 4.10. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 46

Şekil 4.11. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 47

Şekil 4.12.Yük-deplasman grafiği 47

Şekil 4.13. İvme zaman değişimleri 50

Şekil 4.14. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 50

Şekil 4.15. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 51

Şekil 4.16. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 51

Şekil 4.17. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 52

Şekil 4.18.Yük-deplasman grafiği 52

Şekil 4.19. İvme zaman değişimleri 55

Şekil 4.20.Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 55

Şekil 4.21. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 56

Şekil 4.22. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 56

Şekil 4.23. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 57

Şekil 4.24. Yük-deplasman grafiği 57

Şekil 4.25. İvme zaman değişimleri 60

Şekil 4.26. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 61

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.28. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 62

Şekil 4.29. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 62

Şekil 4.30. Yük-deplasman grafiği 63

Şekil 4.31. İvme zaman değişimleri 66

Şekil 4.32. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 66

Şekil 4.33. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 67

Şekil 4.34. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 67

Şekil 4.35. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 68

Şekil 4.36. Yük-deplasman grafiği 68

Şekil 4.37. İvme zaman değişimleri 71

Şekil 4.38. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 71

Şekil 4.39. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 72

Şekil 4.40. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 72

Şekil 4.41. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 73

Şekil 4.42. Yük-deplasman grafiği 73

Şekil 4.43. İvme zaman değişimleri 76

Şekil 4.44. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği 77

Şekil 4.45. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 77

Şekil 4.46. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği 78

Şekil 4.47. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri 78

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.48. Yük-deplasman grafiği 79

Şekil 4.49. İvme zaman değişimleri..... 81

Şekil 4.50. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği..... 82

Şekil 4.51. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 82

Şekil 4.52. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği..... 83

Şekil 4.53. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri..... 83

Şekil 4.54. Yük-deplasman grafiği 84

Şekil 4.55. İvme zaman değişimleri..... 87

Şekil. 4.56. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği..... 87

Şekil. 4.57. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği 88

Şekil 4.58. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği..... 88

Şekil 4.59. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri..... 89

Şekil 4.60. Yük-deplasman grafiği 89

Şekil 4.61. İvme zaman değişimleri..... 92

Şekil 4.62. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği..... 92

Şekil 4.63. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği…… 93

Şekil 4.64. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği…….. 93

Şekil 4.65. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri…… 94

Şekil 4.66. Yük-deplasman grafiği……..…… 94

Şekil 4.67. İvme zaman değişimleri…… 97

Şekil 4.68. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği……. 97

Şekil 4.69. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği……..... 100

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.70. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği…… 98

Şekil 4.71. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri…….……..... 99

Şekil 4.72. Yük-deplasman grafiği…… 99

Şekil 4.73. İvme zaman değişimleri…….. 102

Şekil 4.74. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği……... 102

Şekil 4.75. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği…….. 103

Şekil 4.76. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği…..... 103

Şekil 4.77. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri…….. 104

Şekil 4.78. Yük-deplasman grafiği……... 104

Şekil 4.79. İvme zaman değişimleri…….. 107

Şekil 4.80. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği……..... 107

Şekil 4.81. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği…….. 108

Şekil 4.82. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği…….. 108

Şekil 4.83. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri……... 109

Şekil 4.84. Yük-deplasman grafiği…… 109

Şekil 4.85. İvme zaman değişimleri…….. 111

Şekil 4.86. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği……... 112

Şekil 4.87. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği…….. 112

Şekil 4.88. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği…….. 113

Şekil 4.89. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri……... 113

Şekil 4.90. Yük-deplasman grafiği…… 114

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 1.1. Araç çarpması etkisi altındaki kolon 7

Resim 1.2. a) Çelik fibe r- b) Polipropilen fiber..... 8

Resim 1.3. Betonarme bariyerler 13

Resim 1.4. Betonarme bariyerlerin test sonrası durumu 13

Resim 1.5. Normal betonarme bariyerlerin test sonrası durumu..... 14

Resim 1.6. Fiber katkılı (CFRP) betonarme bariyerlerin test sonrası durumu 14

Resim 2.1. Deney düzeneğinde bulunan çekiç ve düzeneği 20

Resim 2.2. Deney düzeneğinin son hali 20

Resim 2.3. ICP Model 353B02 Piezoelektrik ivmeölçer 22

Resim 2.4. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı..... 22

Resim 2.5. Deneyde kullanılan fotoseller..... 23

Resim 2.6. 003A20 Model numaralı kablo..... 24

Resim 2.7. Deneyde kullanılan LVDT..... 25

Resim 3.1. Fan tipi ankraj detayı 32

Resim.3.2. Deney elemanının hazırlanışı 38

Resim.3.3. Deney elemanları 38

Resim.4.1. Bir nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 38

Resim.4.2. Deney elemanının son hali..... 38

Resim.4.3. Deney elemanının hasar görme mekanizması..... 39

Resim.4.4. İki nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali..... 43

Resim 4.5. Deney elemanının son hali..... 43

Resim 4.6. Deney elemanının hasar görme mekanizması..... 44

Resim **Sayfa**

Resim 4.7. Üç nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 48

Resim 4.8. Deney elemanının son hali 48

Resim 4.9. Deney elemanının hasar görme mekanizması 49

Resim 4.10. Dört nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 53

Resim 4.11. Deney elemanının son hali 53

Resim 4.12. Deney elemanının hasar görme mekanizması 54

Resim 4.13. Beş nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali..... 58

Resim 4.14. Deney elemanının son hali 58

Resim 4.15. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar..... 59

Resim 4.16. Deney elemanının hasar görme mekanizması 59

Resim 4.17. Altı nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 64

Resim 4.18. Deney elemanının son hali 64

Resim 4.19. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar..... 65

Resim 4.20. Deney elemanının hasar görme mekanizması 65

Resim 4.21. Yedi nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 69

Resim 4.22. Deney elemanının son hali 69

Resim 4.23. Deney elemanının hasar görme mekanizması 70

Resim 4.24. Sekiz nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 74

Resim 4.25. Deney elemanının son hali 74

Resim 4.26. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar..... 75

Resim 4.27. Deney elemanının hasar görme mekanizması 75

Resim 4.28. Dokuz nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali 79

Resim 4.29. Deney elemanının son hali 80

Resim **Sayfa**

Resim 4.30. Deney elemanının hasar görme mekanizması 80

Resim 4.31. On nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali..... 85

Resim 4.32. Deney elemanının son hali 85

Resim 4.33. Deney elemanının hasar görme mekanizması 86

Resim 4.34. Onbir nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali..... 90

Resim 4.35. Deney elemanının son hali 90

Resim 4.36. Deney elemanının hasar görme mekanizması 91

Resim 4.37. Oniki nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali…….. 95

Resim 4.38. Deney elemanının son hali……. 95

Resim 4.39. Deney elemanının hasar görme mekanizması……. 96

Resim 4.40. Onüç nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali……... 100

Resim 4.41. Deney elemanının son hali…… 100

Resim 4.42. Deney elemanının hasar görme mekanizması……. 101

Resim 4.43. Ondört nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali……. 105

Resim 4.44. Deney elemanının son hali…… 105

Resim 4.45. Deney elemanının hasar görme mekanizması……. 106

Resim 4.46. Onbeş nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali……. 110

Resim 4.47. Deney elemanının hasar görme mekanizması……. 110

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
kg	Kilogram
kN	Kilonewton
m	Metre
mm	Milimetre
m²	Metrekare
ms	Milisaniye
MPa	Megapaskal
s	Saniye
Φ	Fi

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CFRP	Karbon fiberle güçlendirilmiş polimer
FEA	Sonlu elemanlar analizi
FRC	Fiberle güçlendirilmiş beton
EFDC	Elastoplastik hasar
L	Boy
LVDT	Doğrusal değişkenli fark transformatör
PCF	Zirve kırma kuvveti
PÇ	Portland Çimentosu

1. GİRİŞ

Mühendislik bilimi toplumların gelişiminde temel yer tutan bir bilim dalıdır. Geçmişten günümüze hızla ilerleyen teknoloji ile birlikte mühendislikte alanındaki çalışmalarda hızla ilerlemiş ve günden güne değişen dünya teknoloji ve değişim çağına ayak uydurmuştur. Hayatımızı bu gelişim çağında her yeni gün kolaylaştıracak her yeni bilgi günden güne önem kazanmaktadır.

İnşaat mühendisliği, gelişen teknoloji çağında diğer mühendislik dallarına kıyasla değişimin ve gelişimin tam orta noktasında bulunmaktadır. İnşaat mühendisliği, malzeme ve tekniği en iyi şekilde bir araya getiren, yapıların plan, proje, yapım ve denetlenmesiyle uğraşan temel mühendislik dalıdır. İnşaat mühendisleri her türlü bina, baraj, havaalanı, köprü, yol, su kemerleri, liman, kanalizasyon, su şebekesi, tünel, demiryolu, hızlı tren projeleri, metro vb. hizmet ve endüstri yapılarının planlanması, projelendirilmesi, yapımı ve denetimi konuları ile ilgili eğitim ve araştırma yapar. Mühendisliğin anası olarak da kabul edilen inşaat mühendisliği askerî mühendislikten sonra gelen en eski temel mühendislik dalıdır ve İngilizce kelime anlamı ‘’civil engineering’’ ilk olarak 18.yy. da askerî olmayan mühendislik çalışmalarını askerî mühendislikten ayırabilmek için kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği kurucu mühendislik alanlarının başında gelir [1].

Mühendislik yapıları yapılırken temel yaklaşım sırası emniyet, ekonomiklik ve estetiktir. Yani en önemli kıstas güvenli bir yapı tasarlamak ve ortaya çıkarmaktır. Dolayısıyla yapım tasarım aşamasında malzeme cinsi, kalitesi, kullanım oranları; yapının projelendirilmesi, üretilmesi, bakımı; zaman zaman kontrollerinin yapılması gibi etmenler önem arz etmektedir. Emniyetli bir tasarımı ortaya çıkardıktan sonra diğer bir detay ise ekonomikliktir.

İnşaat mühendisliği yapılarına bakıldığında betonun malzemeler için çok önemli bir yeri olduğu görülür. Agrega ile bütünleşerek işlevsel hale gelir. Bağlayıcı olarak ise çimento ve suyun birleşiminden oluşan malzeme kullanılır. Kum ise aradaki boşlukları doldurarak tam bir bütünleşme sağlanır. Çakıl ve kırmataş malzemeler ise dış kuvvetlere karşı dayanımı sağlar.

Beton kullanım alanlarına bakıldığında en yaygın kullanılan malzemedir. Barajlarda, kanallarda, köprülerde, binalarda ve bununlar gibi diğer alanlarda yaygın olarak kullanılır. Statik olarak önemine bakıldığında dayanım sağlayan, taşıyıcılığı olan ve dekoratif de olan bir malzemedir. Betonun içinde bulunan taşlar basınç gerilmesini alırlar. Çelik ile kullanıldığında ise çekme gerilmesini almaktadır. Genellikle yapılan uygulamalara bakıldığında çelik ile kullanılır.

Betonarme 1850'li yıllarda ortaya çıkmaya başlamıştır. Hollandalı Modernist mimar, Hendrik Petrus BERLAGE, 150 yıllık geçmişi bulanan bu malzemeyi 1922 yılında şöyle tanımlıyor: "Betonarme, malzeme alanında demirden sonraki önemli, belki de en önemli, olan buluştur" BERLAGE neden hayrandır betonarmeye? Biliyoruz: Çeliğin zayıf tarafını (yangına ve rutubete dayanıksız, şekil vermek zor, pahalı, bakımı zor) beton, betonun zayıf tarafını (çekmeye dayanıksız) çelik örter. Beton ve çeliğin avantajları betonarmede bütünleşir: Yangına ve rutubete dayanıklı, plastik, ekonomik, bakımı kolay, çekme ve basınca dayanıklı. Betonarme, bugüne kadar üretilmiş tüm yapı malzemelerinin tüm teknik zorluklarının üstesinden gelmiş, tüm Dünya'da kabul görmüş ve hemen her alanda kullanılmıştır [1].

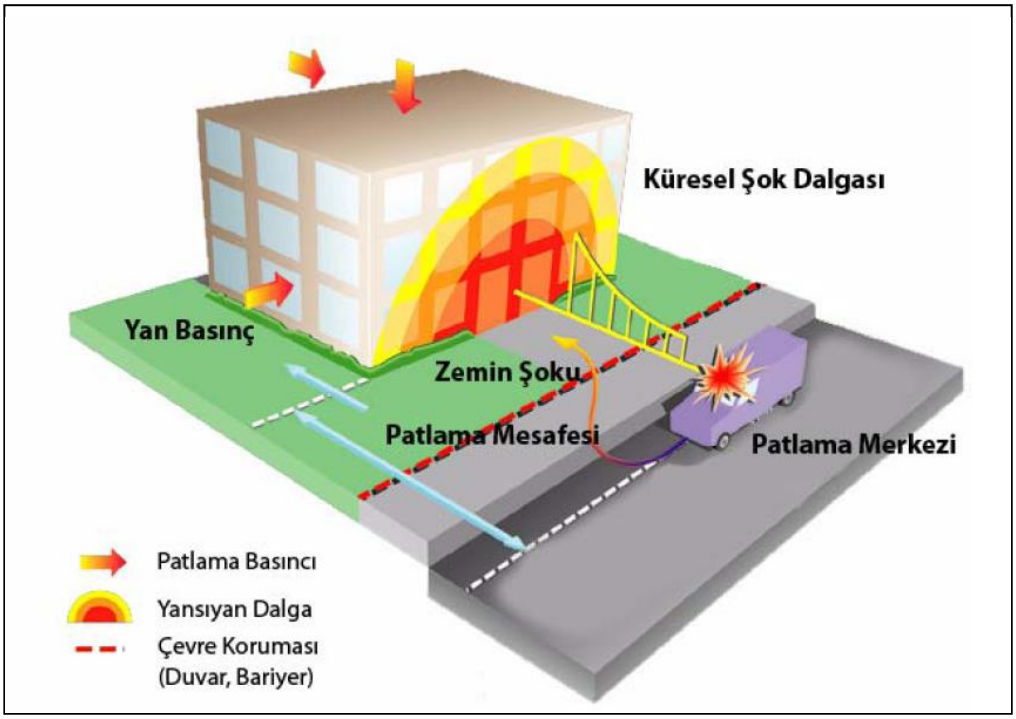
Betonarme elemanlar 2 çeşit yüke maruz kalır. Bunlar; statik ve dinamik yüklerdir. Kalıcı yük olarakta adlandırılan statik yükler; ölü yükler, malzemenin kendi ağırlığı ve bunun gibi yüklerdir. Dinamik yükler ise aniden ortaya çıkan yüklerdir. Deprem yükleri, rüzgar yükleri ve yorulma yükleri buna teşkil etmektedir. Tasarım yaparken yapılarda, tüm bu detaylar göz önüne alınır. Hesaplamalar en emniyetli olacak şekilde yapılır. Fakat yapıların tasarım aşamasında, gerekli hesaplamalarla önlemler alınsa da çoğu yapı insanların etkileşimleri sonucu da hasar görmektedir ve hatta ağır hasar gördü ise yıkılmaktadır. En bilinen örnekler çarpışma, patlama ve bunlara benzer etkilerdir.

Yapı ve insan iç içe bir birlikteliğe sahiptir. Günlük olarak birçok insan kara, hava, demir veya deniz yoluyla bir yerden başka bir yere hareket etmektedir. Böylece çok aktif bir araç hareketi oluşmaktadır. Tüm bu hareketliliğin içinde kazalarda büyük oranda baş göstermektedir. Bu kazalar sonucu yapılar ani dinamik etki altında kalıp hasar görmektedir. Başka bir dinamik etki olan patlayıcı etkisi ise savaş veya eylemler durumunda karşılaşılmaktadır. Bu etkide insanların zarar görmesinin yanı sıra, yapılarda büyük hasar gördüğü için can kaybında artış olmaktadır.

Günümüzde yapı elemanları üzerinde laboratuarlarda birçok çalışma yapılmıştır. Kolonlar, kirişler ve buna benzer önemli taşıyıcı sistem noktaları çeşitli şekillerde korunmaya çalışılmıştır. Bu tez çalışmamızı yapmaktaki amacımız, ani çarpışma etkisine maruz kalan kirişlerin (patlama, araç çarpması gibi…) davranışlarının incelenmesi ve karbon fiber malzeme ile kesitte yapılan güçlendirme sonucu ortaya çıkan nihai davranışlarının analiz edilmesidir. Böylece bulunan sonuçlar sonucunda, yeni yapı elemanı tasarımının önünü açmaktır.

CFRP (carbon fiber reinforced polymers) bir güçlendirme malzemesidir. Yüksek fiziksel özellikleri olan kompozit bir malzemedir. Uygulandıkları yapıda ve yapı elemanında ise yük taşıma kapasitesini artırma, eğilme dayanımını artırma, durabliteyi geliştirme, dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi olanaklar sağlamaktadır. CFRP çok hafif ve esnektir o nedenle yapıda yükü artırmaz. Dünyada uygulanmış birçok FRP kompozitler kullanarak güçlendirilmiş yapı vardır.

Betonarme yapıların tasarımı yapılırken projelendirme aşamasında genellikle statik yükler, hareketli yükler ve dinamik yükler (deprem ve rüzgar gibi) hesaba katılır. Oysa çok önemli bir etki olan çarpışma etkisi göz ardı edilmektedir. Birçok yapı elemanının bu etkiye maruz kaldığı unutulmaktadır. Karayollarında mevcut olan köprülere sıklıkla araçlar çarpmaktadır. Aynı şekilde deniz taşımacılığında yaygın olarak bu çarpışma etkisi vardır. Ayrıca bir de patlayıcıların yapıları maruz bıraktığı etki vardır. Şekil 1.1’de herhangi bir patlama kaynağından yapıya iletilen etkiler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Patlayıcıların yapı üzerinde oluşturduğu etkiler

Şekilde de görüldüğü gibi patlama mesafesi ve patlama merkezine bağlı olarak yapıda bir zemin şoku oluşmaktadır. Zemin şoku, beraberinde küresel şok dalgasını da getirir. Zemin şoku, patlama sonucu zemin ile yapıya iletilen dalga ve oluşan ivmedir. Patlamanın havada oluşturduğu basınç dalgası ise hava şokudur. Bundan dolayıdır ki, bu dinamik etkiler göz önüne alınarak bazı önemli yapılar tasarlanmalıdır. Askeri yapılar gibi stratejik öneme sahip bu yapılar, hasar alma durumları göz önüne alınarak önceden proje aşamasında tedbir alınmalıdır. Bu yapılar hasar alsa bile içinde bulunan insanların veya önemli malzemelerin canlı olarak kurtulmasına olanak sağlamalıdır.

Buradan yola çıkarak, yapı elemanlarının ani dinamik etkiler altında davranışlarının incelenmesi için ve daha sonra yapı elemanının CFRP ile güçlendirilip deneysel olarak genel davranışlarının, performanslarının, rijitliklerinin, dayanımlarının ve buna benzer daha birçok özelliklerinin analiz edilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında test edilen deney elemanlarının bazı önemli özellikleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney El. No	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	CFRP şerit Genişliği (mm)	Düşü Yüksekliği (mm)	Düşü Ağırlığı (kg)	CFRP Şerit Yapıştırma Boyu L_{CFRP} (mm)	Ankraj Türü	Ankraj Sayısı (n)
1	25	50	750	9.0	120	-----	0
2						Fan Tipi	1
3						Fan Tipi	2
4					180	-----	0
5						Fan Tipi	1
6						Fan Tipi	2
7					240	-----	0
8						Fan Tipi	1
9						Fan Tipi	2
10					120	Mekanik	1
11						Mekanik	2
12					180	Mekanik	1
13						Mekanik	2
14					240	Mekanik	1
15						Mekanik	2

Deneysel çalışma kapsamında yapı elemanı olarak yatay taşıyıcı elemanlar olan kirişler seçilmiştir. Yapının taşıyıcı sisteminin kolon, kiriş ve döşemeden oluştuğu ve o nedenle son derece önem arz ettiği bilinmektedir. Bu önemli yapı elemanlarından olan kirişlerin ani dinamik çarpışma etkisi altında nasıl bir davranış gösterdiği, CFRP kullanılarak güçlendirilen kirişlerin, ankrajlı veya ankrajsız şekilde ve mekanik ankraj türü ile fan tipi ankraj uygulanarak gerilme dağılımı ve davranışlarının nasıl gelişeceği gözlenmiştir. Güçlendirme sonucu ortaya çıkan verilerin gözlendiği bu deneysel çalışmada sabit beton basınç dayanımı altında, sabit CFRP şerit genişliği, sabit düşü yüksekliği ve sabit düşü ağırlığı altında kirişlerin davranışı analiz edilmiştir. Deneyde seçilen ana değişkenler ise CFRP şeritlerin yapıştırma boyu, ankraj kullanılıp kullanılmaması, ankraj türü ve ankraj sayısıdır. Deney ölçeği 1/3 olarak seçilmiştir. Deney elemanlarımız sabit mesnet ile sabitlenerek deneyler yapılmıştır. Deney elemanları donatısız olarak üretilmiştir.

Tez çalışmamıza başlamadan önce literatürde karşılaştığımız konumuz ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Kapsamlı şekilde incelenen bu çalışmalar, tezimizde kısaca özetlenmiştir.

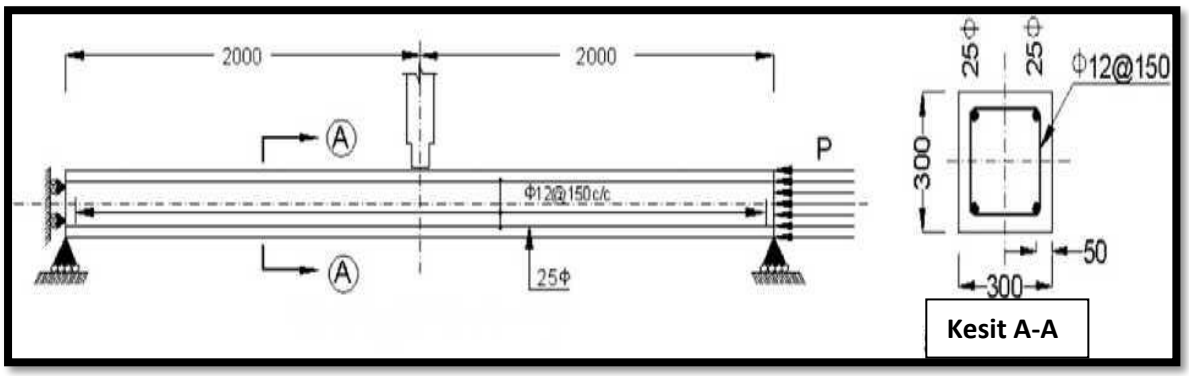
Ulrika Nyström ve Kent Gylltoft tarafından, sade ve çelik fiberli betonarme betona mermi etkisinin kıyaslamalı sayısal karşılaştırılması konulu yapılan bu çalışmada, normal beton ile betonarmenin geliştirilmiş enerji emilimi karakteristikleri kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmalarda yapının mermiye olan direncini artırmak ve deneysel analizler sonucu koruyucu yapılarda kullanımını artırmak amaçlanmıştır. Fakat deneylerin yüksek maliyetli oluşu, parametre çeşitliliği, deneysel kurulum ve sonuçların bunlara bağlılığı gibi nedenlerden dolayı fiber artışının bölgesel hasarı ve kurşuna dayanımını nasıl etkilediğini incelemek sonuç çıkarmayı zorlaştırmıştır. Bu nedenle simulasyonlarla çalışma yapılması daha uygun olmuştur. Çalışmada hidrokod AUTODYN kullanılmıştır. Sisteme farklı miktarlardaki fiberlerin nasıl etkilediği, farklı çatlama ilişkileri modellenmiştir. Sızma derinliği ve çukur oluşumu etkisi ile ön ve arka yüzde betonda oluşan değişim incelenmiştir [2].

Deney analizinde beton karışıma eklenen fiberlerin penetrasyon derinliğinde küçük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Arka ve ön yüzdeki çatlak genişliklerinin azaldığı görülüp, betona eklenen fiberlerin yüz-yüzey çukurluğunun boyutunun büyüklüğünde aşırı bir etkisinin olmadığı ama beton silindirin arka yüzeyindeki çukurlukta azalma eğilimi olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak kabuklanmanın da azalabileceği düşünülmüştür.

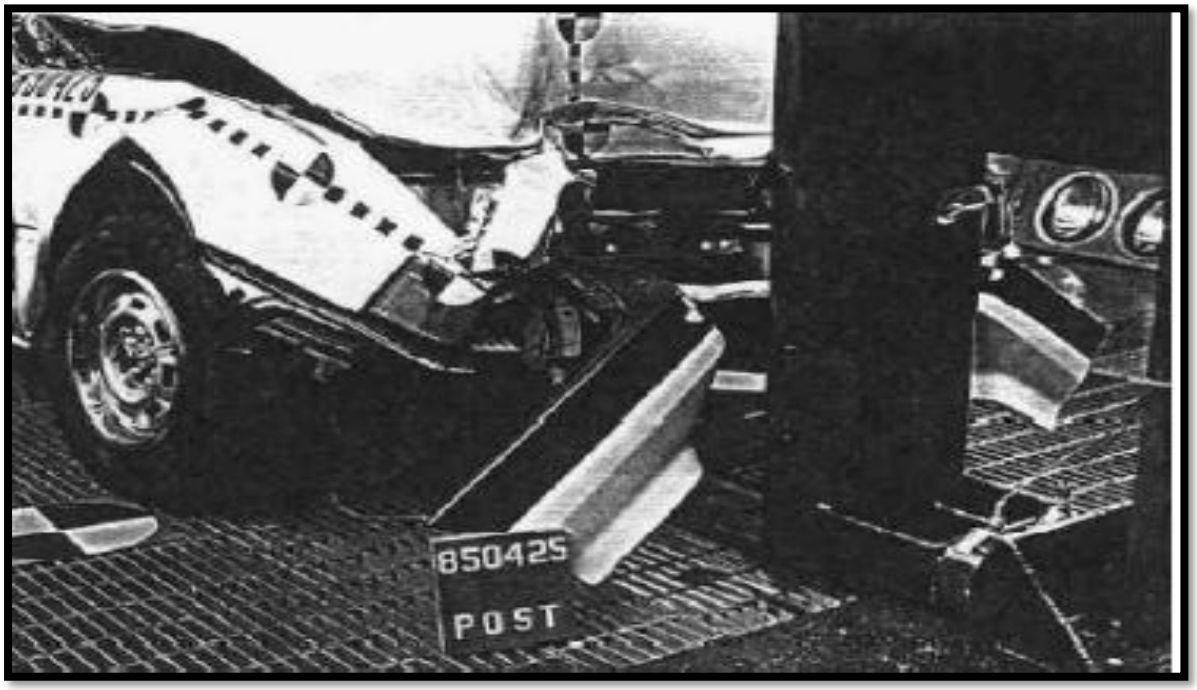
Betonda ön ve arka yüzde çukur çapı azalımı olmuştur fakat arka yüzdeki etkileşim ön yüze göre daha büyük olmuştur. Bu hasar, daha lokalize bir hacme sınırlı olup bu yüzden krater bölgenin ötesinde çatlak yayılımı azalmıştır [2].

H.M.I. Thilakarathna, D.P. Thambiratnam, M. Dhanasekar ve N. Perera tarafından çarpışma yükü altındaki betonarme kolonun sayısal simulasyonu ve hassaslık değerlendirmesi konulu bir çalışma yapılmıştır**.** Düşük yükseklikteki araç darbesi etkisi altındaki kolonların hassaslığını belirlemek amacıyla, var olan deney sonuçlarını kullanarak lineer olmayan sayısal bir model geliştirilip yasallaştırılmıştır. Sayısal model miktarları, gerilme oranı etkileri ve betonarmenin sınırları başarılı darbe etkisi tahkiki için önemli birer detay olarak görülmüştür. Kayma haritansın uygunluğu için birçok sayısal testin yapılması uygun görülmüştür. Doğrulama işlemi eğilme hata olaylarını simüle etmek için konsantrik yükleme koşulları altında geliştirilen denklemlerin yeteneğini araştırmak için uzatılmıştır. Darbe gücü- zaman tarihçesi, orta açıklık ve deplasmanların deneysel verileri; ve mesnet reaksiyonları ilgili sayısal sonuçlara karşı teyit edilmiştir. En yaygın

etki modları altında yeni nesil cihazlarla sütun açıklığını belirlemek için uygulanabilecek evrensel bir teknik önerilmiştir. Ayrıca darbe alan kolonların deformasyon karakteristikleri, genişletilmiş sonuçlar kullanılarak açıklanmıştır. Tüm sonuçlara göre hassaslık belirlemek için analitik metod tavsiye edilmiştir [3]. Basitleştirilmiş test kurulumu Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Araçların çarpması sonucu kolonda meydana gelen hasar Resim 1.1'de gösterilmiştir.



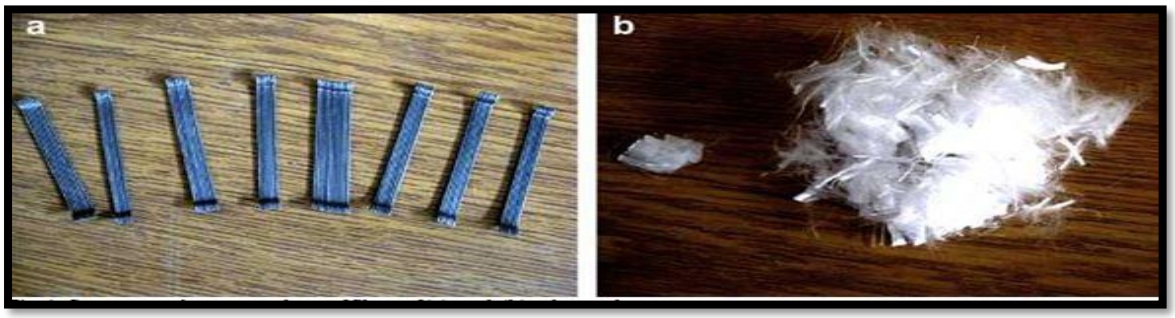
Şekil 1.2. Basitleştirilmiş test kurulumu



Resim 1.1. Araç çarpması etkisi altındaki kolon

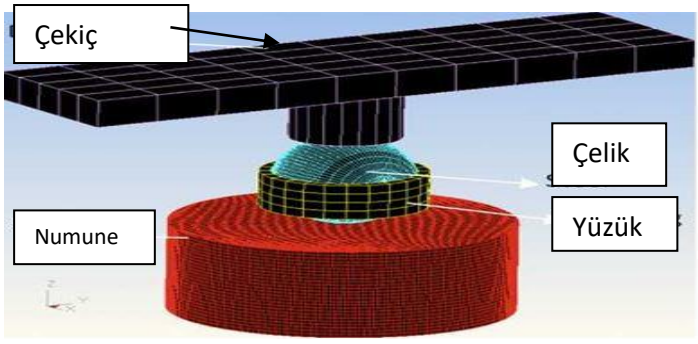
A. Alavi Nia, M. Hedayatian, M. Nili ve V. Afrough Sabet tarafında çelik ve polipropilen fiberlerin fiberli betonarme yapıyı darbe dayanımına karşı nasıl etkilediği konusunda yapılan deneysel ve sayısal bu çalışmada; normal ve fiberli betonarme elemanın sayısal

simulasyonundan elde edilen çarpışma yükü altındaki sonuçları deneysel çalışma sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Beton türleri 2 çeşit su-çimento oranına göre (0,36-0,46) hazırlanmıştır. %2-%3 ve %5 hacminde fiberler kullanılmıştır. Tüm deneysel ve sayısal analiz sonuçları fiber oranı arttıkça dayanımın arttığını göstermiştir. Darbe dayanımı yüksek dayanımlı betona göre daha fazla olmuştur. Ayrıca çelik fiberlerin polipropilen fiberlere göre daha fazla darbe dayanımı gösterdiği görülmüştür [4]. Resim 1.2'de deneyde kullanılan fiber türleri gösterilmiştir.



Resim 1.2. a) Çelik fiber - b) Polipropilen fiber

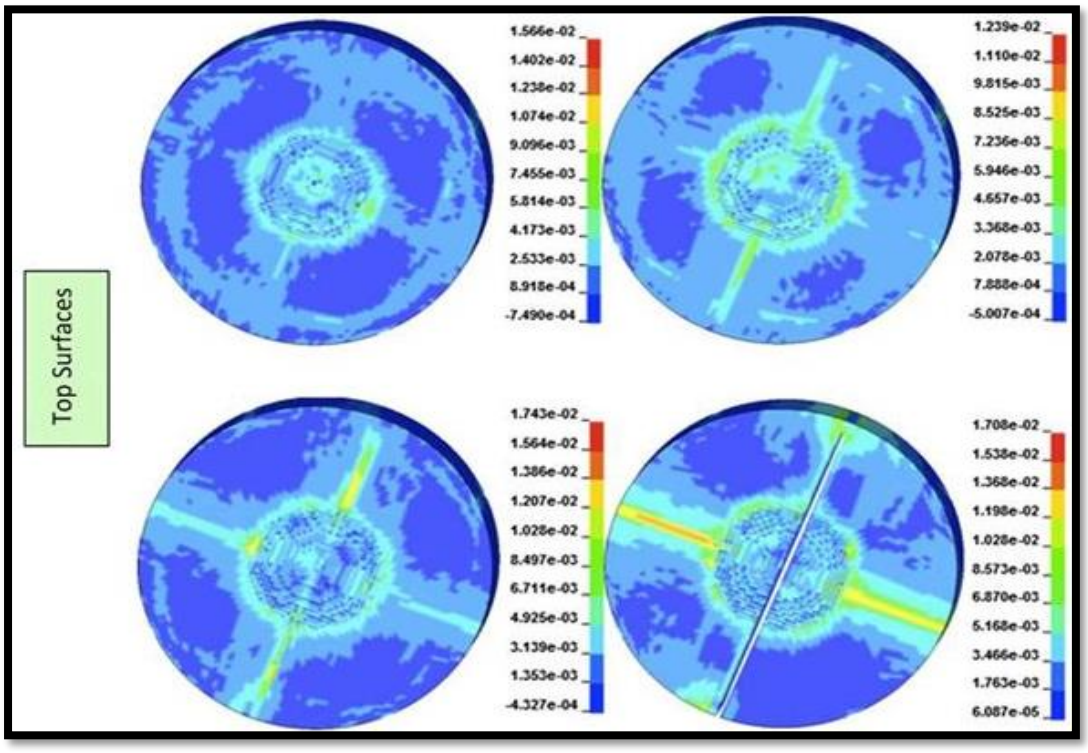
Fiber hacmi arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Çelik fiberler yüksek çekme dayanımlarından dolayı numune çekme dayanımını artırmıştır. Su/çimento oranı olarak bakıldığında 0,46 orana sahip numune dayanımı 0,36 orana sahip numune dayanımından daha yüksek çıkmıştır [4]. Şekil 1.3'de deneyde yapılan sayısal simulasyon sonucu ortaya çıkan şekil gösterilmiştir.



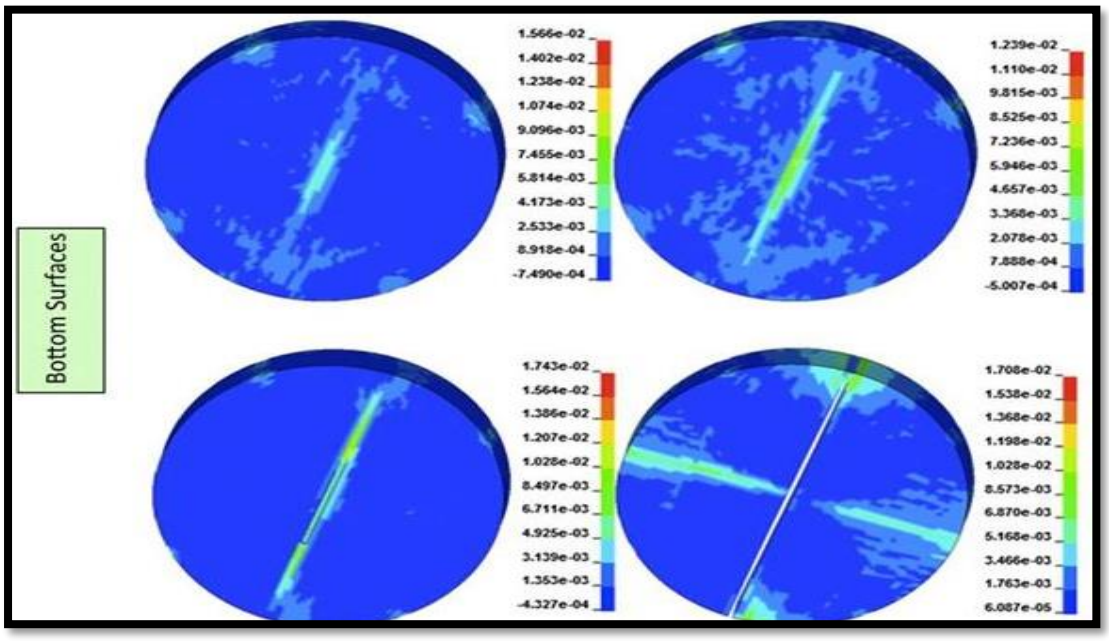
Şekil 1.3. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla yapılan çalışma

Deneyde %5 polipropilen ve %5 çelik fiber katkısıyla simulasyon yapılmıştır. Simulasyona göre ilk çatlak gelişimi tabanda oluşmuştur. Sayısal simulasyonun yararlarından biri ilk

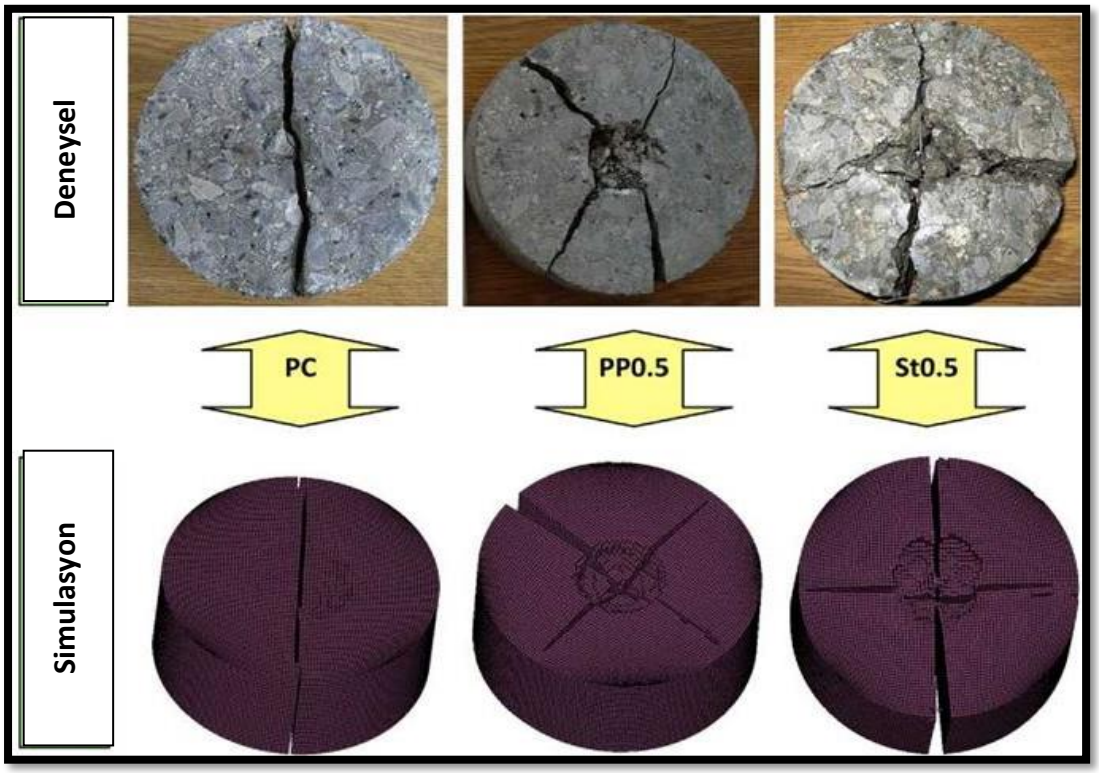
çatlağın nerede olduğunu görebilmektir [4]. Şekil 1.4, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6 sayısal simulasyon sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 1.4. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyon sonucu çatlak oluşumu

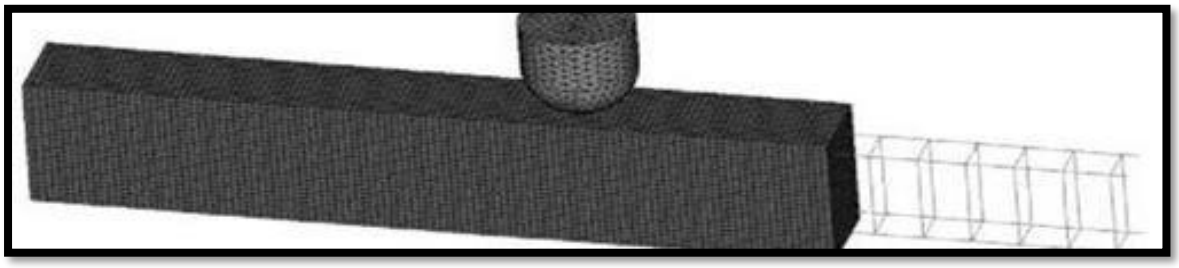


Şekil 1.5. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla yapılan çalışma sonucu çatlak oluşumu

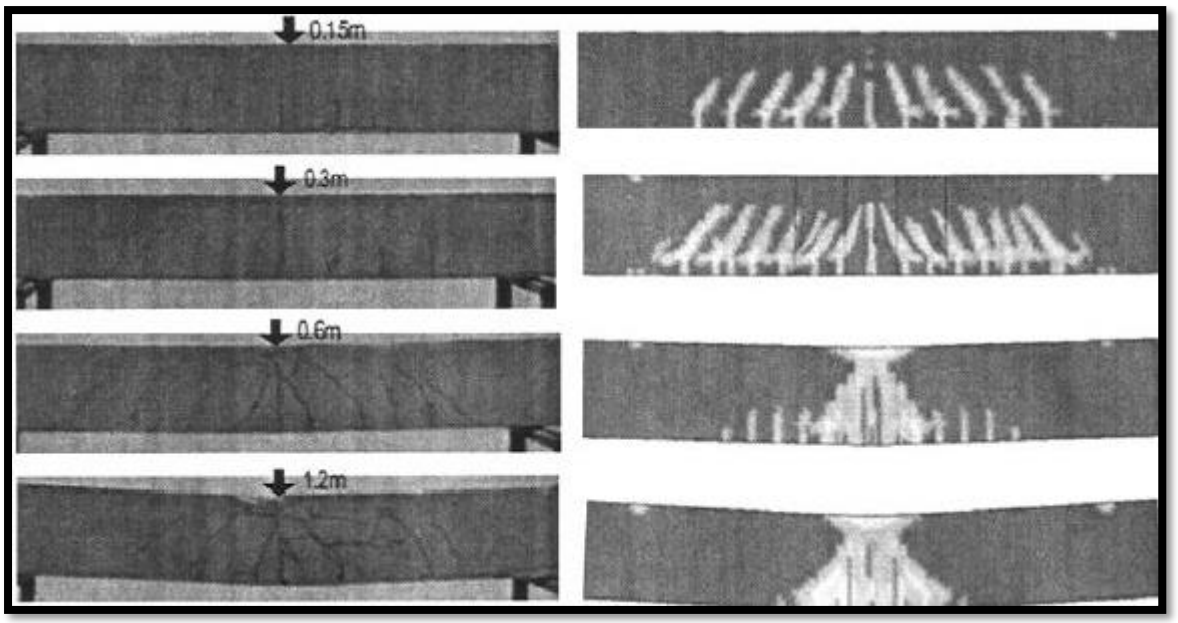


Şekil 1.6. Sonlu elemanlar modeli sayısal simulasyonla ve deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılması

Hua Jiang, Xiaowo Wangb ve Shuanhai Hea tarafından betonarme kirişin çarpışma etkisi simulasyonu altında incelenmesini konu alan bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada LS-DYNA sonlu elemanlar koduyla betonarme kirişlerin darbe testinin simulasyonu ve incelenmesi amacıyla yapılmıştır. FE modelde, EPDC model (elastoplastik hasar) plastik teoriyle devamlı hasar kombinasyonunu temel almıştır. Deneysel sonuçlarla sayısal sonuçlar; darbe tarihçesi, orta nokta hasar tarihçesi ve betonarme kirişin çatlak mekanizması açısından kıyaslanmıştır. Kıyaslama yapıldığında şu detaylarla karşılaşılmıştır. Gerilme- şekil değiştirme eğrisinden gerilme hassaslığı bölgesinden hasar çeşitliliğini tanımlamak, plastik hacim değişimini tanımlamak ve akma yüzeyini incelemek şeklindedir. Bu çalışma ileride geliştirilecek yeni modeller içinde aydınlatıcı olmuştur [5]. Şekil 1.7'de FE modeli darbe testi kurulumunu gösterilmektedir. Darbe etkisi altındaki kirişin deneysel ve modelleme sonucu görünüşü ise Şekil 1.8'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. FE modeli darbe testi kurulum



Şekil 1.8. Darbe etkisi altındaki kirişin deneysel ve modelleme sonucu görünüşü

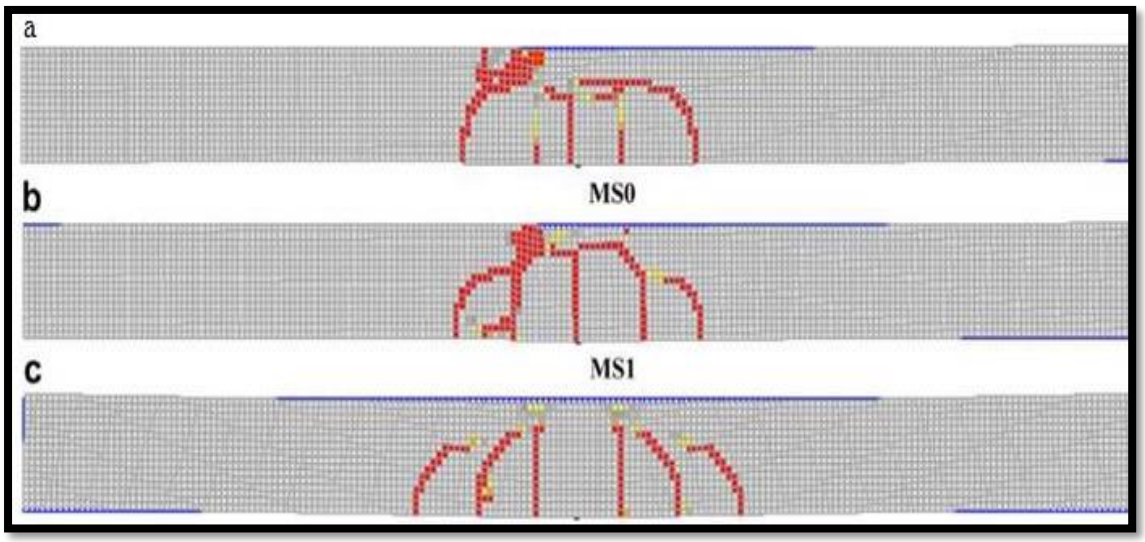
Sonuç olarak bakıldığında EPDC modelin basit modellemelere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Farklı betonarme yapıların davranışı yükleme hızından oldukça etkilenmektedir. Aynı zamanda darbe yükleri davranışı altında farklı yarı-statik yüklemelere maruz kalmaktadır. Bu fark durağan kuvvetlerin aktivasyonunun yanı sıra süreklilik, sertlik ve kuvvet üzerinde gerilme- oran etkisi olarak atfedilir. Bu etki açıkca deneylerde gösterilmiştir. Betonarme yapılar hasar, kırılma olayları, hata modu ve çatlama göstermekdir. Deneysel çalışmalar, çatlak hızı kritik hıza ulaştığına göre çatlağın dallandığını göstermiştir. Betonarme eleman, yükleme oranı arttıkça model 1 durumundan karışık mod duruma geçmiştir [5].

Literatürde raporlanan deneylere bakıldığında oran-hassaslık mikroplane modeli kullanılarak, gerilme-oran etkisi ele alınarak simulasyon oluşturulmuştur. Atalet kuvvetleri

örtülü dinamik sonlu elemanlar analizi ile ortaya çıkarılıp, darbe modellenmiştir. Yükleme noktasında yer değiştirme maksimum değere kadar artırılmıştır. Daha sonra bu sonuçlar raporlanmıştır [5].

Sayısal çalışmanın sonuçları betonarme kirişin darbe etkisi altındaki davranışını çok iyi bir şekilde göstermektedir. Statik ve dinamik reaksiyonlar, çatlak desenleri ve analiz sonucu oluşan değerler deneysel çalışma yapılan muadilleri ile çok yakın uyum içindedir. Darbe hızı bu çalışmada 1 m/sn de, kesme donatısı aktive olmaz ve bundan dolayı dinamik reaksiyonlar statiğin aksine genellikle kesme donatısı miktarından bağımsızdır. Kesme donatısı varlığı önemli ölçüde çatlak desenini etkilemiştir. Kesme donatısı varlığı çatlak dağılımında iyi dağılımı sağlamıştır [5]. Şekil 1.9'da kirişteki deformasyon gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Statik analiz sonucu kirişteki deformasyon görünüşü

Sonuçlara bakıldığında kirişteki hata mekanizmasında yükleme oranının önemli olduğu, yarı-statik yüklemelerde deformasyon oranı kesme donatısı miktarına bağlıdır. Yüksek yükleme oranında statik davranışlar ihmal edilirse tüm numunelerde diagonal çatlak gelişmiştir. Çatlaklar yaklaşık 45 derecelik açı ile oluşmuştur. Etkili kesme donatısı çatlakların düzgün dağılımına sebep olmuştur. Etkili kesme dayanımından dolayı orta kısım ve destek bölgesi arasındaki deformasyon önlenebilmektedir [5].

A.M. Coughlin, E.S. Musselman, A.J. Schokker ve D.G. Linzell tarafından çarpmalara patlamalara karşı taşınabilir fiber katkılı betonarme araç bariyerlerinin davranışını konu alan bir çalışma yapılmıştır. Taşınabilir beton bariyerler genellikle güvenlik duvarı

oluşturulmasında, teröristlerin taşıtla oluşturduğu patlama aygıtlarına karşı kullanılmaktadır. Beş taşınabilir beton araç bariyeri davranışı Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuarlarında çanta boyutlu yüzeyle bağlantılı patlayıcı altında test edilmiştir. İki farklı tip sentetik içeren farklı lif hacimli 2 çelik sentetik karışım ve normal geleneksel betonarme betonu deney örnekleri için kullanılmıştır. Her FRC, kontrol numunesine göre daha az materyal kaybı ve hasarı olduğunu göstermiştir. İki farklı oranda çelik sentetik karışımı beton ile deney yapılmıştır. Fakat bu iki numune arasında görülebilir bir farklılıkla karşılaşılmamıştır. Deneyde kontrol bariyerleri hızla yayılarak parçalanmıştır. Çekirdekte çok az beton parçaları kalmıştır. Ayrıca sonlu elemanlar modeliyle de bu deneyler tasalanmıştır ve yapılan deneylerle sonuçlar paralellik göstermiştir [6]. Resim 1.3 betonarme bariyerlerin ilk halini göstermektedir. Resim 1.4, Resim 1.5 ve Resim 1.6 ise deneyler sonucu ortaya çıkan hasarları göstermektedir.



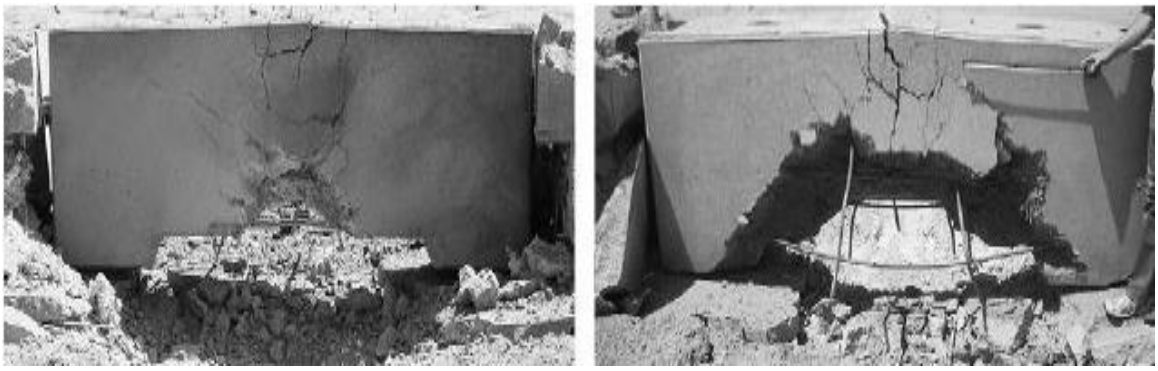
Resim 1.3. Betonarme bariyerler



Resim 1.4. Betonarme bariyerlerin test sonrası durumu



Resim 1.5. Normal betonarme bariyerlerin test sonrası durumu



Resim 1.6. Fiber katkılı (CFRP) betonarme bariyerlerin test sonrası durumu

Yüksek fiber yüzey alanı olduğu zaman enkaz alanında büyük parçaların sıklığının arttığı görülmüştür.

Demetrios M. Cotsovos tarafından betonarme kirişlerin yüksek oranda konsantre yük altında yük taşıma kapasitesini değerlendiren basitleştirilmiş yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışma betonarme kirişlerin orta açıklıklarında yük taşıma kapasitesini basitleştirilmiş şekilde incelemeyi amaçlamıştır. Yöntemde artan yükleme oranlarının altında uygulanan yük etkisine direnme hem deneysel hem de sayısal olarak tespit edilmiştir ve kirişin kısmi (burada etkili uzunluğu olarak adlandırılır) kısalması ile yük taşıma kapasitesinin artırılmasına bağlanmıştır. Önerilen yöntem üç boyutlu non-lineer sonlu elemanlar analizi yoluyla elde edilen verilerin yanı sıra sayısal sonuçlarla deneysel tahminlerin karşılaştırmalı çalışması şeklindedir. Fakat yöntemin oran etkisini açıklamak için uygun olmadığı, sadece etkili uzunluk ve yükün maruz kaldığı oran için yani pratik yapı dizaynını geliştirmek için uygun olduğu görülmüştür [7].

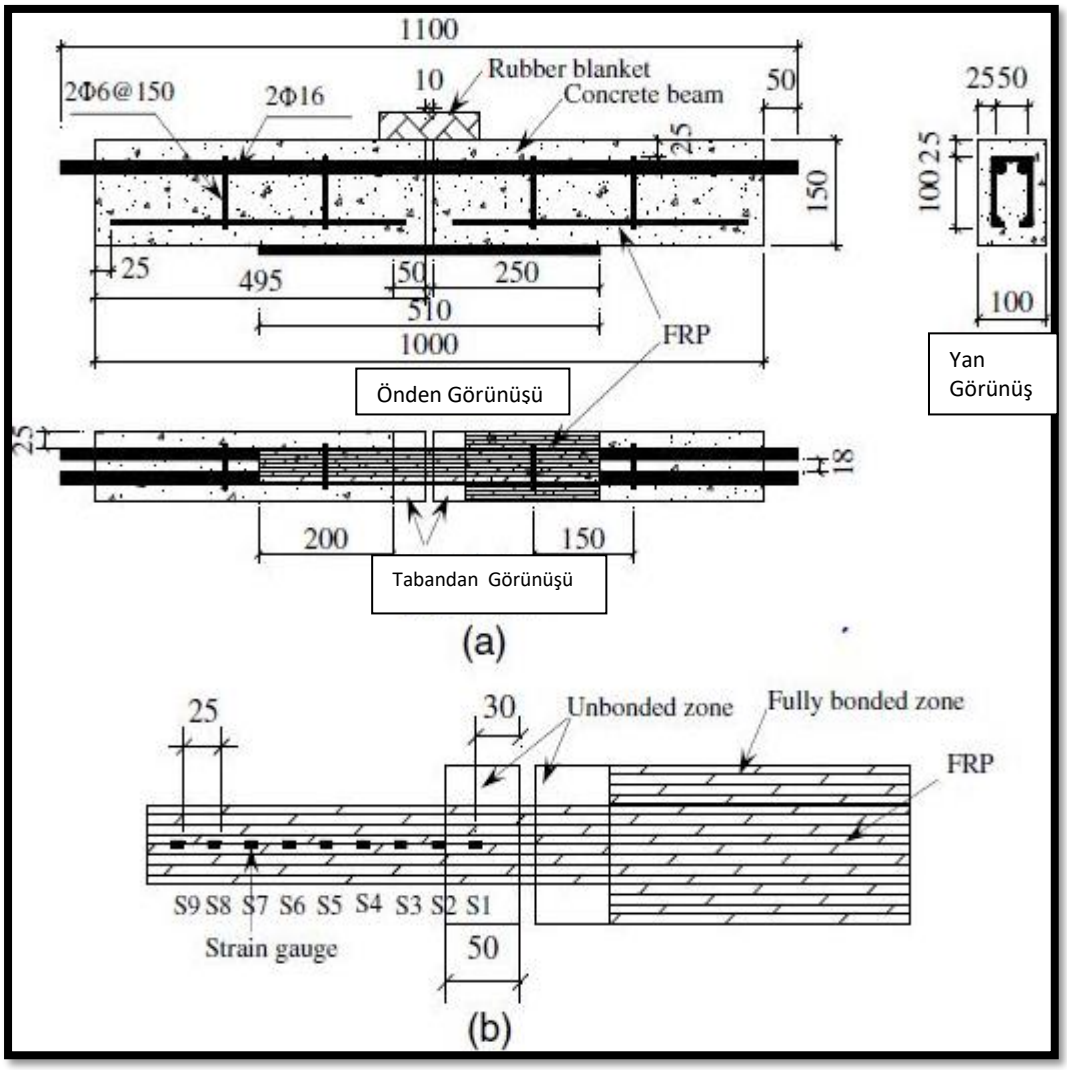
Shu Yang ve Chang Qi tarafından boş ve dolgulu kare kolonların darbe etkisi altında incelenmesi konulu bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada boş ve köpük dolgulu ince duvarlı kare kolonun, eğik darbe yükleri altında kazalara daha dayanıklı olması için sütunun yük açısı, geometrisi ve malzeme parametreleri gibi varyasyonları için optimizasyonu incelenmiştir. Diğer bir amaç ise bu tür yükler altında sütunların her 2 tip için optimize yapılandırılmaları ve göreceli yararları göz önüne sermektedir. Teorik çözümler tarafından doğrulanan sonlu elemanlar analizi (FEA) teknikleri ve literatürdeki deneysel veriler kullanılmıştır. FEA tabanlı sonuçlar, Kringlung metamodelle kolonların çarpışmadaki özgül enerji absorbsiyonunda kriterini tahmin etmek için ve eğik darbe yükleri altında zirve kırma kuvveti (PCF) ve incelenen optimizasyon dizayn işlemleri içinde kurulmuştur [8].

İki tip kolonda tek açı ve değişik darbe açıları içeren çok objektif parçacık sürüsü optimizasyonu kullanan algoritma kurulmuştur. Bulgulara göre boş veya köpük dolgulu kolon için değişik açılarda değişik uygun dizayn vardır. Ayrıca eğik darbelere karşı daha dayanıklı tasarımlar MOD işlemlerinde birden çok yük açısı dahil edilerek bulunabilmiştir. Eksenel yük altında doldurulmuş kolonun boş kolona kıyasla eksenel yük altında daha dayanıklı olabildiği fakat boş kolonda eğri darbelere karşı geliştirmek açısından daha fazla olanak bulunduğu görülmüştür [8].

Mod problemleri enerji absorbsiyonu maksimize edilip, çarpma kuvveti minimize edilecek şekilde formülize edilmiştir. Bunu yaparken de duvar kalınlığı, kesit genişliği, kolondaki materyalin gerilme akması gibi önemli detaylar göz önüne alınmıştır. İçi dolu kolonun darbelere karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür [8].

Jingsi Huo, Jingya Liu, Xiaoqing Dai, Jin Yang, Yuan Lu, Yan Xiao, F. ASCE ve Giorgio Monti CFRP'nin beton arayüzüne, dinamik davranışı üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Karbon fiber güçlendirme elemanı betonarme elemanların güçlendirilmesinde geniş çapta kullanılmaktadır. Mevcut çalışmalar, harici olarak bağlanmış CFRP malzemelerinin etkinliğinin, genel olarak CFRP elemanı ve beton arasındaki bağa bağlı olduğunu göstermektedir. Şimdiye kadar geliştirilen araştırma çalışmalarının çoğu, statik yükleme altında CFRP beton-yüzey ara yüzeyinin bağ davranışına odaklanmıştır. Bu çalışmada bağ davranışı yüklenme oranının bağ kuvveti üzerindeki etkisini vurgulamak amacıyla, düşey-kütle etkisi deney yöntemi vasıtasıyla, dinamik açıdan deneysel olarak

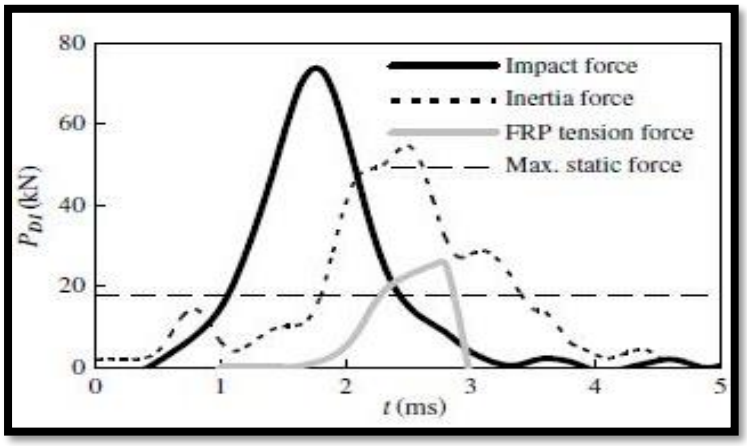
araştırılmıştır. Test sonuçları, etki yükü altında CFRP levhalarının gerilme dağılım eğiliminin statik yüklemeden daha büyük olduğunu ve yüklenme oranının, etkin bağ uzunluğunu orta derecede etkilediği halde, bağ kuvvetini önemli derecede etkilediğini göstermiş bulunmaktadır. Dinamik koşullar altında CFRP-beton arayüz bağ davranışını taklit etmek için pratik bir bağ kayma modeli önerilmiştir. Bu model darbe yükü altındaki betonun mukavemetine ilişkin tavsiyelere dayanan gerinim oranı etkisini dikkate alan bir testtir.Ayrıca mevcut bazı yönergelerde verilen denklemlerden yola çıkarak, CFRP-beton etkileşiminin darbe yükü altında etkili bağ uzunluğunu ve bağ dayanımını doğru bir şekilde tahmin etmek için bir tasarım önerisi geliştirilmiştir. Şekil 1.10' da deneye ait şekil verilmiştir [9].



Şekil 1.10. Deney numunesinin ayrıntıları ve gerinim ölçerlerin düzeni (birim: mm): (a) bir numunenin ayrıntıları; (b) gerinim ölçer konumları

Çalışmada 30 Mpa basınca dayalı beton kullanılmıştır. Kaba agrega, 5-20 mm boyutlu karbonat esaslı çakıl ve ince agrega, silis esaslı nehir kumu seçilmiştir. Çimento olarak ise Portland çimentosu seçilmiştir. CFRP tabakalarına gelince, nominal kalınlığı 0.169 mm olan tek yönlü bir çekme karbon elyaf levhası olan ticari bir ürün (HITEX-C300) kullanılmıştır. Çekme mukavemetinin, elastikiyet modülünün ve nihai gerinimin ölçülmüş statik özellikleri sırasıyla 3,587 MPa, 236 GPa ve % 1.52 olarak bulunmuştur. Testlerde çevre sıcaklığında sertleşen epoksi yapıştırıcı ve epoksi astar kullanılmıştır. Yapışkan ve esnek bir malzemedir ve çok yüksek makaslama mukavemetine ve iyi nem direncine sahiptir. Kiriş numuneleri iki beton prizmadan oluşmuştur. Sıkıştırma bölgesinde iki çelik takviye çubuğu tarafından birbirine bağlanmıştır ve prizmaların alt tarafına harici olarak bağlanmış bir CFRP şeridi bulunmaktadır. İki beton blok arasındaki boşluk 10 mm'ye ayarlanmıştır. 510 mm uzunluğa ve 50 veya 80 mm genişliğe sahip bir veya iki CFRP tabakası kiriş tabanına yapıştırılmıştır. Sağ taraf herhangi bir kaymayı önlemek için 100 mm genişliğinde ve 200 mm uzunluğunda CFRP tabaka sarılarak tamamen yapıştırılmıştır. Sol tarafta, yapıştırılmış ve yapıştırılmamış uzunluklar sırasıyla 200 ve 50 mm olarak ayarlanmıştır. CFRP şeritler istenilen boyutlarda kesilip, epoksi uygulanmıştır. Yirmi üç harici olarak birleştirilmiş CFRP levha numuneleri bükme testi düzeneği kullanılarak test edilmiştir. Değişken olarak düşü yüksekliği (h=200, 400, 600 mm), şerit genişliği (50 ve 80 mm) ve uygulanacak şerit sayısı belirlenmiştir [9].

Şekil 1.11.'de 600 mm'lik bir düşme yüksekliğiyle C50-2-D600-1 numaralı numunenin zaman eğrilerine karşı tipik darbe kuvveti gösterilmiştir. Numune ile çekiç arasındaki temas kuvveti, yüksek atalet yükünün bir sonucu olarak çok yüksek bir başlangıç tepe noktasına sahiptir. Darbe çarpması 72,5 kN değerlidir. Pik darbe kuvveti, mukabil maksimum statik kuvvetin (17.6kN) kuvvetinden çok daha büyüktür ve bu da, eski statik kuvvetin sadece % 24.2'sidir.Ölçülen çekiç darbe yükü, kirişin orta boşluğuna etki eden bir nokta yüktür. Kirişin atalet yükü, kiriş aralığı boyunca dağıtılan bir gövde kuvvetidir. CFRP levha takviyesi olmayan kiriş numuneleri, darbe testlerinin atalet kuvvetini kalibre etmek için darbe yüklenmiştir. Eğilme direncinde azalma nedeniyle, CFRP takviyeli kiriş numunelerine kıyasla yükleme süresi uzatılmıştır. Özellikle, darbe kuvvetinin başlangıç noktaları ile FRP gerilme kuvveti arasındaki zaman gecikmesi yaklaşık olarak 1.1ms olarak belirlenmiştir [9].



Şekil 1.11. Darbe kuvveti zaman tarihçesi

Hem statik hem de darbe testlerinde, bağ açma işlemi neredeyse ani olmuştur. Tüm statik ve darbe testleri için kırılma durumunda CFRP şeritler ile beton parçaları sıyrılarak ayrılma oluşmuştur. Darbe hızının artmasıyla artan darbe enerjisi, kısa yükleme süresi ve yüksek gerilmeyi sağlamıştır. Bu nedenle numunenin zaman gerilme eğrileri darbe hızı düşük olana göre keskin bir şekilde daha dik olmuştur [9].

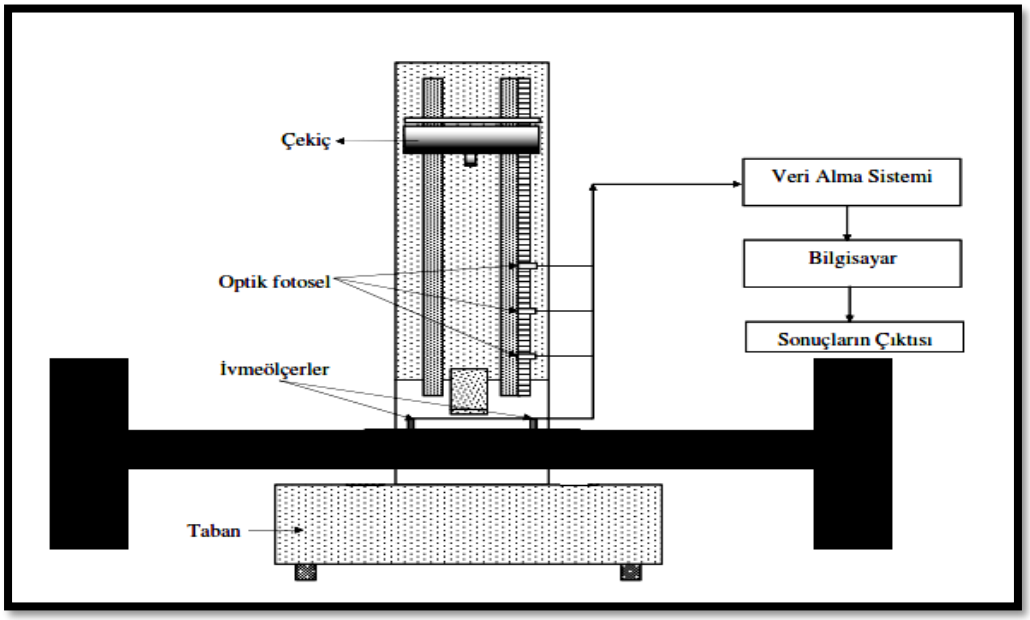
Bu deneyde, CFRP şerit ile sarılı kirişin alt tarafında 3 noktada incelenen eğilme testleri yapılmış ve darbe yüklerinin bağ kuvveti üzerindeki etkisi, etkili bağ uzunluğu, bağ uzunluğu boyunca gerilme dağılımı üzerine deneysel bulgular sunulmuştur. Test sonuçları darbe testinin etkinliğini doğrulamıştır. Ayrıca etki yükünün, CFRP tabakalarında gerilme dağılımı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen kayma-kayma modeli, CEB'de tanımlanan beton için dinamik mukavemet artış faktörünü getirerek, CFRP-beton arabiriminin dinamik bağ davranışını mantıklı bir şekilde taklit edebilmiştir. Model, deneysel sonuçlara ve statik yüklemede bağ kayma durumu için önceki araştırmacılar tarafından önerilen dört mevcut kayma modeli temel alınarak doğrulanmıştır. Darbe yükü altında CFRP beton arayüzünde oluşan etkili bağ dayanımı ve bağ uzunluğu tahmin edilerek, mevcut önerilen bazı denklemler modifiye edilerek yeni tasarım önerileri geliştirilmiştir [9].

2. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM ARAÇLARI

Literatürde yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde incelendiğinde benzer amaçlar doğrultusunda benzer deney düzenekleri kullanıldığı görülmüştür. Deneysel çalışmaların sonuçları kendilerinden sonraki yapılacak olan çalışmalara bir ışık olduğu için sonuçların çelişkiden uzak ve bizlere benzer yakın değerler vermesi önem arz etmektedir. Bu nedenle birbiriyle tutarlı sonuçlara ulaşmak için benzer deney düzenekleri kullanılmalıdır. Bu nedenle en uygun kullanılan düzenek ağırlık düşürücü deney düzeneği olarak seçilmiştir. Deney düzeneği seçildikten sonra elde edilen verilerin kaydedilebilmesi için ölçüm araçları seçilmiştir.

2.1. Deney Düzeneği

Deneysel çalışmamızda kullanacağımız deney düzeneği olarak ağırlık düşürücü deney düzeneği en uygun ve yaygın tercih edilen deney düzeneği olduğu için tercih edilmiştir. Seçilen deney düzeneği, deney sırasında farklı yüksekliklerden farklı ağırlıkların düşürülmesine imkan sağlamaktadır. Ayrıca kirişini istediğimiz an istediğimiz noktasına ağırlık düşürebilmek açısından da avantajlıdır. Deney düzeneği Şekil 2.1'de görüldüğü gibidir.



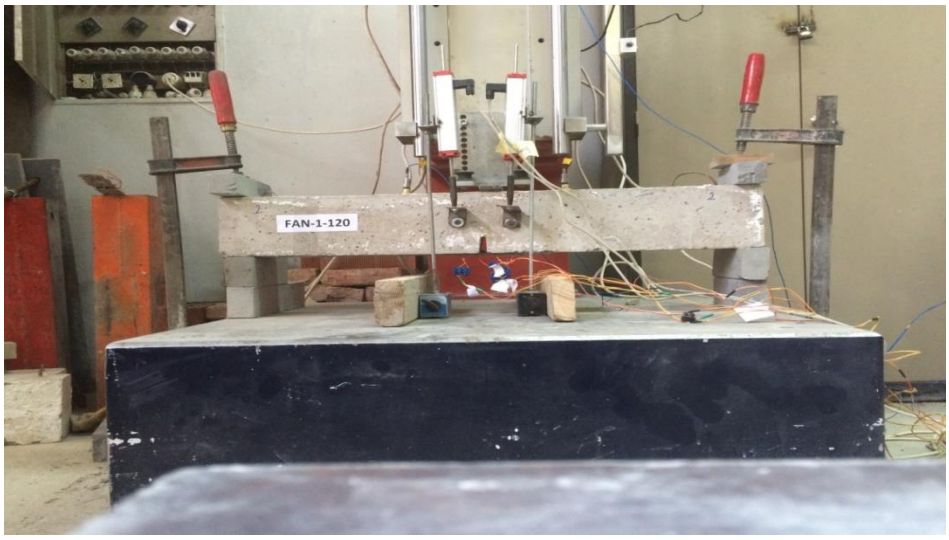
Şekil 2.1. Ağırlık düşürücü deney düzeneği

Deney düzeneği incelendiğinde çekiç, optik fotoseller, ivmeölçerler, taban, veri alma sistemi ve sonuçların çıktısının alınabileceği bir sistemden oluştuğu görülmektedir. Deney düzeneğimizin darbe, çarpışma vb. etkiler yaratması için kullanılacak araç olan çekiç önemli bir rol üstlenmektedir. Çekicin düşme mekanizması serbest düşme şeklindedir. Düşü yüksekliği ise yine isteğe göre ayarlanabilmektedir. Resim 2.1'de deney düzeneği bölümlerinden çekiç ve çalışma mekanizması gösterilmektedir.



Resim 2.1. Deney düzeneğinde bulunan çekiç ve düzeneği

Örnek deney numunemizin yerleştirildiği deney düzeneğinin son hali Resim 2.2'de görüldüğü gibidir.

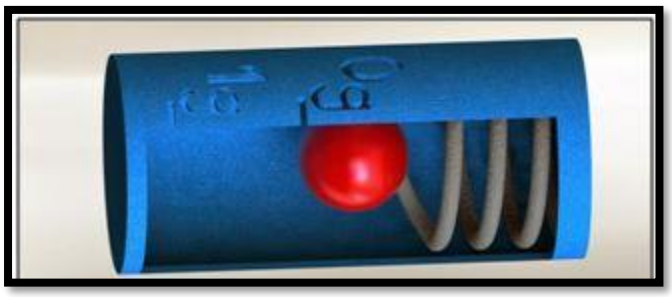


Resim 2.2. Deney düzeneğinin son hali

2.1.1. İvmeölçerler

İvmeölçerler, bir kütleye uygulanan ivme miktarını ölçen cihazlardır. İvme ise hızın zamana göre türevi olarak açıklanabilir. SI sistemine göre birimi metre/saniye^2 'dir. İvmeölçerler, sanayide ve bilimsel çalışmalarda birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. İvme ölçümünde referans bir ivme değeri bilinmesine gerek yoktur. İçindeki test kütlesine referans eksenindeki kütleden kaynaklı olan uygulanan kuvvetlere bakar.

İvmeölçerin yapısı incelendiğinde kütlenin, ivme kılavuzunun içerisinde yatay bir şekilde yerleştirilmiş olduğu mekanizma görülür. Şekil 2.2'de ivmeölçerin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. İvmeölçerin yapısı

Deneyimizde kullanılan ivmeölçer, eksenlerin birleşmesiyle hareketi kontrol etmektedir. Sensörler tek yönlü ölçüm yapılabilmektedir. 3 adet sensör birleşerek ancak 3 boyutlu hareketi kontrol eder. Eksenler; x, y, z olarak isimlendirilirse koordinat sistemi oluşturulmuş olur. Böylece her yöndeki ivme değişimi ölçülmüş olur.

Deneyimizde seçilen ivmeölçer çeşidi piozemetrik tipi ivmeölçerdir. Bu ivmeölçerler sahada ölçüm yapmak için çok uygundur. İvmeölçerler PCB Grup firmasına ait piezoelektrik ICP tipi ivmeölçerlerden olup, model numarası 353B02'dir. Kullanılacak ivmeölçerler Resim 2.3'de görülmektedir [1].



Resim 2.3. ICP Model 353B02 Piezoelektrik ivmeölçer

2.1.2. Veri toplayıcısı

Veri toplayıcılar kullanılan deney ve yere göre seçilebilecek farklı türlerde cihazlardır. Deney sırasında ortaya çıkan ve kullanılan verileri bilgisayar ortamına aktarır.

Deneyimizde labaratuar ortamında ortaya çıkan verileri bilgisayara aktarması için National Instruments firmasının ürettiği NI 9233-USB-9162 modeli veri toplayıcı kullanılmıştır (Resim 2.4). Bu cihaz 4 kanallı dinamik sinyal alıcısı olup doğruluğu yüksek ölçümler yapmaktadır. Yüksek doğruluktaki ölçümleri IEPE algılayıcılardan oluşmuş yapısı sayesinde yapar [1].



Resim 2.4. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı

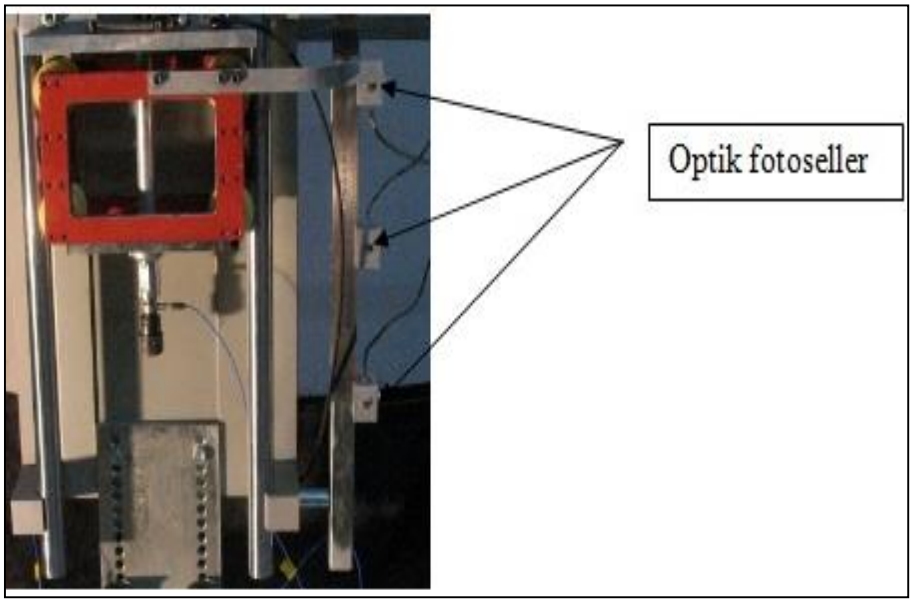
Deneyde kullanılan veri toplayıcısı 2 modülden oluşmaktadır. İlk modül veri toplama işi yapar ve ölçüm aygıtları buraya bağlıdır. İkinci modül ise sinyal taşıyıcıdır ve birinci

modülden gelen sinyalleri bilgisayara aktarır. Modüller birbirinden bağımsızdır. Veriler, veri toplayıcıdan bilgisayar ortamına özel bir dile çevrilip, yazılmış bilgisayar programına çevrilerek kayıt altına alınır. Bu programın diğer önemli bir yardımı ise diğer cihazların kalibresini yapabilmesidir.

2.1.3. Fotoseller

Fotoseller, üzerine düşen ışığın şiddetiyle orantılı olarak voltaj üreten ışık algılayıcısıdır. Fotoseldeki cam kürenin iç kısmı sodyum, lityum gibi alkali metallerle kaplanır. Çünkü alkali metaller yüksek enerjili beyaz ışık alınca (güneş ışığı) elektronları kopar ve anot ucuna çekilirler.

Deney düzeneğimizde cisimden yansımalı olarak çalışan fotoseller seçilmiştir. Fotoseller, ağırlığın düşmeye başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen süreyi ölçebilmek için kullanılmaktadır. Deneyimizde üç adet fotosel bulunmaktadır. (Resim 2.5)



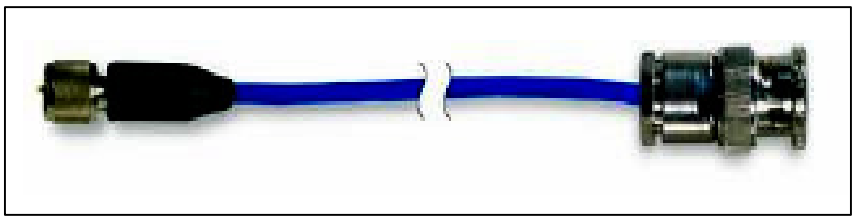
Resim 2.5. Deneyde kullanılan fotoseller

En üstte bulunan ilk fotosel çekicin harekete geçtiği anda zaman ölçüm devresini açar, ortada bulunan fotosel önünden çekiç geçtiği anda ilk zaman ölçümünü alır ve en altta bulunan fotosel ise çekicin harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen toplam zamanı ölçer. Böylelikle çekicin zamana bağlı hız değişimi belirlenmiş olmaktadır [1].

2.1.4. Düşük gürültülü koaksiyal kablo

Bu kablolar, verilerin deney yapıldığı andan itibaren ortaya çıkan sonuçların ve elde edilen verilerin veri toplayıcısına iletilmesi ve bu sayede değerlerin korunarak kaydedilmesini sağlar.

Deneylerimizde PCB Group firmasının imal ettiği 003A20 Model numaralı kablo kullanılmıştır (Resim 2.6). Bu kablo düşük gürültülü koaksiyal bir kablodur.



Resim 2.6. 003A20 Model numaralı kablo

Bu kablolar geniş bir sıcaklık çalışma aralığına sahiptir. Kabloların uzunluğu 6 metre olmaktadır. Kablo çapı 2 mm olup çalışma sıcaklık aralığı -90 ile260 °C'dir. Kablo empedansı 50 ohm dur. Kablo uzunluğu 6 m'dir.

2.1.5. Doğrusal değişkenli fark transformatörler (LVDT)

Doğrusal Değişkenli Diferansiyel Transdüserler hareketi ölçülecek cisme bağlanmış bir manyetik çubuğun, ikisi ikincil, biri de birincil olmak üzere üç adet sarmalın bağlandığı bir borunun birleşiminden oluşmaktadırlar. Ortada bulunan sarmalın uçlarından "referans gerilimi" denilen belirli bir alternatif akım uygulanır ve manyetik çubuk da bu sarmalın ortasında konumlanır. İkincil sarmallar, aralarındaki gerilim farkı ölçülecek şekilde bağlanırlar ve okunan çıkış gerilimi de bu "fark" olur.

Deneyde doğrusal değişkenli fark transformatörleri kullanılmıştır. Transformatörler dübeller yardımı ile kaymayacak şekilde, Resim 2.8'de görüldüğü gibi kirişe monte edilmiştir.



Resim 2.7. Deneyde kullanılan LVDT

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Literatür çalışmaları incelendiğinde betonarme yapıların ve yapı elemanlarının bu çalışmalarda deneysel olarak incelenme payı çok büyüktür. Genellikle statik ve dinamik yatay yükler ve bunların betonarme yapı ile elemanlarına olan etkisi akademik çalışmalarda daha çok inceleme alanı bulan konulardır. Özellikle patlayıcıların veya çeşitli yapı elemanlarının çarpışma etkisi altındaki davranışları ve bu konu ile ilgili analizler oldukça azdır. Patlayıcıların etkisi incelenirken yapılması gereken deneysel çalışmaların maliyetli ve ayrıca daha zor koşullarda olması, bu konu hakkında inceleme alanının az olmasının başlıca nedenidir. Ayrıca deneyler yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta, patlayıcılar konusunda deneyimli uzman eksikliğidir. Bu nedenle etkili ve eğitimli uzman gerekmekte ve patlayıcı temininin de önemli hukuksal prosedürlere dayanmasından dolayı, yapılan çalışmaların çoğu eski tarihli veya askeri kaynaklıdır.

Özellikle çalışma yapılan çalışma sayısının kısıtlı olduğu görülen bu konudaki çalışmaların literatüre önemli bir katkı sağlayacağı aşikardır. Yatay taşıyıcı olan kirişlerin önemli bir yapı elemanı olduğu düşünülürse, herhangi bir çarpışma veya patlayıcı etkisindeki kirişdeki ağır hasar ve göçmenin, yapıda o kısımda bir göçmeye sebep olacağı gibi yapıdaki değişken yük dağılımı sonucunda diğer taşıyıcı elemanlarında etkilenerek göçmeye sebep olabileceği görülür. Bu sebeple stratejik yapıların patlayıcılara karşı güvenli olarak tasarlanmaları gereklidir. Bu tasarımların gerçekleştirilebilmesi için yapıların yakınında meydana gelen patlayıcı etkisinin yapılar üzerinde oluşturacağı yükleme profillerinin bilinmesi son derece önemlidir. Bu konuda yürütülecek deneysel çalışmalar sonrasında bilgisayar ortamında yapılacak modellemeler ile deneysel verilerin sayısının artırılması çalışmanın bir diğer hedefidir.

Labaratuar ortamında yapılan deneysel çalışmada, betonarme CFRP ile güçlendirilmiş kiriş elemanların çarpma yükleri etkisi altında davranışları incelenmiştir. Serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğiyle çarpma kuvveti ani olarak etki ettirilmiştir. Deney elemanları donatısız olarak üretilmiştir. Deneyde seçilen ana değişkenler ise CFRP şeritlerin yapıştırma boyu, ankraj kullanılıp kullanılmaması, ankraj türü ve ankraj sayısıdır.

3.1. Deney elemanı hazırlanırken kullanılan malzemeler

Agrega; beton yapı malzemeleri arasında en yaygın kullanılan malzemedir. Bu nedenle yapının güvenliği açısından çok önemlidir. Betonun yaklaşık %60-70 'i agrega denilen malzemeden oluştuğu için ve agregaların özellikleri kendisinden yapılan betonun özelliklerine aynen yansıması sebebi ile agrega özelliklerinin iyi bilinmesini gerektirmektedir.

Agrega kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adıdır. Kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum…) ve kaba (çakıl, kırma taş…) agregalar olarak ikiye ayrılır.

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır:

1. Tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706'nın gereklerini yerine getirmelidir. Boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır.

2. Tane şekli kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir.

3. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalıdır. Aşınmaya dayanımlı olmalıdır.

4. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılan agrega, dona dayanıklı olmalıdır.

5. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemelidir.

6. Organik kökenli ve hafif maddeler içermemelidir.

7. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen *sülfatlar*, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı *tuzlar ve klorür* içermemelidir.

8. Betonda alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir.

Çimento esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır. Su ile reaksiyona girer ve agregaların etrafını kaplar. Tanelerin arasındaki boşlukları doldurur.

Çimentolar 28 günlük basınç dayanımı en az 32,5 N/mm2, 42,5 N/mm2 ve 52,5 N/mm2 olan üç farklı dayanım sınıfında üretilirler.

Çimento nem olmayan kapalı alanlarda saklanmalıdır. Depoların pencere ile kapıları mutlaka sağlam ve yağmur geçirmez olmalıdır. Deponun ya da kapalı alanının içinde bulunan çimentolar ile başka bir kimyasal madde ya da sıvı katiyen temas etmemelidir. Depo zemininin şartları düzeltilmeli ve eğer depoya gelecek olan çimento sayısı çok yüksek ise depo zemini su geçirmeyen bir malzeme ile kaplanıp çimentonun su ile teması engellenmelidir. Çimento torbaları depo ya da saklama odasının zemini ile direk olarak temas etmemelidir. Çimento torbaları yerden 10 ila 15 santimetre kadar yüksekte ve herhangi bir ahşap yüksekliğin üzerinde olmalıdır. Çimentoların zarar görmemesi için üst üste 10 çimento torbasından daha fazla konmamalıdır. Çünkü 10 adet torbadan fazlası en alttaki torbalarının zarar görmesine neden olur. Düzgün bir şekilde çimento torbalar istif edilmelidir ve bu torbalar arasında cereyan yani hava akımının olmamasına dikkat edilmelidir. Çimento torbaları saklama alanında ya da depolarda hem üst üste hem de yan yana gelecek şekilde dizilmelidir. Merdiven şeklinde yapılacak dizim şekli torbaların daha sonra çok daha kolay bir şekilde alınmasını sağlayacaktır. Çimentolar saklama yerinden ya da depolardan alınacağı zaman hep aynı sıradan değil ara ara farklı sıralardan da alınarak depodan taşınmalıdır. Çimento poşetleri çok uzun bir süre depolarda saklanacak ise mutlaka üzerlerine kalın naylonlar geçirilmelidir. Çimento torbaları kullanılmaksızın 3 aydan daha fazla bir süre bekletilmemelidir. Depodan çimento satışı yapılacak ise en son sıraya dizilen çimento değil ilk sıraya dizilen çimento satılmalıdır. Zarar görmüş olan çimento torbaları kullanılmamalı ve atılmalıdır.

Su betonun yapısında kullanılan ve kimyasal reaksiyonları başlatan ve reaksiyon sonucunda ortaya çıkan üründe işlenebilirliği ve akıcılığı (kıvam) sağlayan önemli bir malzemedir.
Kullanılacak su;

- Temiz olmalı,
- Tuzlu olmamalı,
- Yağ bulunmamalı,
- Asit bulunmamalıdır.

Çimento, su ve agreganın belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan ve kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan malzemeye beton denir. Betonun dayanımı çok önemlidir. Basınç dayanımı yüksek ve çekme dayanımı çok düşüktür.

1 m^3 beton yaklaşık (hacim olarak): %10 çimento, %70 agrega (kum, çakıl, kırma taş), %20 su karışımından oluşturulabilir.

1 m^3 beton yaklaşık (Kütle olarak) 2400 kg: 300 kg çimento, 800 kg Kum+1100 kg çakıl, kırma taş, 200 lt su karışımından oluşturulabilir.

Betonun mimari ve statik açıdan gerekli formu almasını sağlayan ve beton yeterli dayanım kazanıncaya kadar onu taşıyan yardımcı yapı elemanlarına 'KALIP' denir. Kullanılan malzemeye göre ahşap ve beton kalıp olmak üzere ikiye ayrılır. Ahşap kalıp su emmeye ve bozulmaya yatkındır. Bu kalıplar ile kolon, kiriş, duvar, döşeme ve çatı elemanları ile tüm yüzeysel taşıyıcılar yapılabilir. Çelik kalıplar, sıva gerektirmeyen, düzgün pürüzsüz beton yüzeyler elde etmek için idealdir.

Kalıbın başlıca özellikleri; betonarme elemanlara gerekli boyut ve şekli vermek, taze beton ağırlıklarını, basınçlarını ve beton dökümü sırasında ortaya çıkan ilave yükleri taşımak, beton dökümü sırasında ortaya çıkabilecek darbe ve titreşim etkilerine dayanmak, gerekli durumlarda çalışma ve iletim döşemesi gibi de kullanılmak, şeklinde özetlenebilir. Beton teknolojilerindeki gelişmeler sonucu yapı elemanları daha narin ve detaylı yapılabilmekte bu durumda da işlenmiş birim betonda kalıp maliyetlerinin payı artmaktadır. Kalıp maliyetlerinde de kalıp işçiliği payı kalıp malzeme maliyetinin yaklaşık üç katı kadardır. Beton ve donatı maliyetleri çok değiştirilemediği için kaba inşaat maliyetlerindeki bir ekonomi kalıp maliyetlerinin azaltılması ile mümkün olabilecektir. Bu nedenlerle kalıplanacak elemanın boyutlarına göre şantiyede kalıp tahtaları, kalaslar, dikmeler, çiviler ve bağlantı elemanları ile teşkil edilen ve kalıp alındıktan sonra sökülen "klasik kalıplama" yerini yeni ve rasyonel "kalıp sistemleri" ne bırakmaktadır.

Deneysel çalışmamızda karbon fiber katkılı kumaş malzeme kullanılmıştır. Kullanılan CFRP'nin özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. CFRP'nin özellikleri

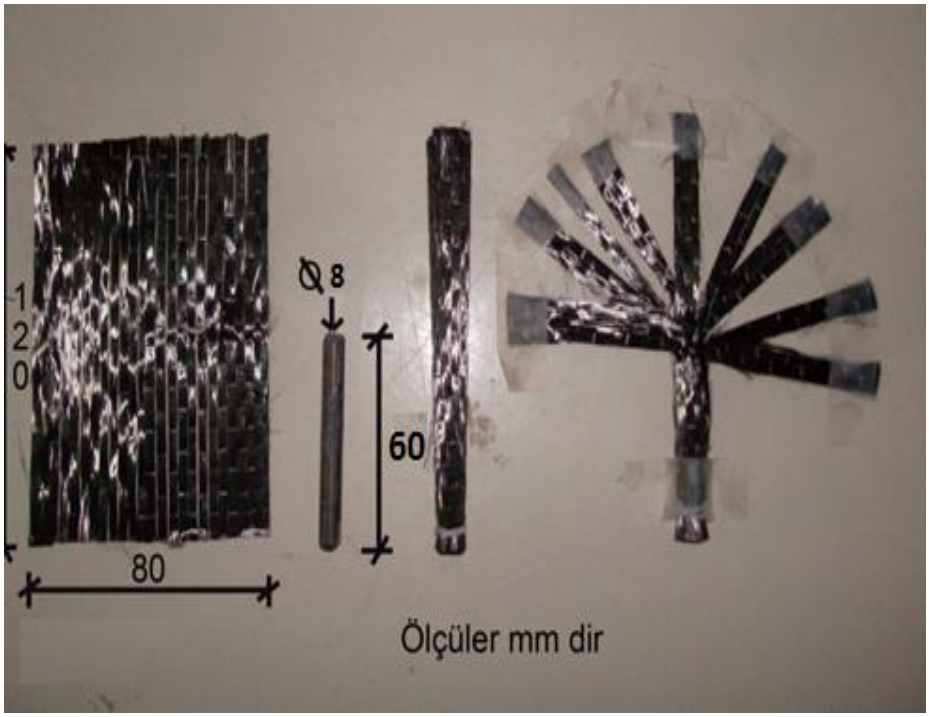
Ağırlık	220 gr/m^2
Kalınlık	0,12 mm
Çekme Dayanımı	4100 MPa
Elastisite Modülü	231.000 MPa
Kopmadaki Uzama	% 1,7
Lif Yapısı	%99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif

Deneysel çalışmada kullanılan epoksi'nin özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Epoksinin özellikleri

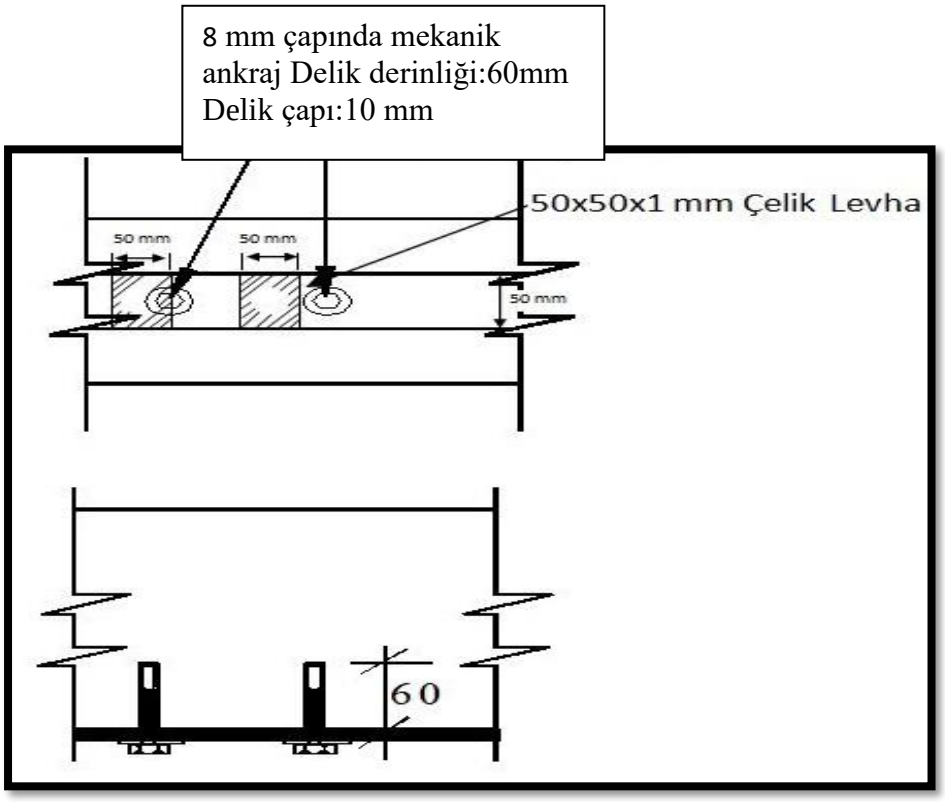
Yoğunluk	1,31 kg/lt
Karışım Oranı	Beyaz Reçine:Gri Reçine = 4:1
Uygulama Sıcaklığı	min +10°C, max +35°C
Çekme Dayanımı	30 MPa (+23°C de 23 günlük kürden sonra)
Eğilmede Elastisite Modülü	3800 MPa (+23°C de 23 günlük kürden sonra)

Deneysel çalışmamızın en önemli değişkenlerinden biri ankrajdır. Çünkü çalışmamızda numunelerimiz ankrajlı, ankrajsız ve ankraj uygulama tipi değiştirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan fan tipi ankrajlar, 60 mm uzunluğunda 8 mm çapındaki donatıya, 80 mm genişliğinde 120 mm uzunluğunda CFRP şerit sarılarak üretilmiştir. CFRP şeritlerde donatının dışında kalan 60 mm'lik kısım 10 mm genişliğinde 8 adet CFRP şerit fan şeklinde ayrılmıştır. Hazırlanan ankrajların detayı aşağıda Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1. Fan tipi ankraj detayı

Diğer bir ankraj uygulama çeşidimiz ise mekanik ankrajdır. Mekanik ankraj Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil.3.1. Mekanik ankraj detayı

Deney elemanlarında ankraj uygulanacak noktalar tespit edilerek işaretlemesi yapılmıştır. Ankraj uygulaması yapılması için 12 mm çapında 60 mm derinliğinde delik açılmıştır. Basınçlı hava yardımı ile delik içerisinde toz parçaları kalmaması sağlanmıştır.

Yüzeydeki gerinimleri ölçmek için Strain Gaugeler kullanılmıştır. Strain Gaugeler 30 mm aralıkla yapıştırılmıştır. Çizelge 3.3'de kullanılan etkin şerit boyuna göre uygulanan Strain Gauge sayısı gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan Strain Gauge sayısı

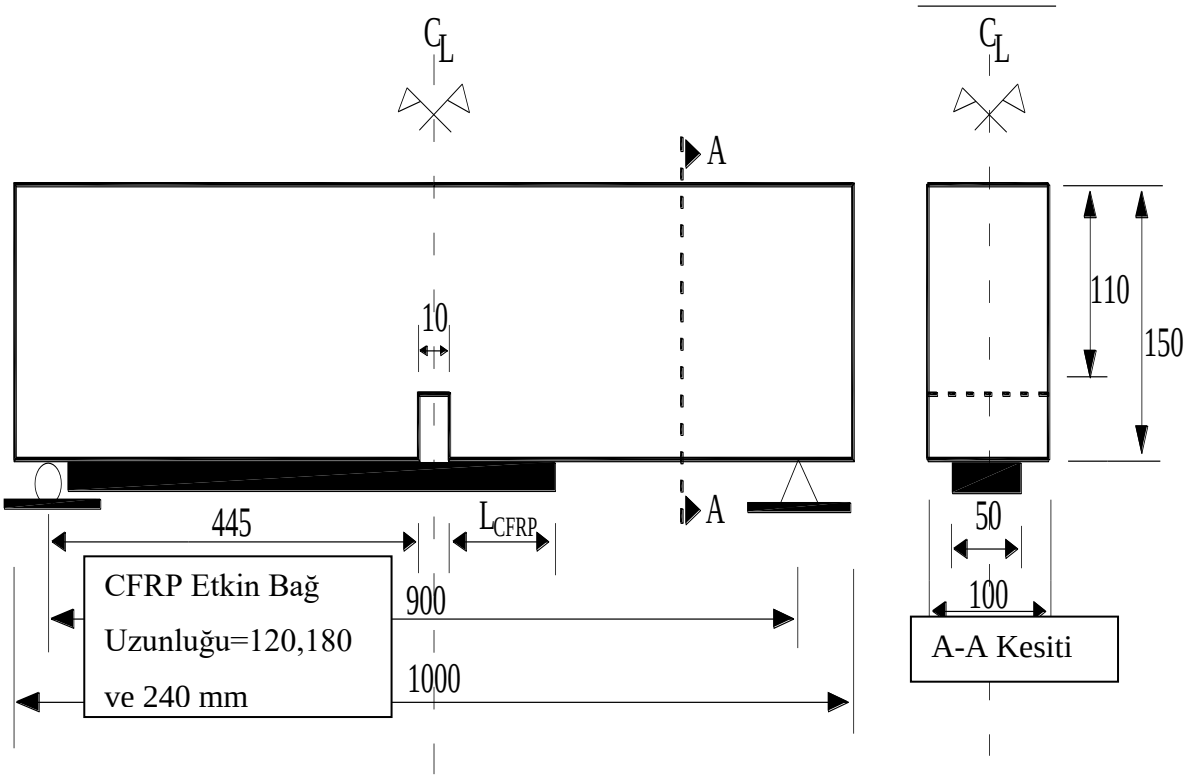
Etkin CFRP Boyu	Strain Gauge Sayısı	Deney elemanı Sayısı	Toplam
120 mm CFRP şeride	5 Adet	4 deney elmanı	Toplam 20 Adet
180 mm CFRP şeride	7 Adet	4 deney elmanı	Toplam 28 Adet
240 mm CFRP şeride	9 Adet	4 deney elmanı	Toplam 36 Adet
		Genel Toplam	84 Adet

3.2. Deney Düzeneği ve Hazırlanması

Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü labaratuarlarında ve ağırlık düşürücü deney düzeneği kullanılarak yapılan deneysel çalışmamızda CFRP fan tipi ankrajlı ve ankrajsız deney elemanları hazırlanıp, daha sonra deney düzeneği yardımıyla deneylerimiz yapılmış olup veriler bilgisayar ortamında aktarılıp kaydedilmiştir. Ortaya çıkan verilere göre grafikler çizilip CFRP fan tipi ankrajla güçlendirilmiş kirişlerin ani çarpışma etkisi altındaki davranışı hakkında gözlem ve sonuçlara dayalı yorum yapılmıştır.

Deneysel çalışmamızda kirişleri oluşturmak için beton dayanımı 25 MPa olan beton oluşturulmuştur.

Deney elemanı olarak oluşturulan kirişlerin kesitleri ve özellikleri seçilirken literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş ve oransal olarak küçültülerek labaratuar ortamına taşınmıştır. Deney elemanının boyutları Şekil 3.2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2. Deney elemanının özellikleri

Deneysel çalışmada kiriş kesitleri, boyu ve CFRP genişliği sabit tutulup çeşitli değişkenler kullanılarak deney verileri elde edilmiştir. Deney ölçeği 1/3 olarak seçilmiştir. Deney elemanlarımız basit mesnet ile sabitlenerek deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmada incelenecek olan değişkenler:

1) CFRP şerit efektif yapışma boyu (L_{CFRP}= 120, 180 ve 240 mm)
2) Ankraj sayısı (n= 0 (ankrajsız), 1 ve 2)
3) Ankraj türü (CFRP fan tipi, mekanik ankraj) olarak seçilmiştir.

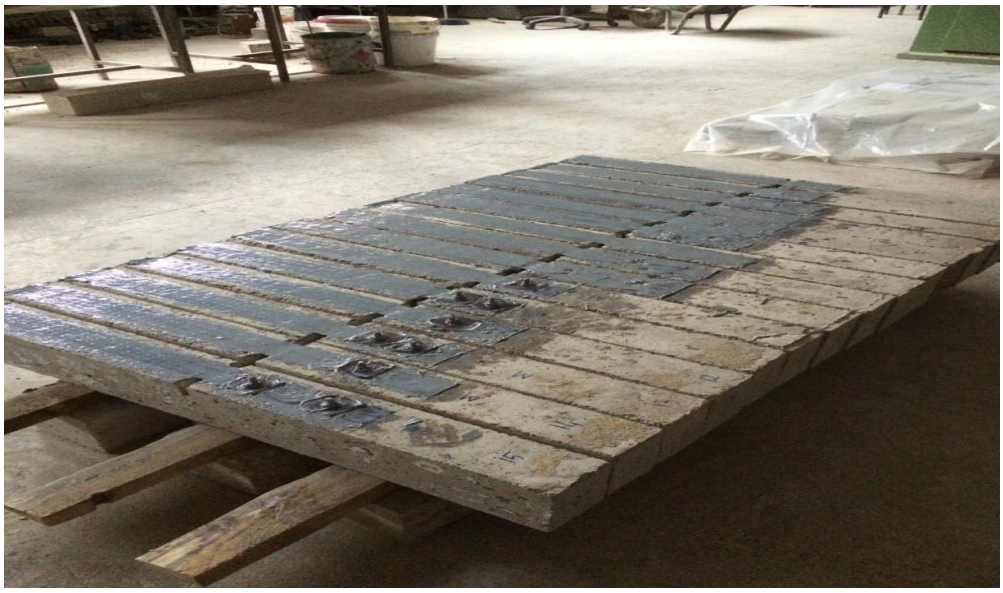
Deney elemanları hazırlanırken kalıplar temizlenip monte edilerek yağlanmıştır. Kalıplar beton dökümü için hazır hale geldikten sonra beton döküm işlemi yapılmıştır. Beton dökme işlemi yapıldıktan sonra vibrasyon işlemi yapılıp en son olarak yüzey düzeltme işlemi yapılmıştır. Beton dökümü ardından deney elemanları ve numuneler kalıptan çıkartılmıştır. Kürünü alması için üzerleri bezle örtülerek, zaman zaman ıslatılarak ve nemin hızla kaybolmaması için naylonla kaplanarak çatlak oluşumu da önlenmeye çalışılmıştır.

Deney elemanlarını hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra ölçüm aletlerini numunelerin üzerine yerleştirmek için delikler açılmıştır. Öncelikle yerleri belirlenip işaretlenen delikler daha sonra temizlenip dübellenerek montaja hazır hale gelmiştir. Monte edilen bu aletler sayesinde deney anında ortaya çıkan veriler alınıp siteme kaydedilebilmiştir. Deney elemanlarının hazırlanışı Resim 3.2'de gösterilmiştir.



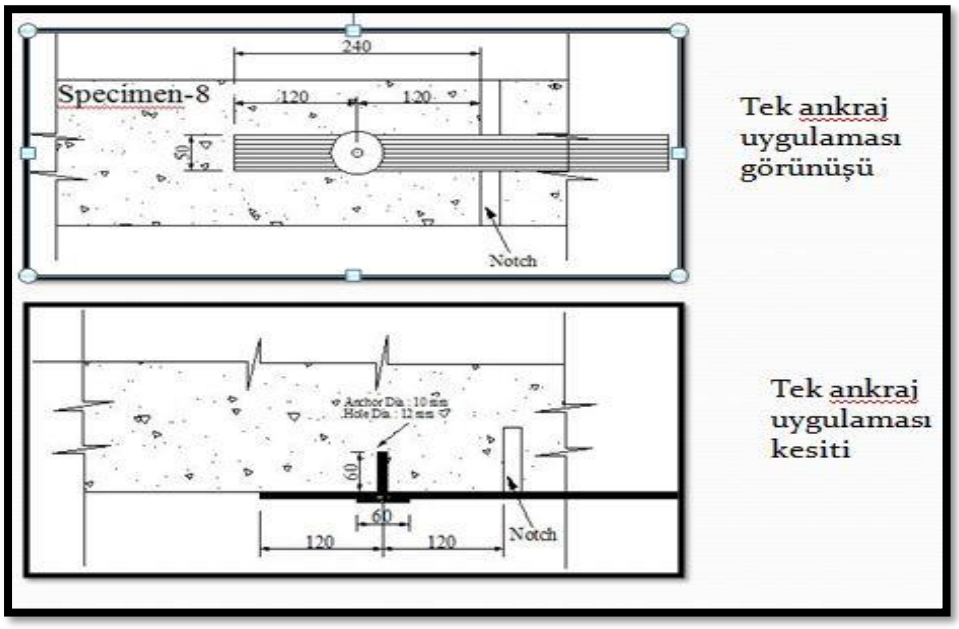
Resim 3.2. Deney elemanlarının hazırlanışı

Deney elemanları hazırlandıktan sonra CFRP şeritler yapıştırılmıştır. Tek ankrajlı, ankrajsız ve çift ankraj uygulamalı kirişler Resim 3.3'te gösterilmiştir.



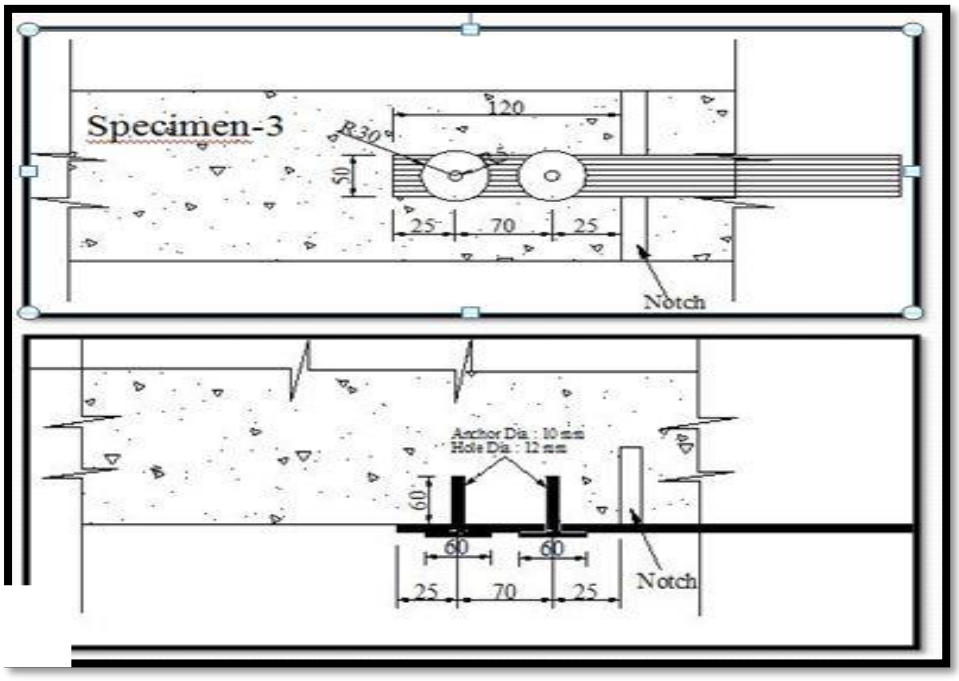
Resim 3.3. Deney elemanları

Deney elemanlarına tek ya da çift ankraj uygulanmış olup, Şekil 3.3'de tek ankraj uygulanan deney elemanının özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Deney elemanlarına uygulanan ankrajlama yöntemi örneği (Tek Ankraj)

Bazı deney elemanlarına iki ayrı noktadan CFRP şerit ankrajlanmış olup mekanik ve fan tipi ankraj çeşitleri uygulanmıştır. Şekil 3.4'te çift ankraj uygulanan deney elemanının özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Deney elemanlarına uygulanan ankrajlama yöntemi örneği (Çift Ankraj)

4. DENEYLERİN YAPILMASI

Deney elemanları olan kirişler uygun şekilde hazırlandıktan sonra kirişler ağırlık düşürücü deney düzeneğine yerleştirilip 15 adet deneyden oluşan çalışma isimlendirilerek başlatılmıştır.

Deney elemanlarımız deney özelliklerine göre isimlendirilmiştir. İlk olarak referans deneyleri yapılmıştır ve bu deneyler ankraj kullanılmadığı için "0" ile belirtilip daha sonra sonuna CFRP yapıştırma boyu eklenmiştir. Daha sonra ankraj kullanılan deneyler yapılmıştır. İlk olarak ankraj çeşidi, daha sonra ankraj sayısı ve en sonada CFRP yapıştırma boyu yazılarak isimlendirme yapılmıştır. Çizelge 4.1'de isimlendirmelere ait bilgiler özetlenerek verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının isimlendirilmesi ve özellikleri

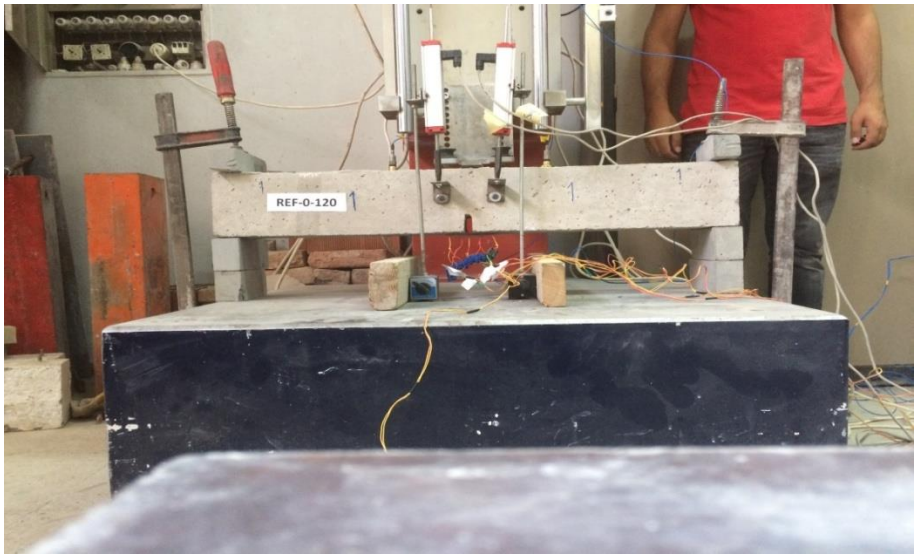
Numune No	Ankraj türü	Ankraj Sayısı	Yapışma Boyu(mm)	Deney Elemanı İsmi
1	-----	0	120	REF_0_120
2	Fan tipi	1		FAN_1_120
3	Fan tipi	2		FAN_2_120
4	-----	0	180	REF_0_180
5	Fan tipi	1		FAN_1_180
6	Fan tipi	2		FAN_2_180
7	-----	0	240	REF_0_240
8	Fan tipi	1		FAN_1_240
9	Fan tipi	2		FAN_2_240
10	Mekanik	1	120	MEC_1_120
11	Mekanik	2		MEC_2_120
12	Mekanik	1	180	MEC_1_180
13	Mekanik	2		MEC_2_180
14	Mekanik	1	240	MEC_1_240
15	Mekanik	2		MEC_2_240

4.1. REF_0_120 İsimli Deney Elemanı

İlk olarak CFRP yapışma boyu 120 mm olan ve ankraj uygulanmadan hazırlanan deney elemanı test edilmiştir. Numune üzerine ölçüm düzeneği de yerleştirilip 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında

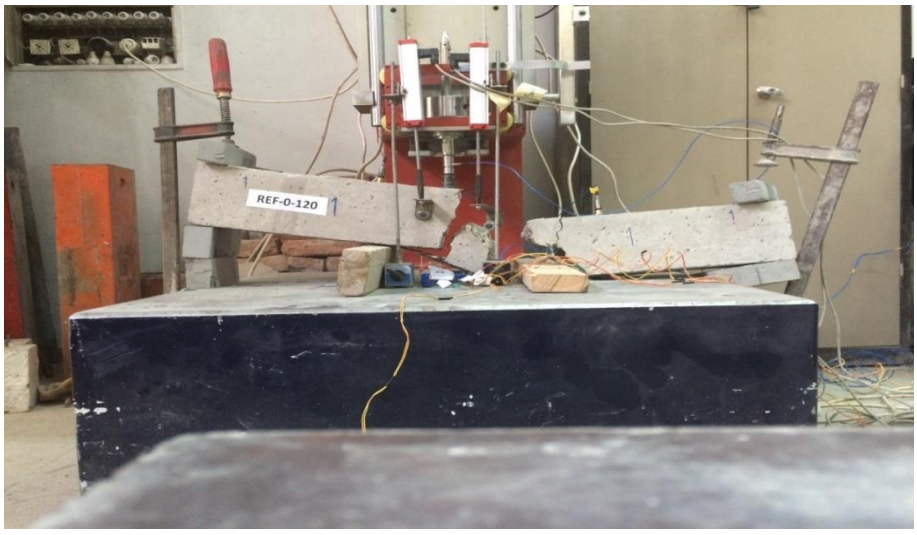
deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır.

Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.1'de gösterilmiştir.



Resim.4.1. Bir nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.2.'de verilmiştir.



Resim.4.2. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.3'de gösterilmiştir.



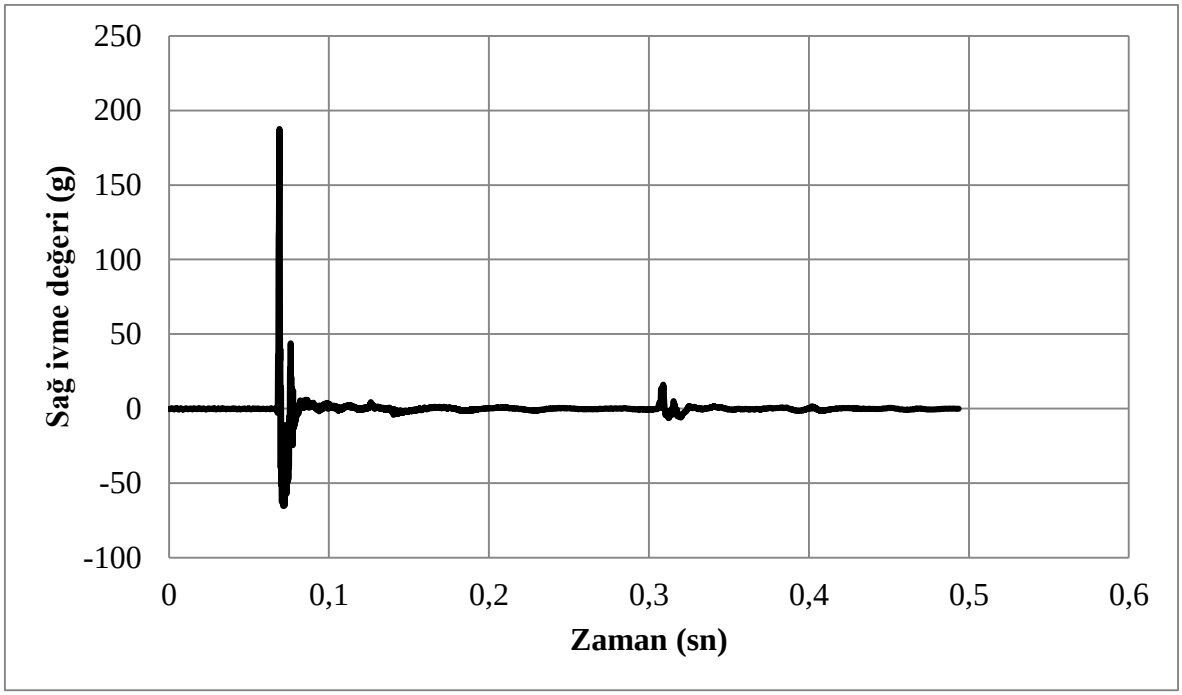
Resim.4.3. Deney elemanının hasar görme mekanizması

Deney sonucu hasar mekanizmasının şeklen görülmesinden sonra sayısal olarakta değerlerinin incelenmesi gerekmektedir. REF_0_120 isimli deney sonuçları Çizelge 4.2'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Deney elemanının sayısal sonuçları

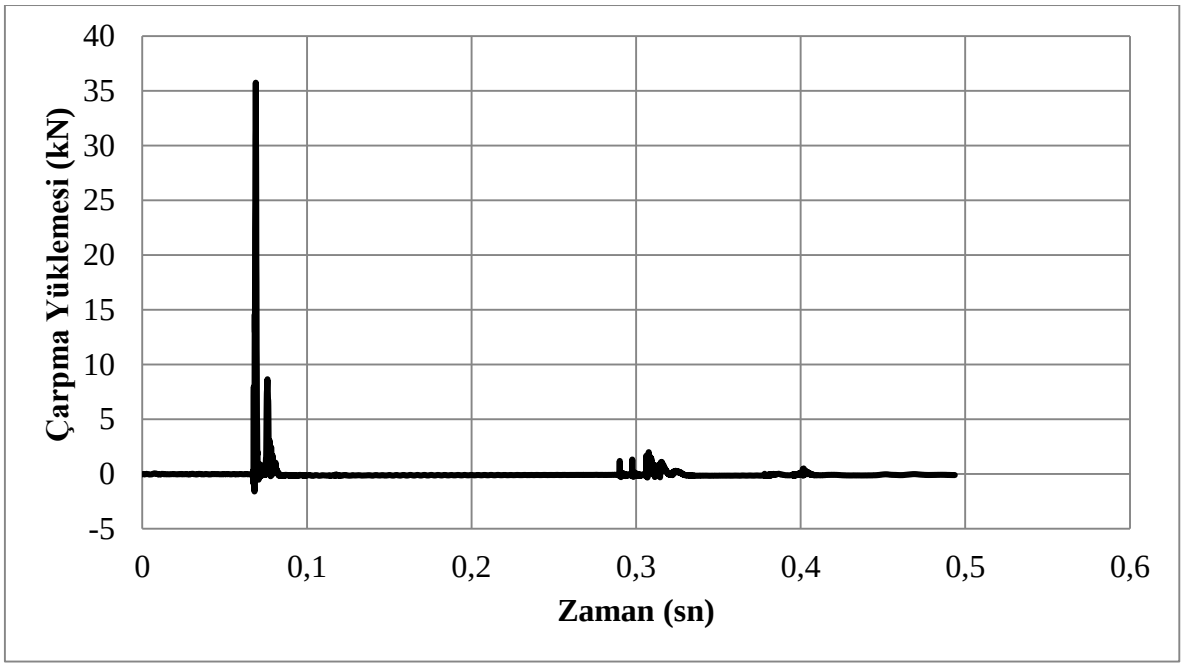
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer değiştirme (mm)	Sağ Yer değiştirme(mm)	Maksimum Gerilme(mm/mm)
Maksimum	192,05	187,67	35,75	45,83	50,98	0,00546
Minimum	-43,92	-65,16	-1,58	-35,53	-61,79	-0,00002
				81,36	112,77	

Beton kiriş deney elemanlarında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



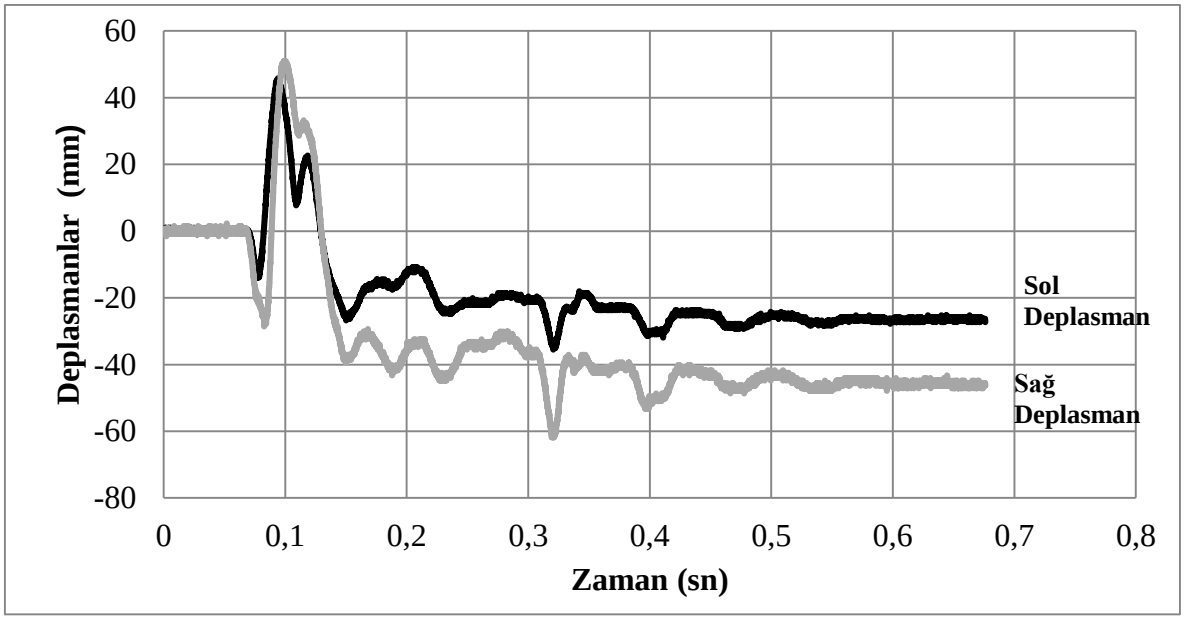
Şekil 4.1. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.2'de sunulmuştur.



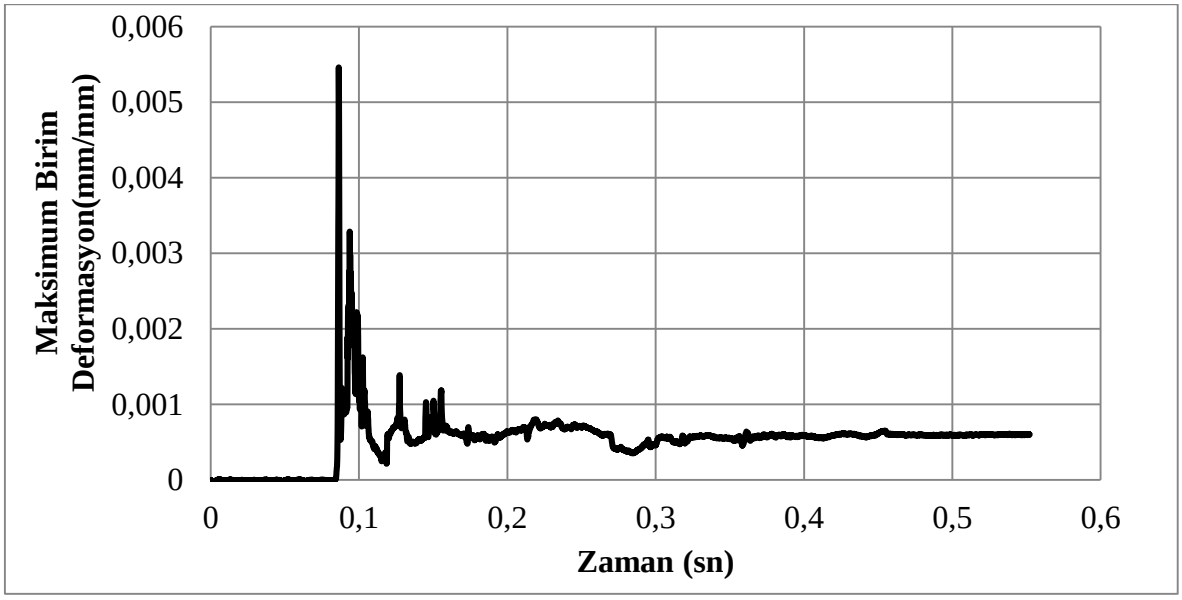
Şekil 4.2. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.3'de verilmiştir.



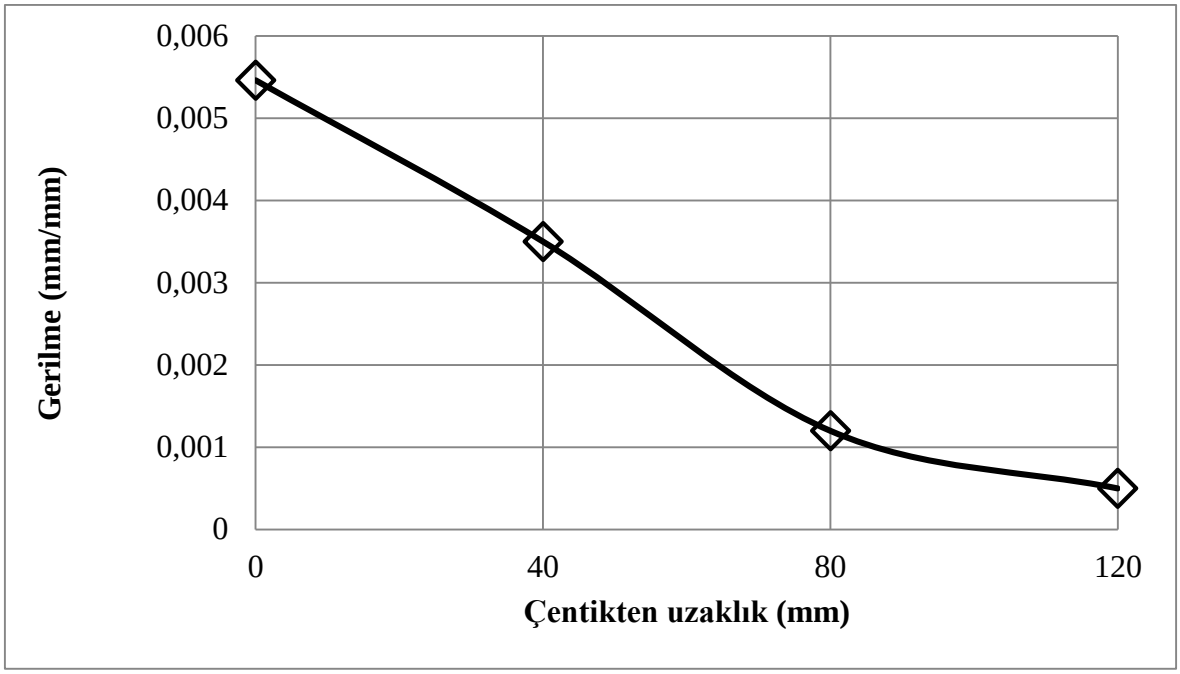
Şekil 4.3. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



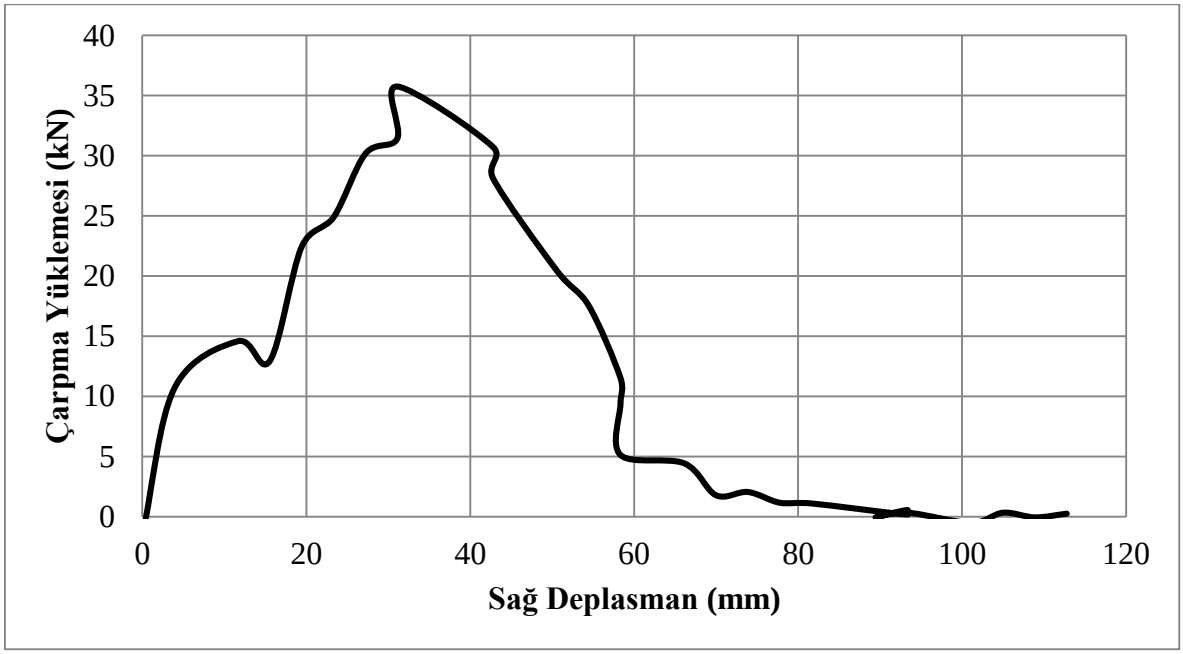
Şekil 4.4. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil.4.5. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

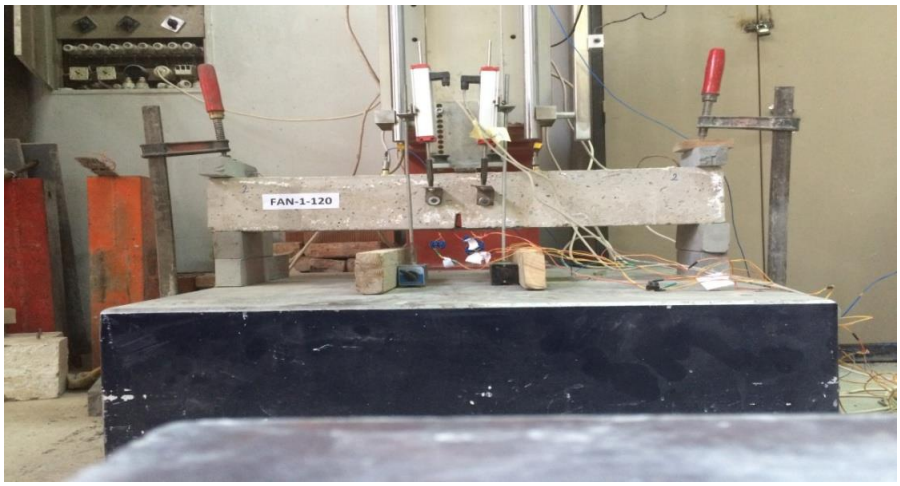
Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi ve sağ deplasman değerleri çarpma yüklemesinin uygulandığı ve maksimum değere ulaştığı zaman aralığında aynı grafikte birleştirilerek beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Yük-deplasman grafiği

4.2. FAN_1_120 İsimli Deney Elemanı

Referans deneyinin ardından CFRP yapışma boyu 120 mm olan ve fan tipi 1 ankraj uygulanan deney elemanı test edilmiştir. Numune üzerine ölçüm düzeneği de yerleştirilip 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.4'de gösterilmiştir.



Resim.4.4. İki nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.5'de verilmiştir.



Resim 4.5. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.6'da gösterilmiştir.



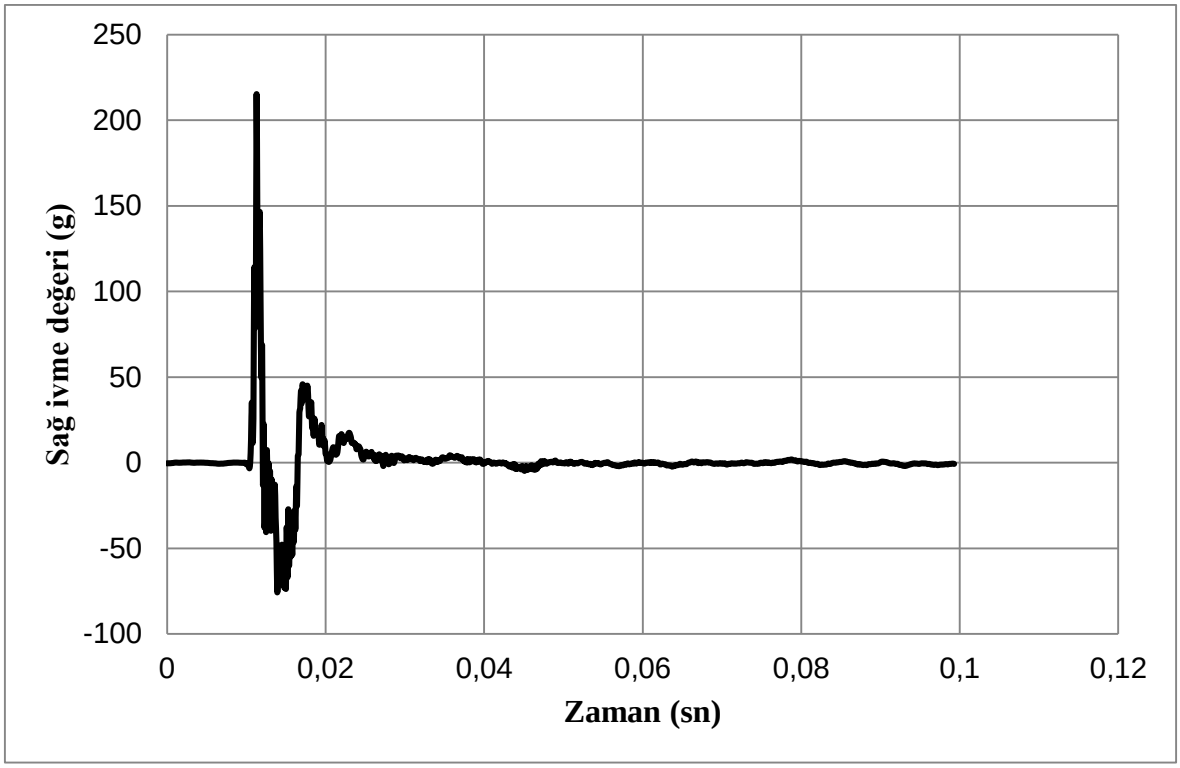
Resim 4.6. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_1_120 isimli deney sonuçları Çizelge 4.3'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.3. Deney elemanının sayısal sonuçları

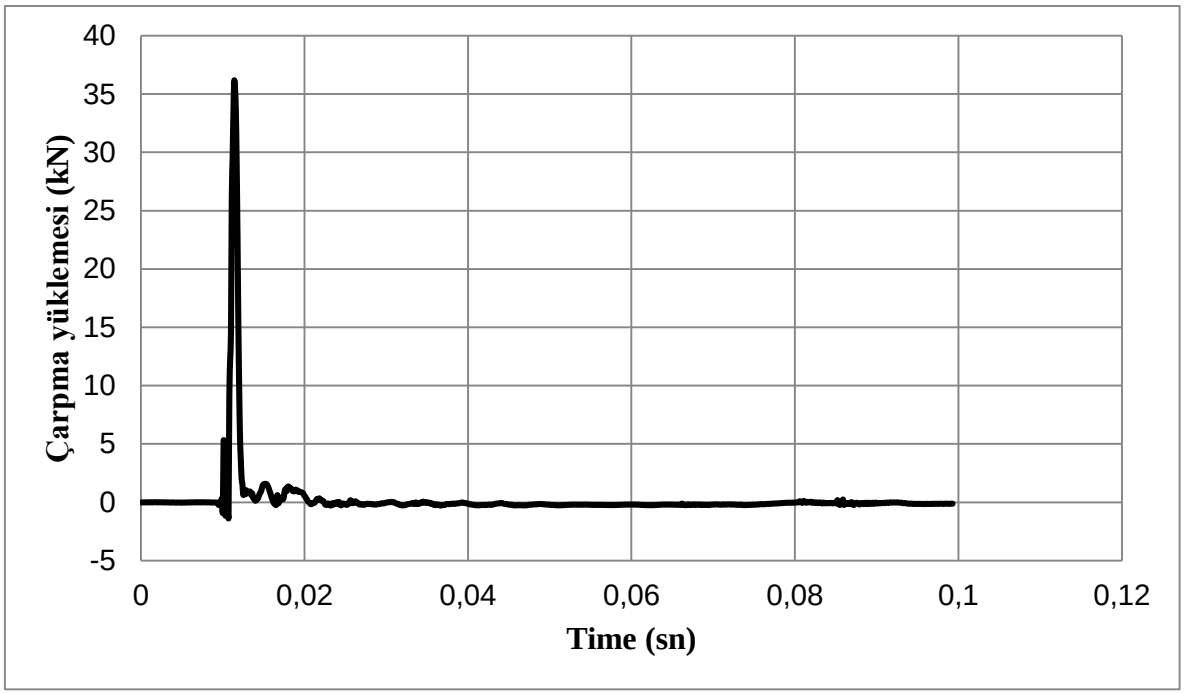
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme(mm)	Sağ Yer Değiştirme(mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	219,82	215,27	36,10	0,23	0,31	0,00663
Minimum	-78,40	-74,96	-1,33	-13,36	-15,91	-0,00004
				13,59	16,22	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



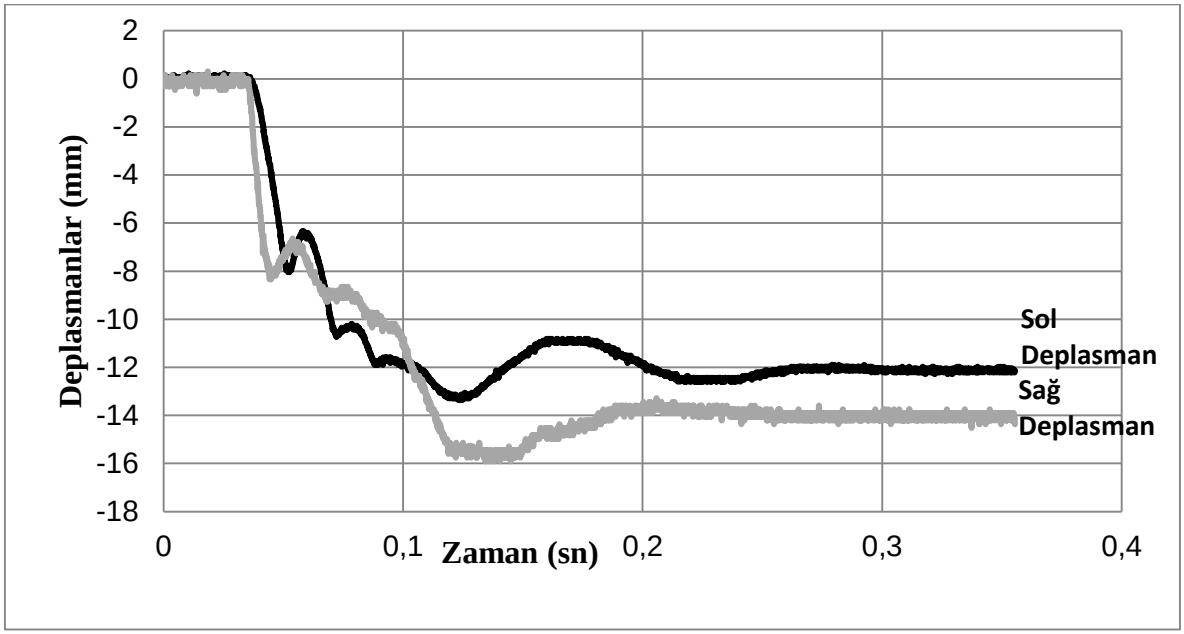
Şekil 4.7. İvme zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.8'de sunulmuştur.



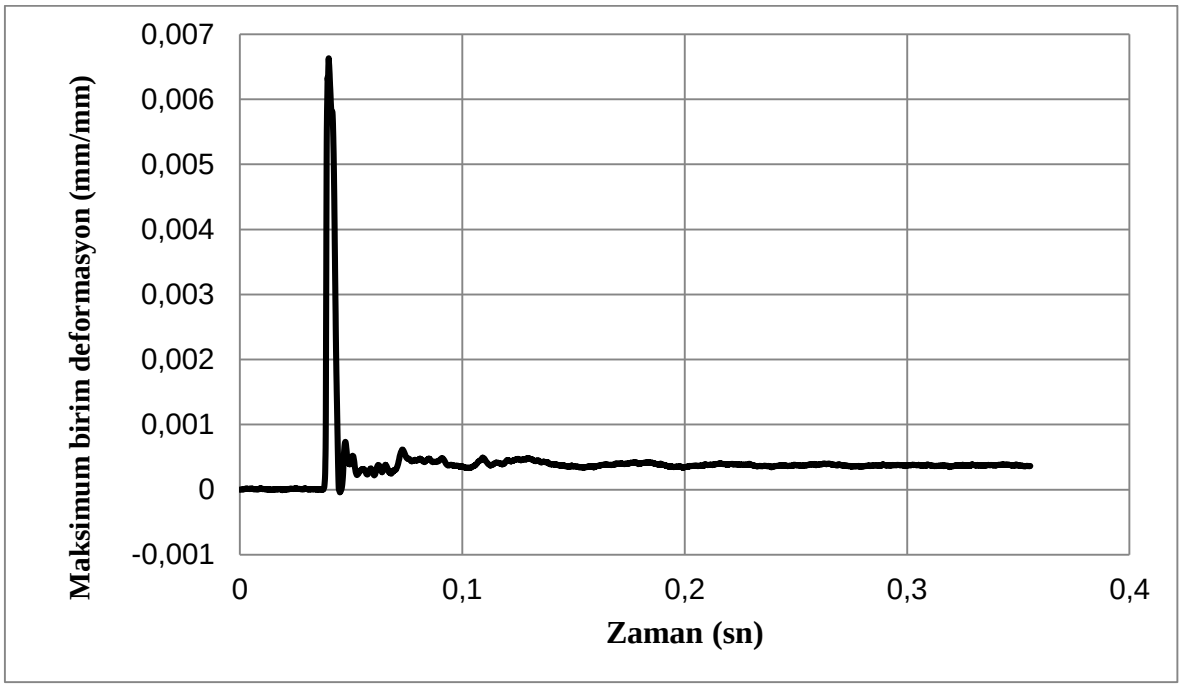
Şekil 4.8. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir.



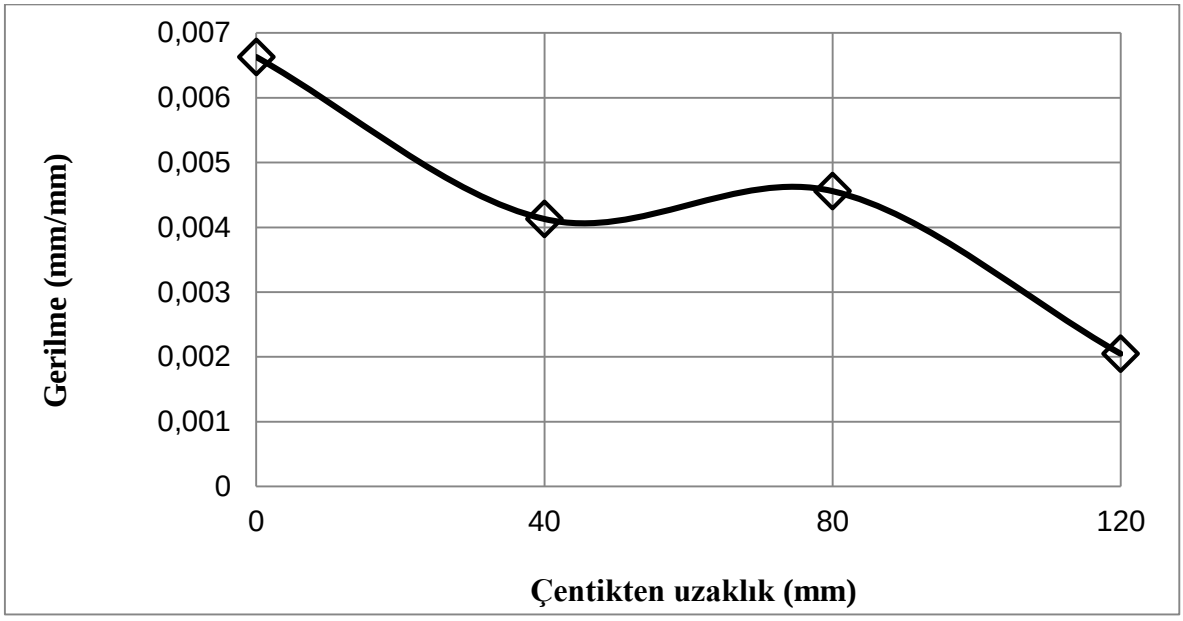
Şekil 4.9. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



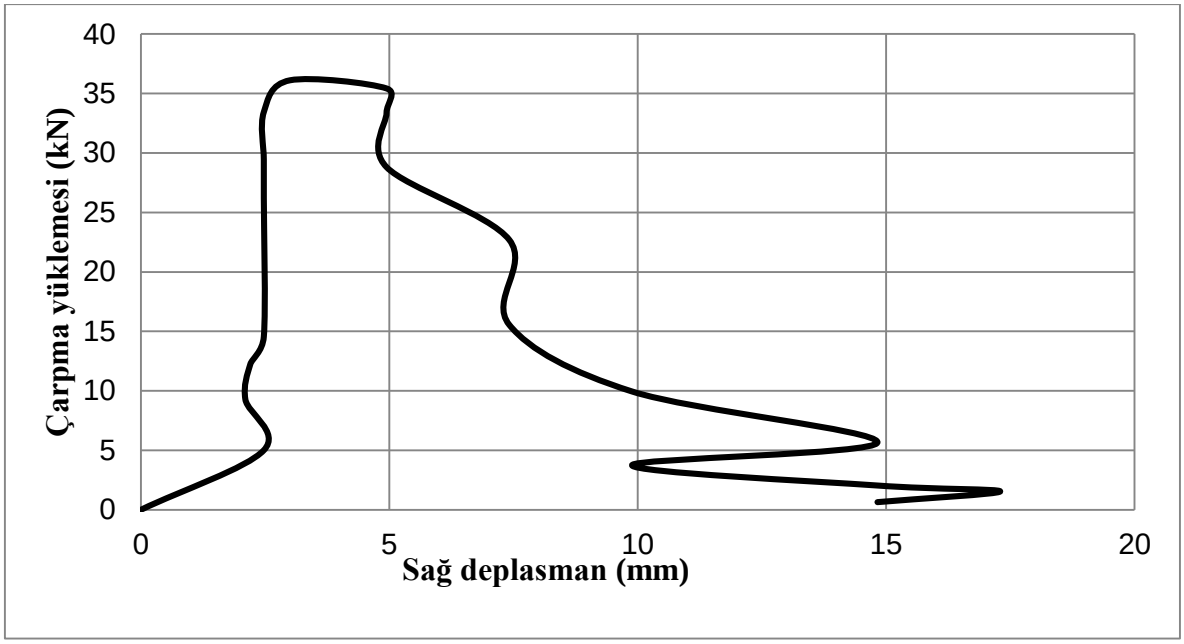
Şekil 4.10. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

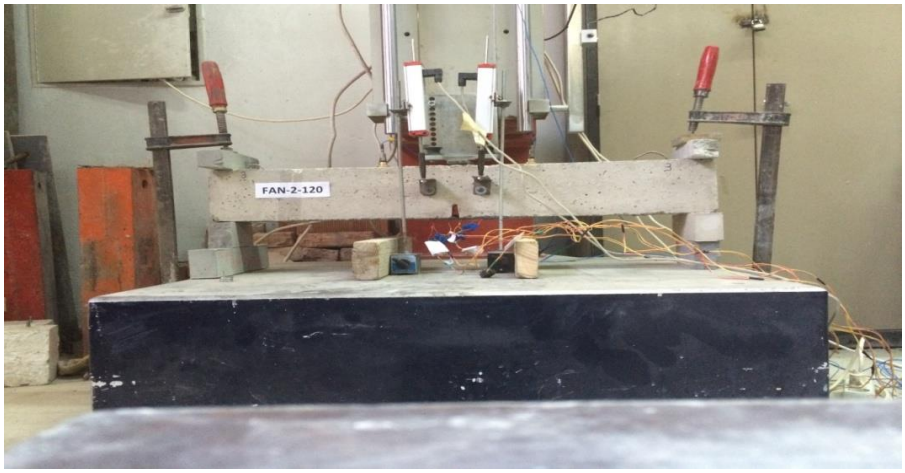
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Yük-deplasman grafiği

4.3. FAN_2_120 İsimli Deney Elemanı

Fan tipi 1 ankraj uygulanarak yapılan deneyden sonra, CFRP yapışma boyu 120 mm olan ve fan tipi 2 ankraj uygulanan deney elemanı test edilmiştir. Numune üzerine ölçüm düzeneği de yerleştirilip 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.7'de gösterilmiştir.



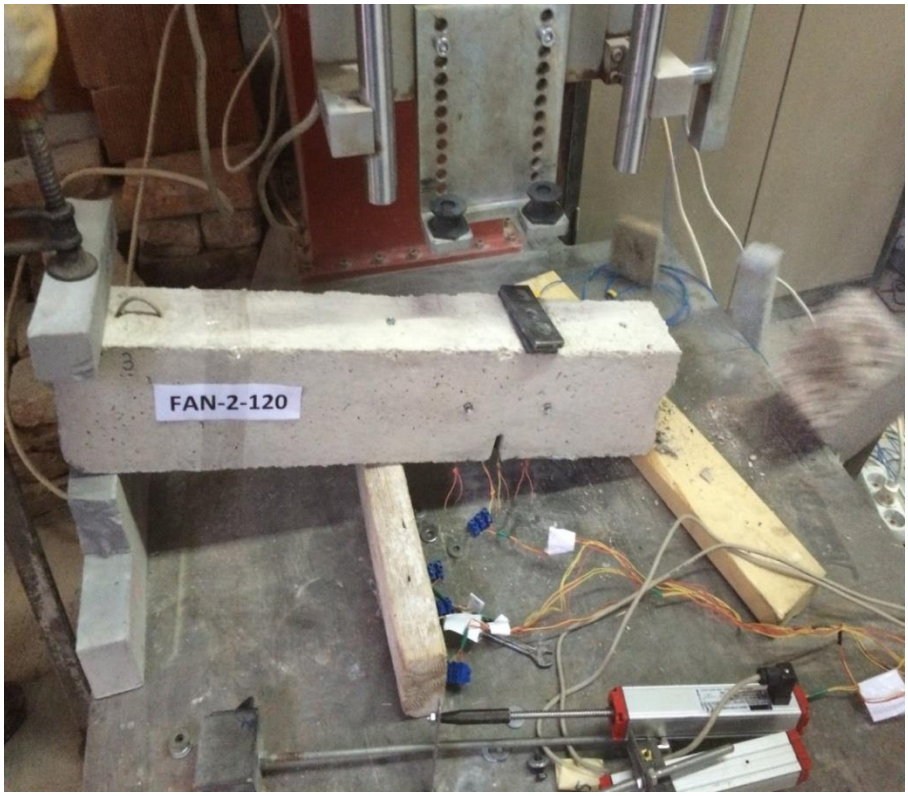
Resim 4.7. Üç nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.8'de verilmiştir.



Resim 4.8. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılan deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.9'da gösterilmiştir.



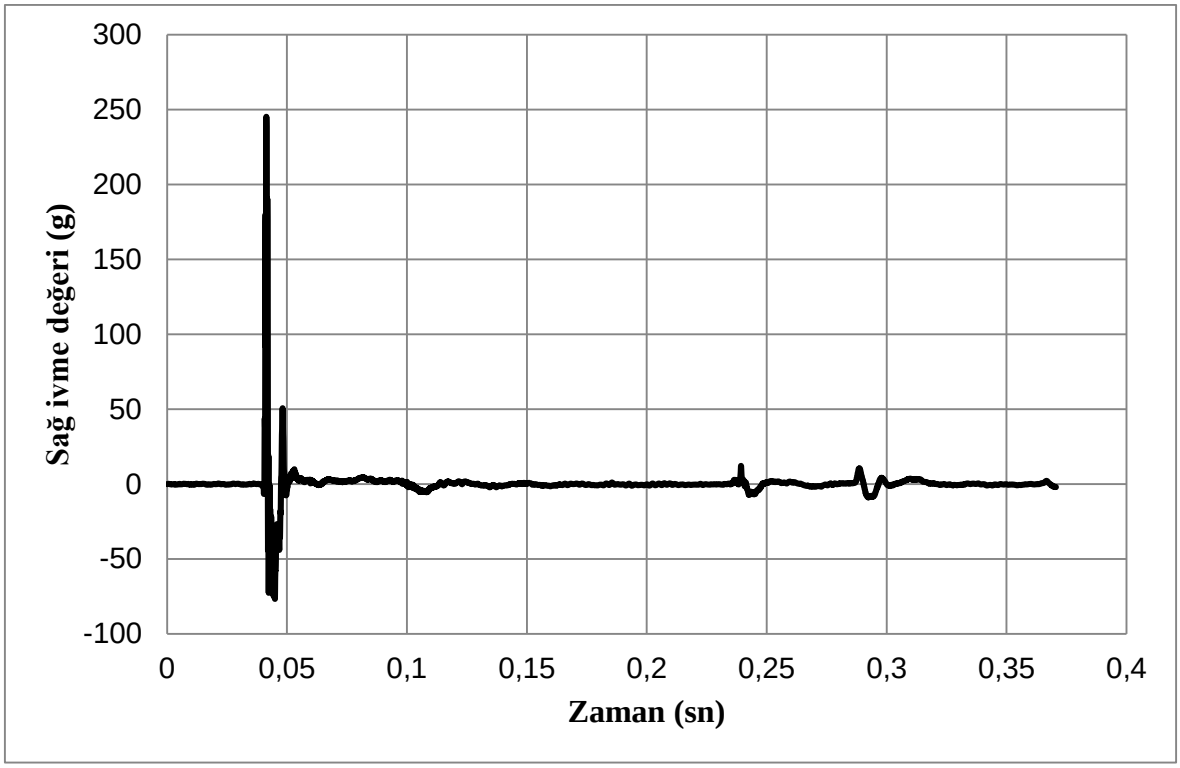
Resim 4.9. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_2_120 isimli deney sonuçları Çizelge 4.4'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.4. Deney elemanının sayısal sonuçları

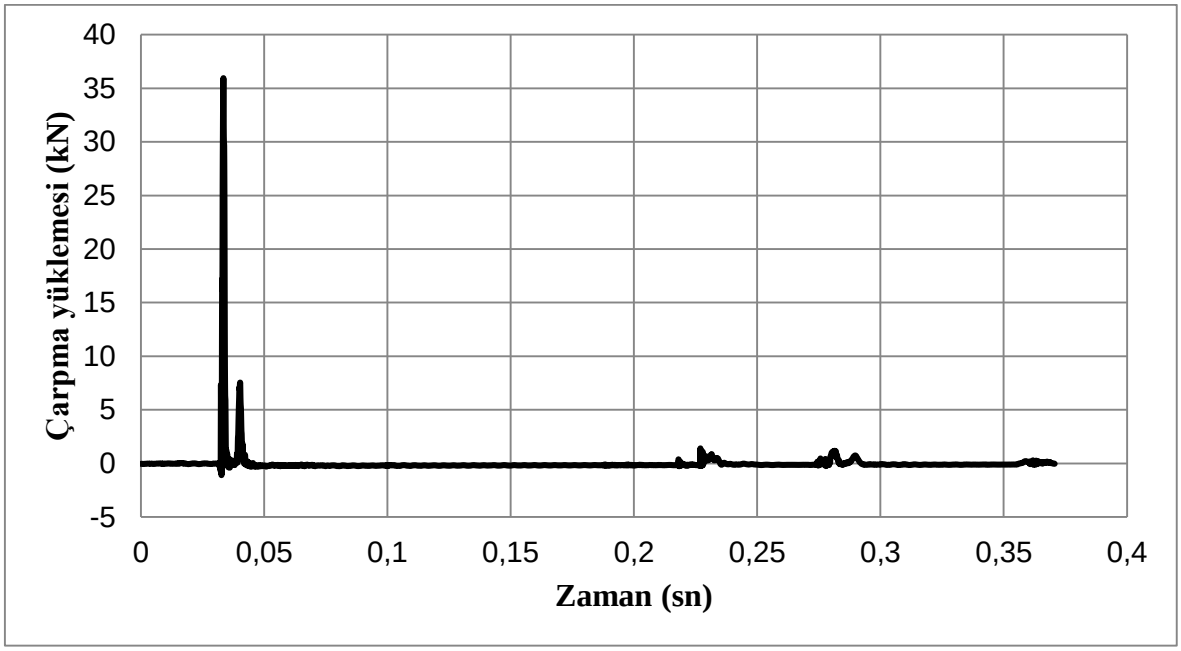
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük(kN)	Sol Yer Değiştirme(mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme(mm/mm)
Maksimum	251,74	245,16	35,95	3,50	6,28	0,00720
Minimum	-78,75	-76,66	-1,08	-6,08	-3,79	-0,00008
				9,58	10,07	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.13'de verilmiştir.



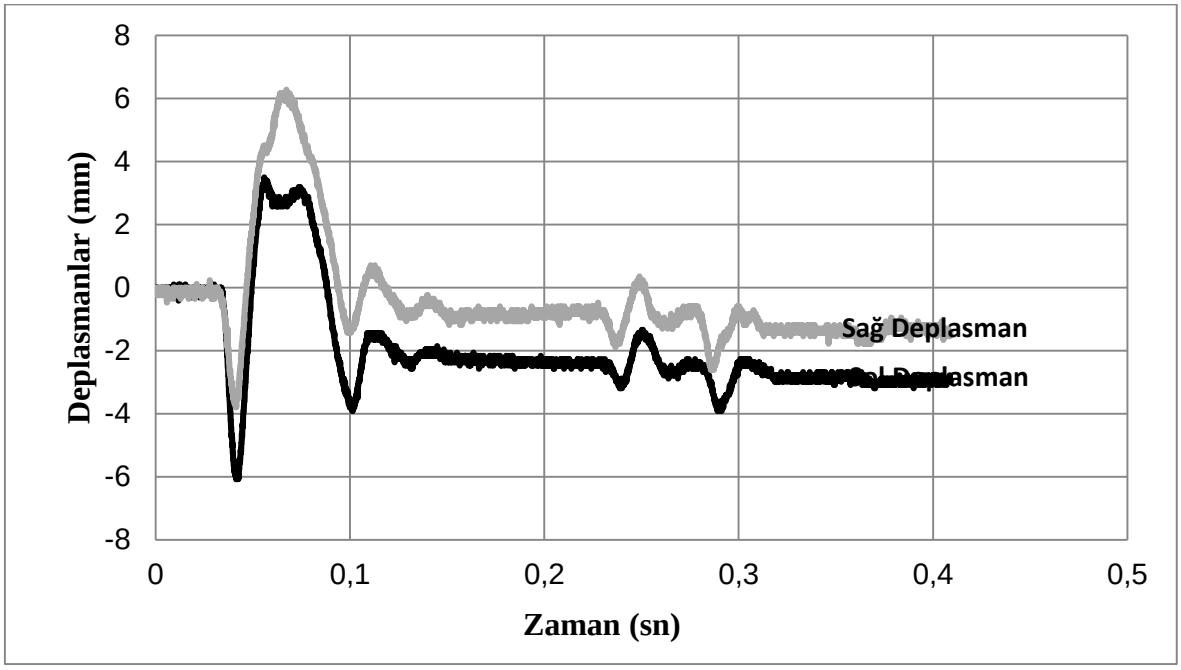
Şekil 4.13. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.14'de sunulmuştur.



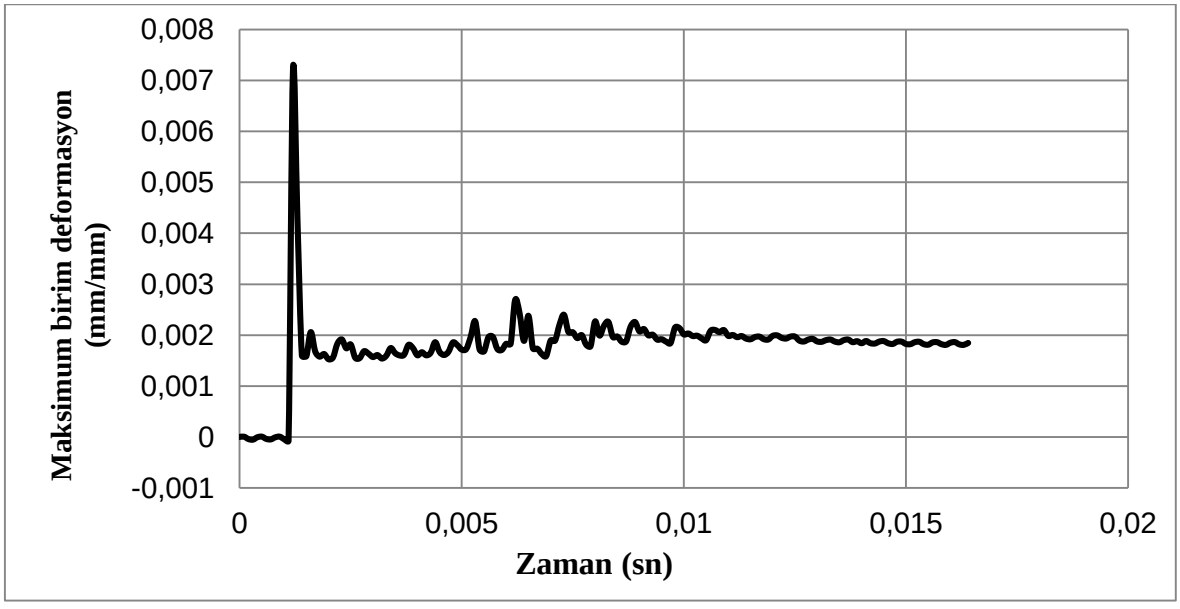
Şekil 4.14. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.15'de verilmiştir.



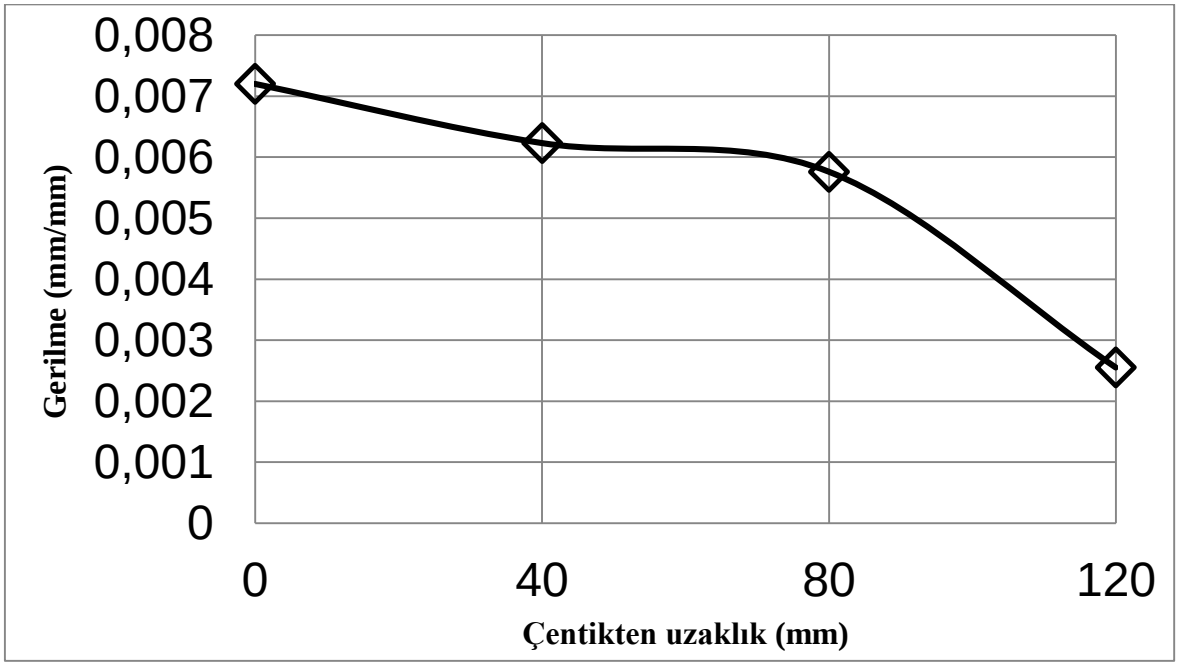
Şekil 4.15. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



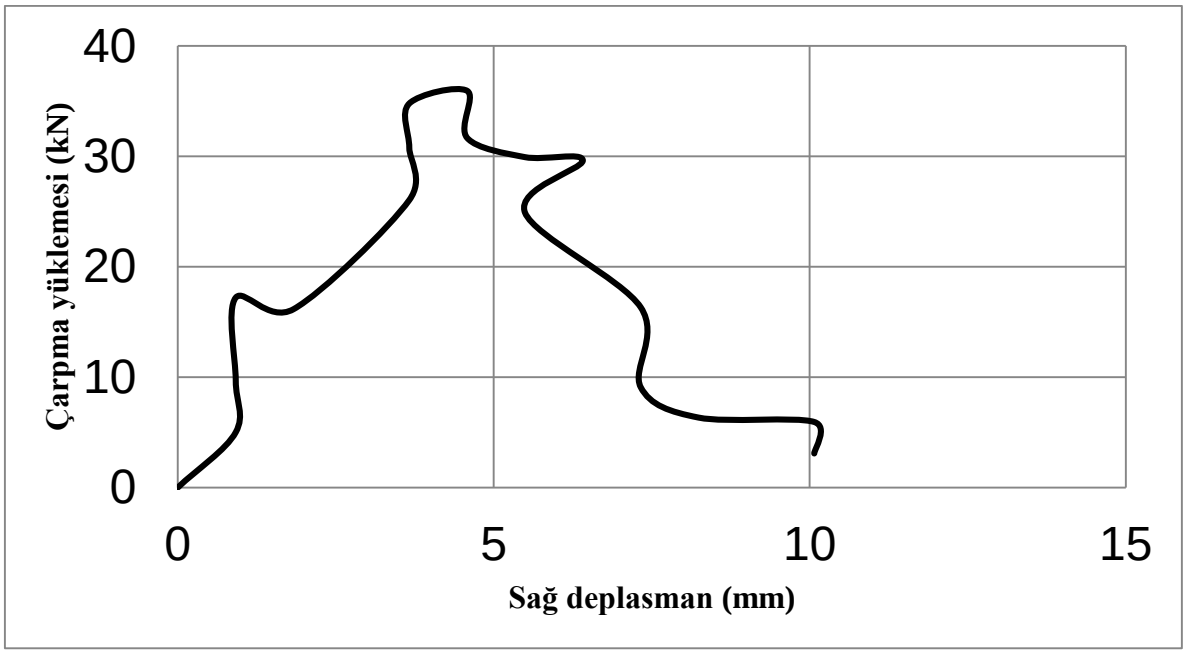
Şekil 4.16. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

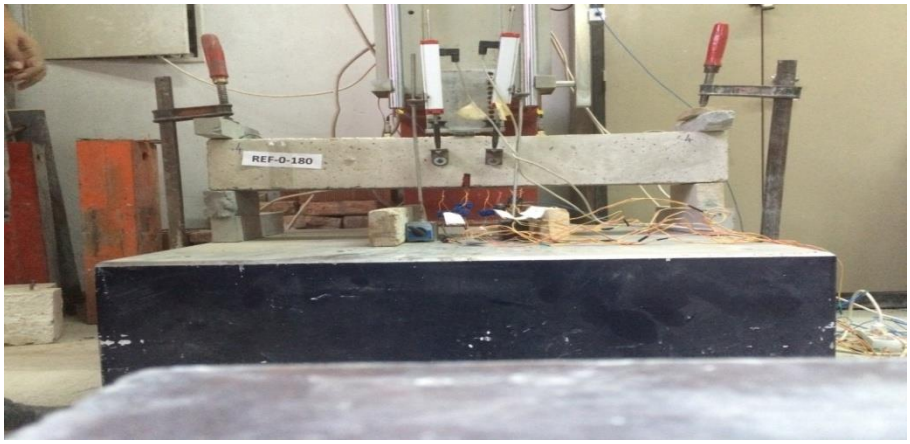
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Yük-deplasman grafiği

4.4. REF_0_180 İsimli Deney Elemanı

Deney serimizde an değişkenlerimizden biri de CFRP yapıştırma boyu olarak seçilmiştir. İlk olarak 120 mm olarak seçilen yapıştırma boyu 180 mm ye çıkarılarak yeni referans deneyi yapılmıştır. CFRP yapışma boyu 180 mm olan ve ankraj uygulanmadan hazırlanan deney elemanı test edilmiştir. Numune üzerine ölçüm düzeneği de yerleştirilip 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.10'da gösterilmiştir.



Resim 4.10. Dört nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.11'de verilmiştir.



Resim 4.11. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.12'de gösterilmiştir.



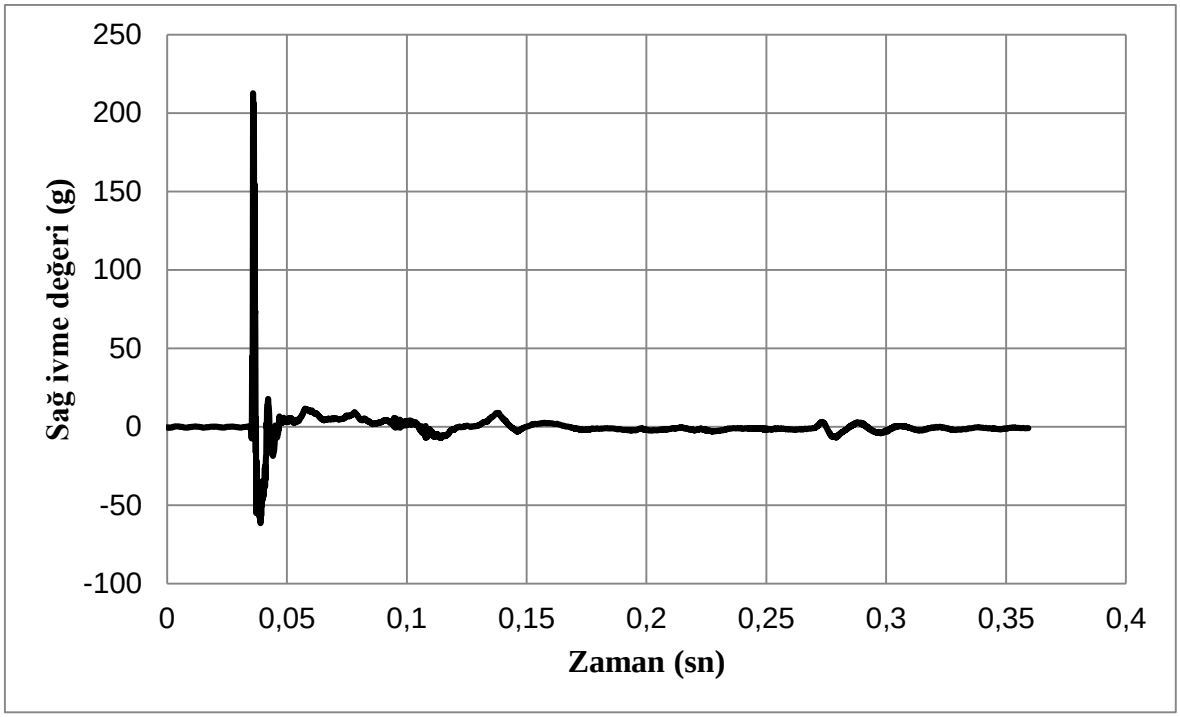
Resim 4.12. Deney elemanının hasar görme mekanizması

REF_0_180 isimli deney sonuçları Çizelge 4.5'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.5. Deney elemanının sayısal sonuçları

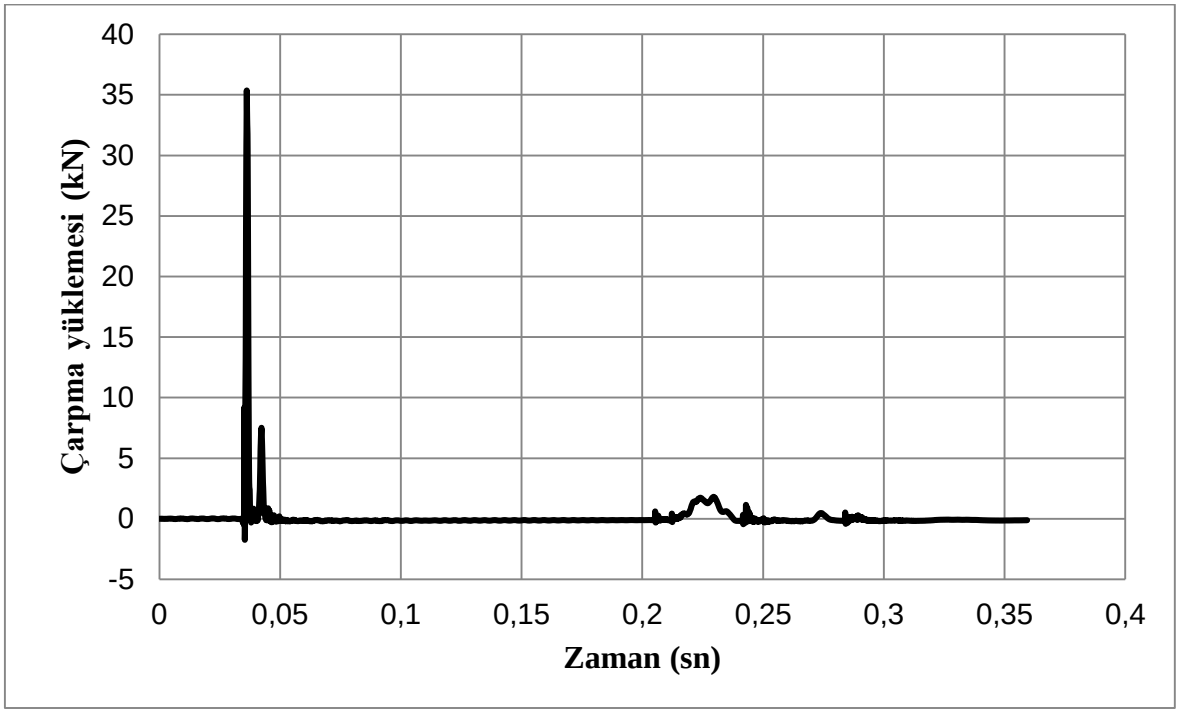
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük(kN)	Sol Yer Değiştirme(mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	217,11	212,64	35,35	25,75	28,78	0,00620
Minimum	-92,38	-61,32	-1,74	-40,68	-40,83	-0,00019
				66,42	69,62	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



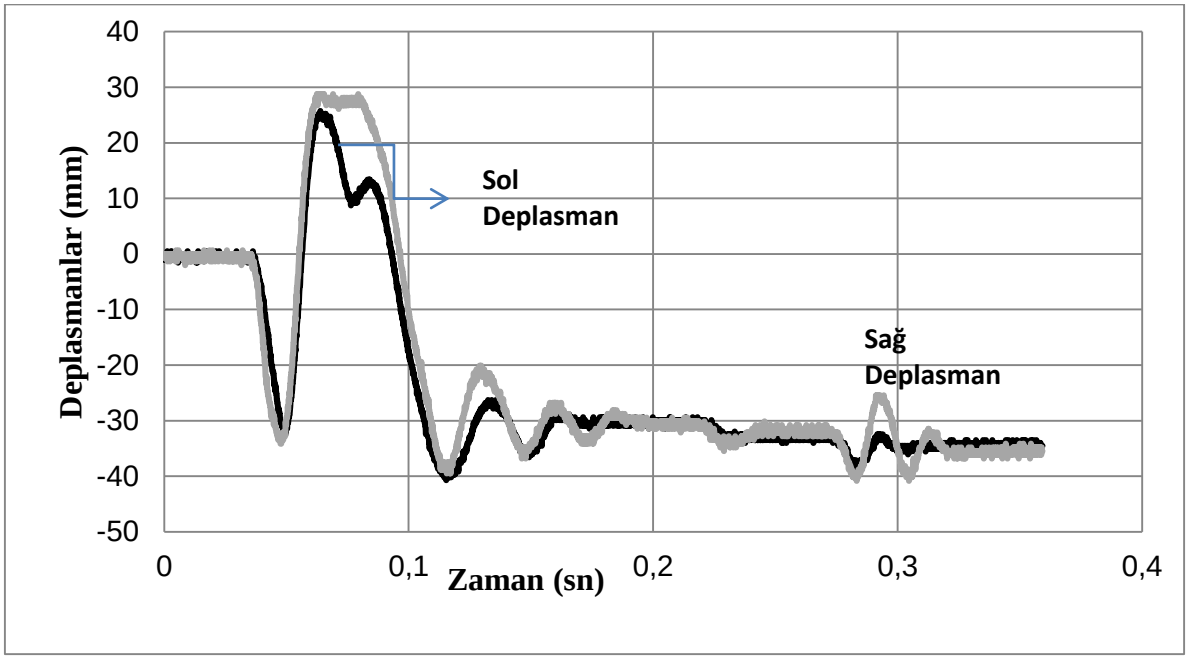
Şekil 4.19. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.20'de sunulmuştur.



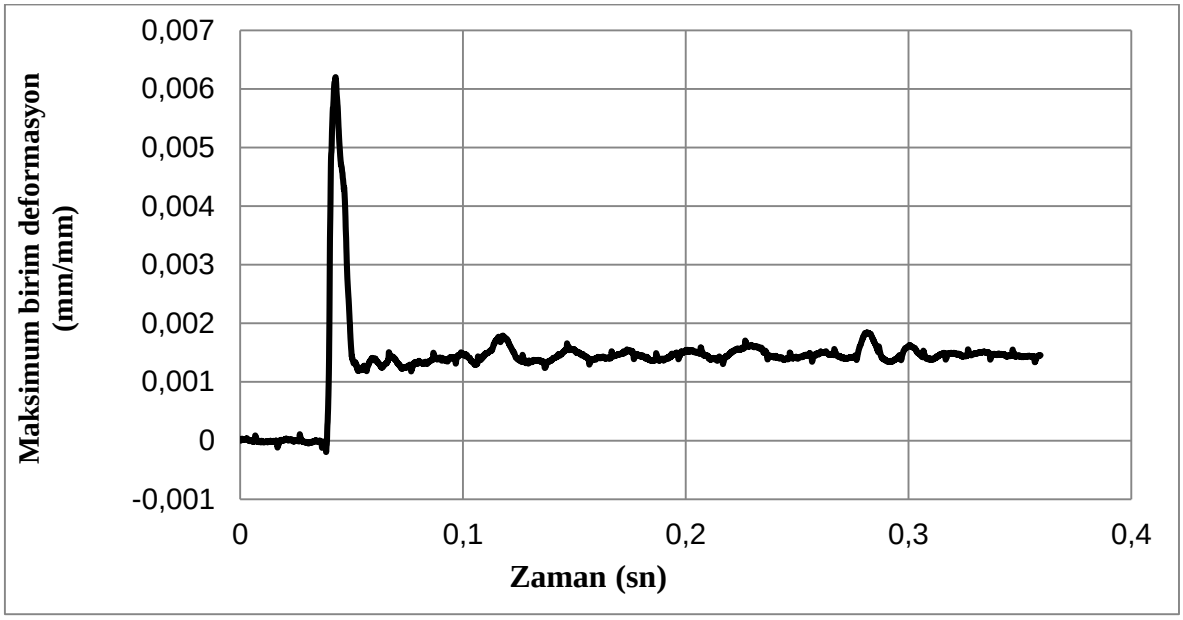
Şekil 4.20. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir.



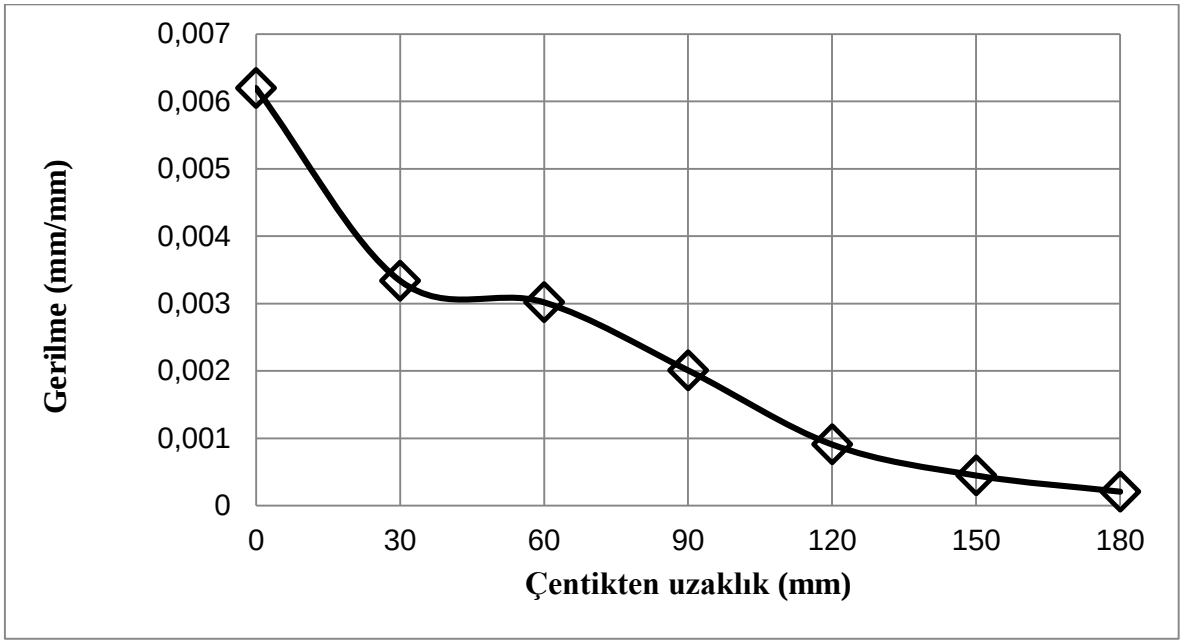
Şekil 4.21. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



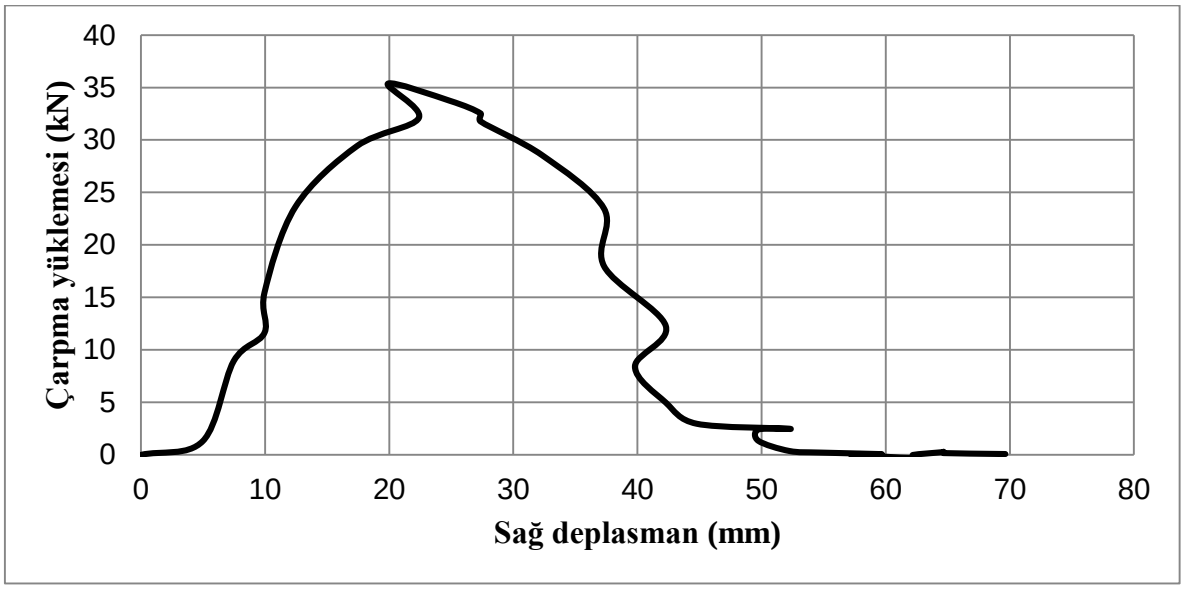
Şekil 4.22. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

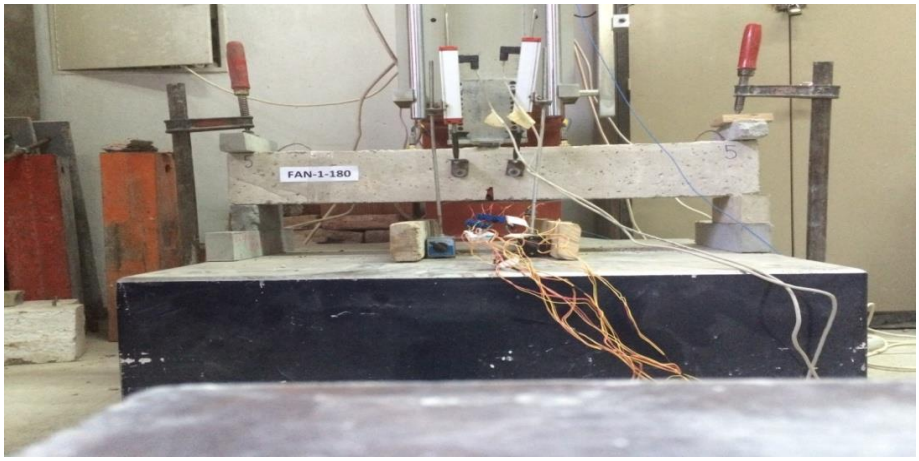
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24. Yük-deplasman grafiği

4.5. FAN_1_180 İsimli Deney Elemanı

CFRP yapışma boyu 180 mm olarak değiştirilen sabit genişlikteki güçlendirme malzemesi, fan tipi 1 ankraj kullanılarak deney elemanına sabitlenmiş ve 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.13'de gösterilmiştir.



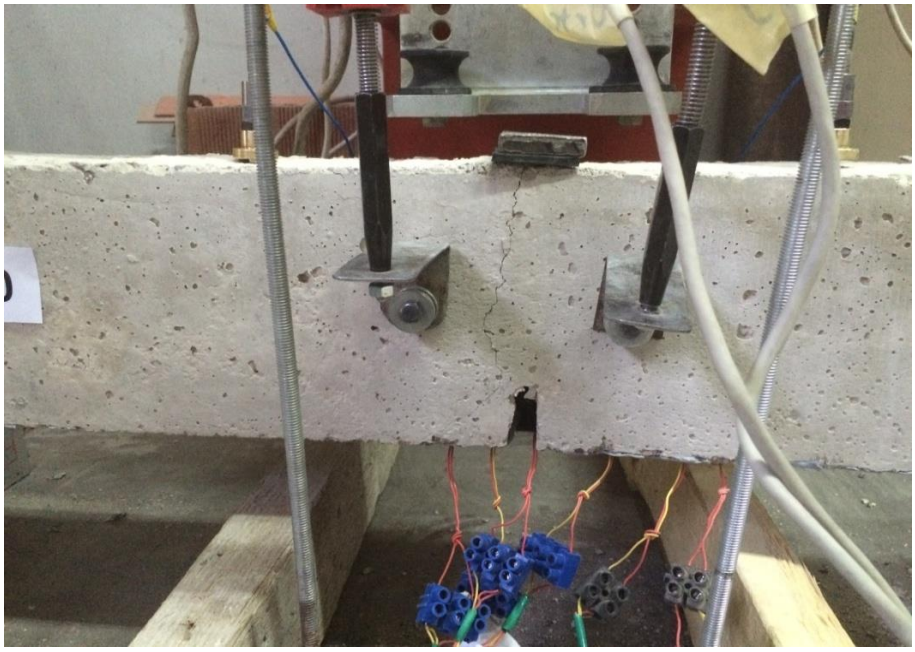
Resim 4.13. Beş nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.14'de verilmiştir.



Resim 4.14. Deney elemanının son hali

Deney elemanındaki kılcal çatlaklar ve deney sonrası deney elemanı görünüşü Resim 4.15'de gösterilmiştir.



Resim 4.15. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.16'da gösterilmiştir.



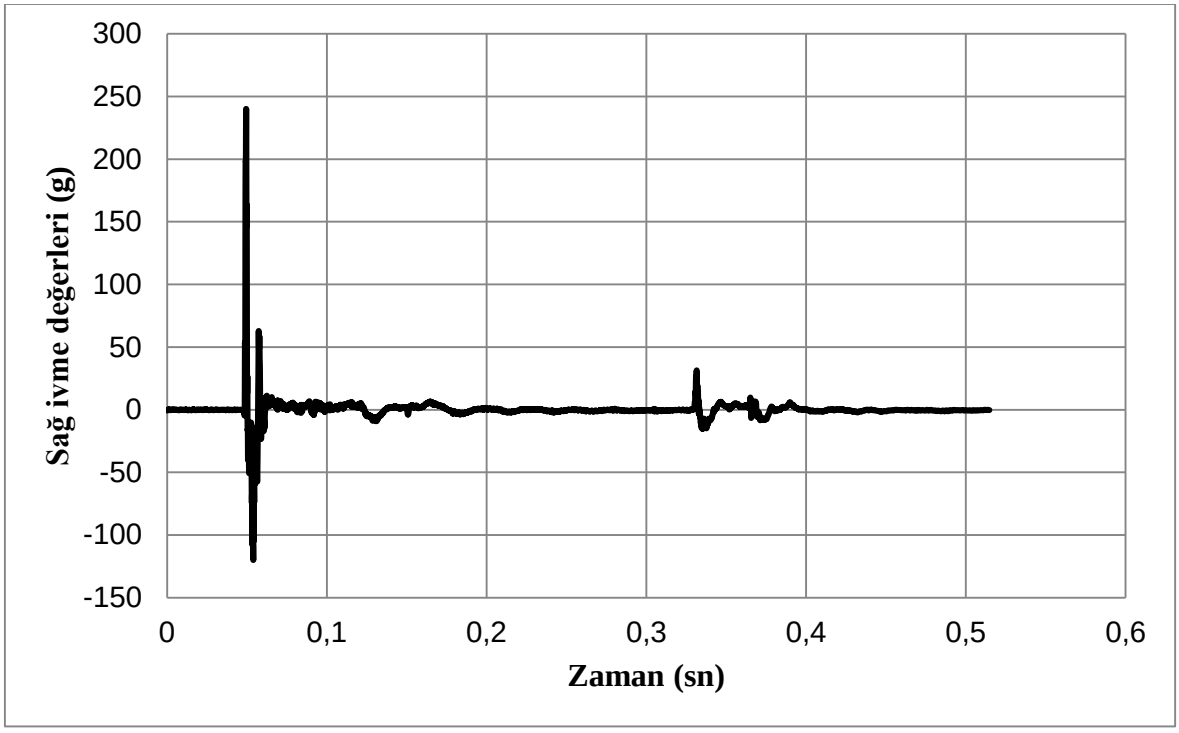
Resim 4.16. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_1_180 isimli deney sonuçları Çizelge 4.6'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.6. Deney elemanının sayısal sonuçları

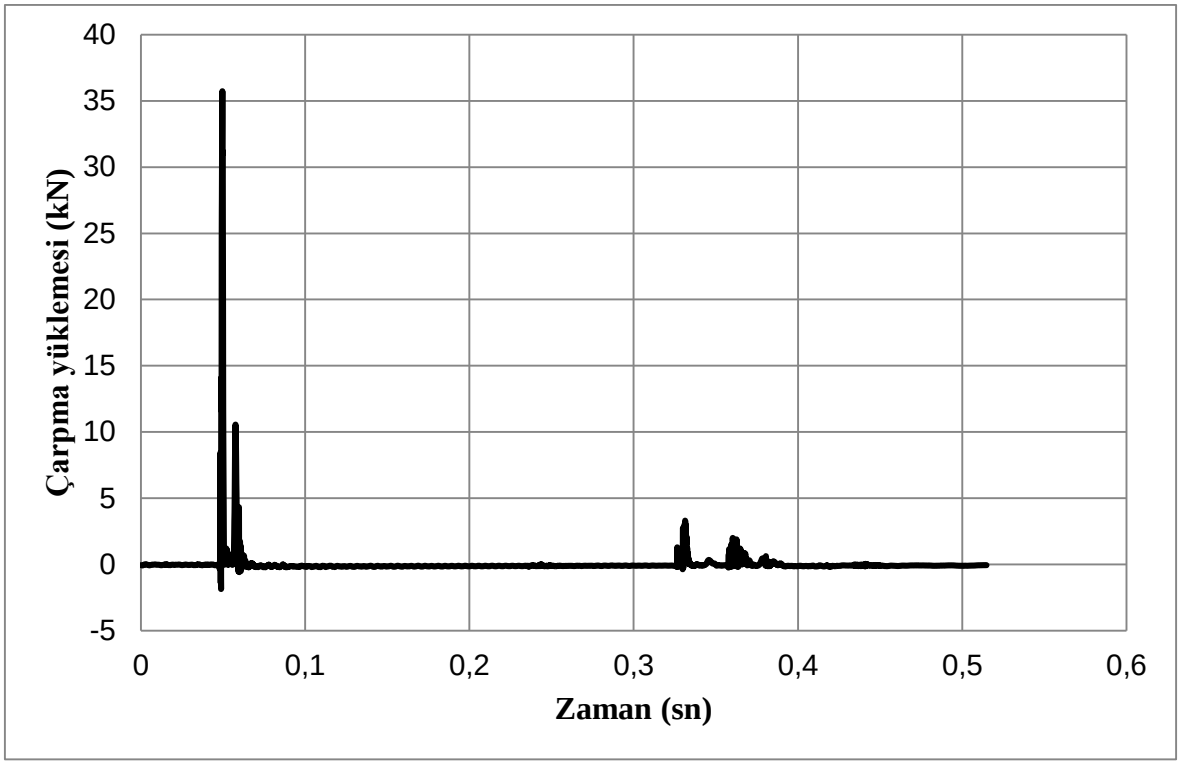
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	249,71	240,07	35,73	5,48	7,39	0,00729
Minimum	-91,30	-119,91	-1,84	-5,41	-4,51	-0,00079
				10,89	11,90	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.25'de verilmiştir.



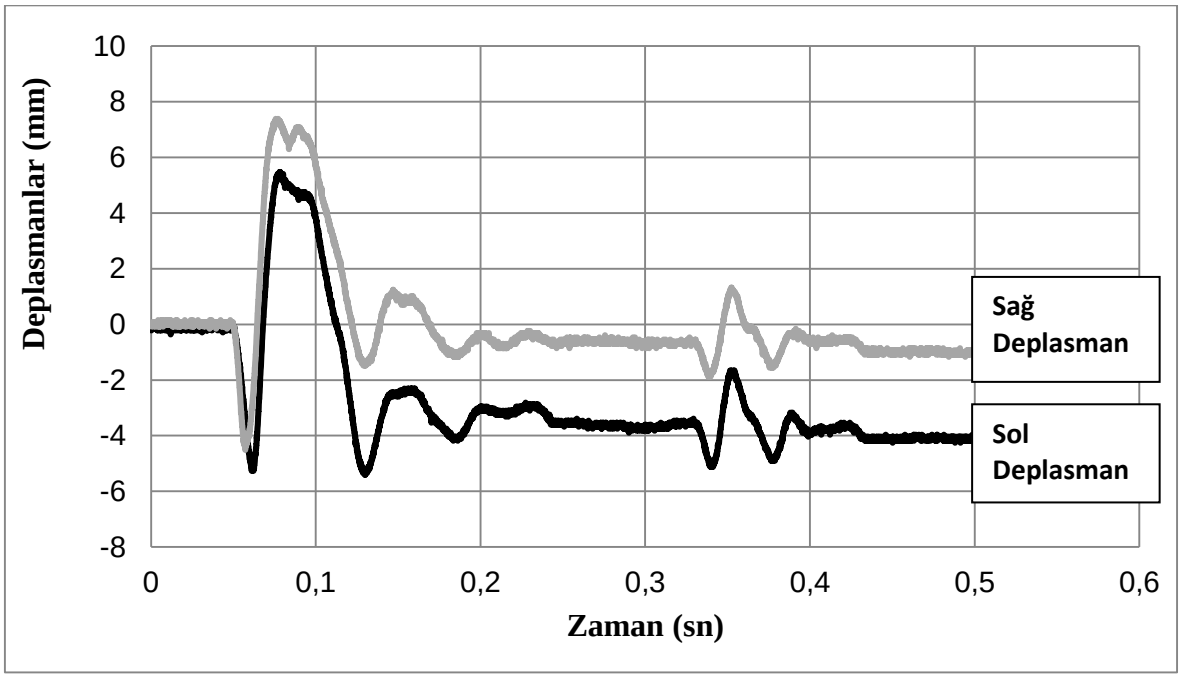
Şekil 4.25. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.26'da sunulmuştur.



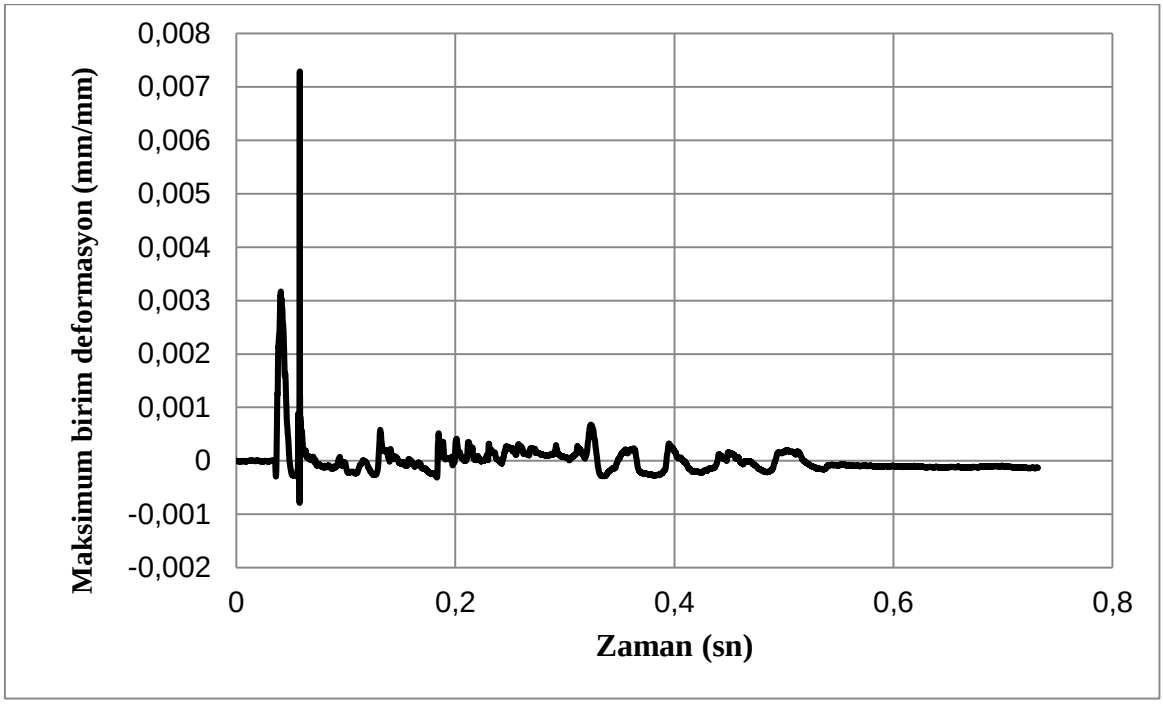
Şekil 4.26. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.



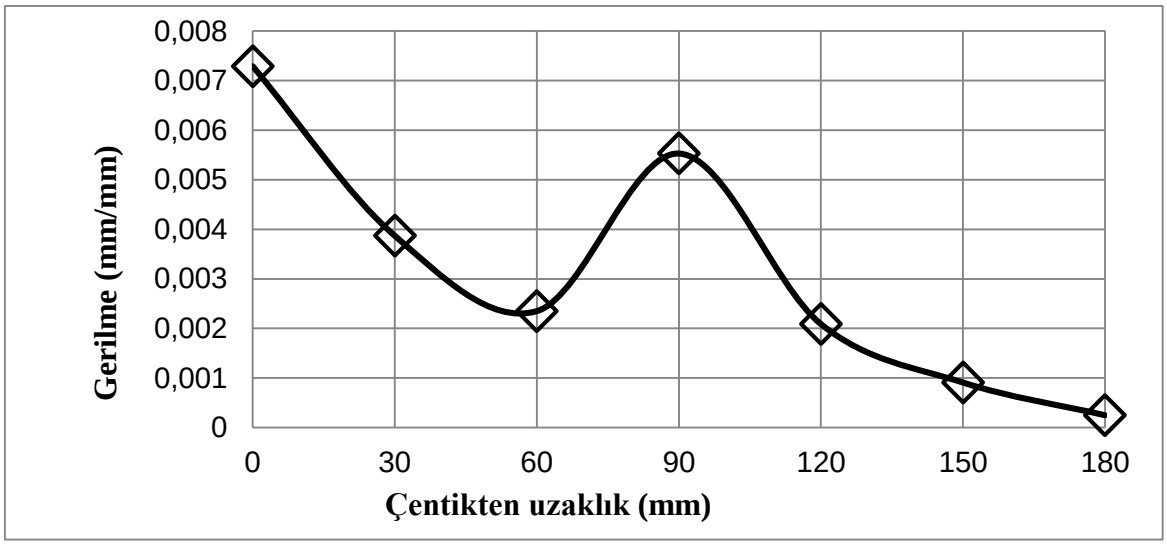
Şekil 4.27. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



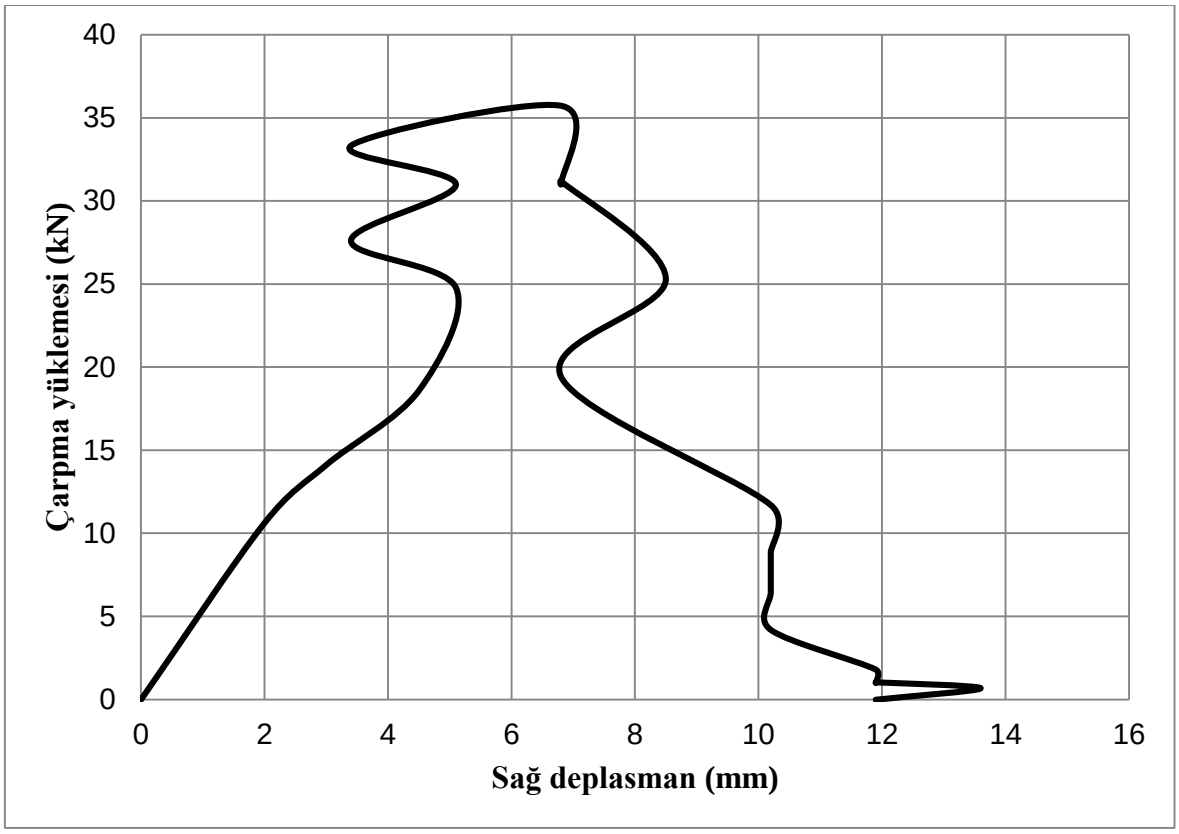
Şekil 4.28. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.30'da verilmiştir.

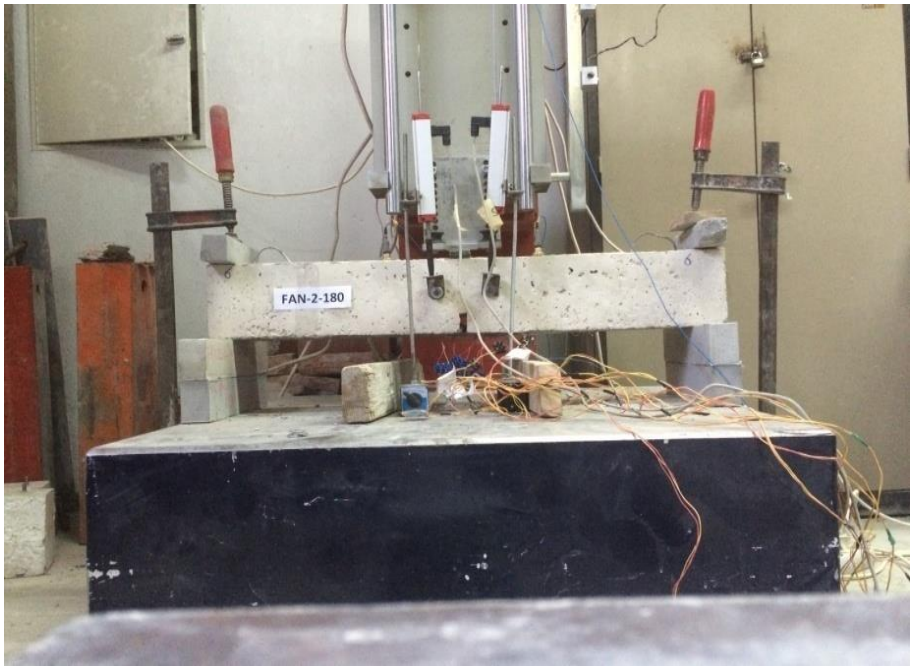


Şekil 4.30. Yük-deplasman grafiği

4.6. FAN_2_180 İsimli Deney Elemanı

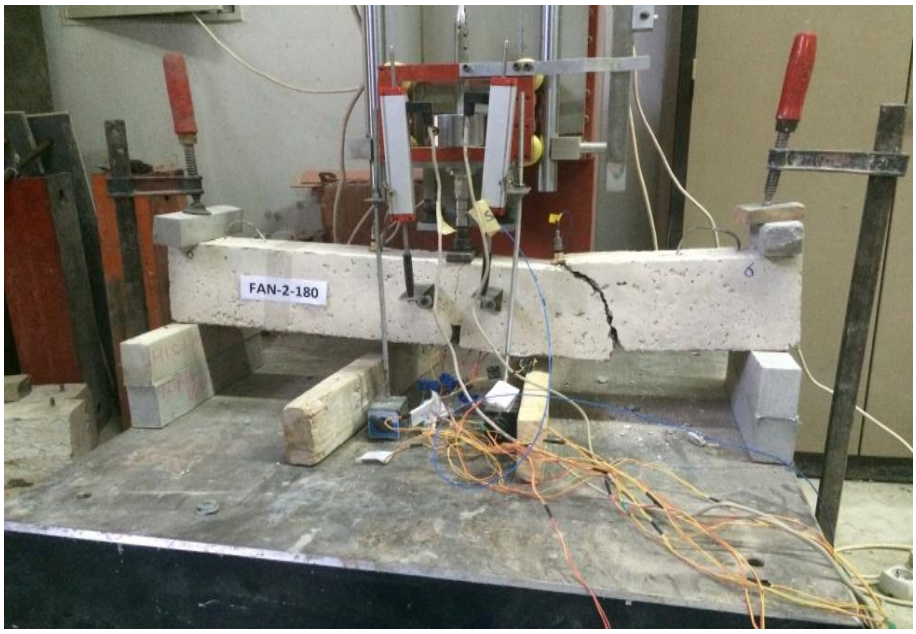
CFRP güçlendirme elemanı fan tipi 2ankraj kullanılarak deney elemanına sabitlenmiş ve 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır.

Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.17'de gösterilmiştir.



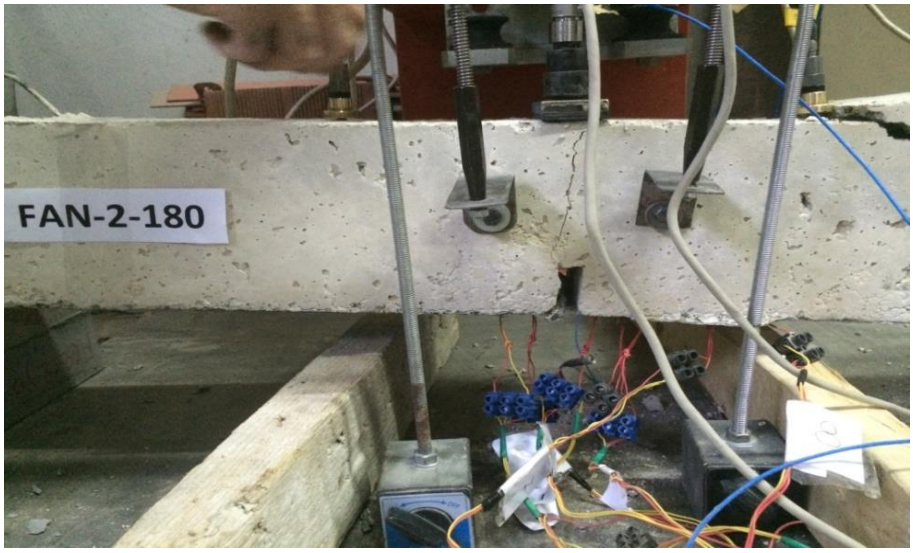
Resim 4.17. Altı nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.18'de verilmiştir.



Resim 4.18. Deney elemanının son hali

Deney elemanındaki kılcal çatlaklar ve deney sonrası deney elemanı görünüşü Resim 4.19'da gösterilmiştir.



Resim 4.19. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.20'de gösterilmiştir.



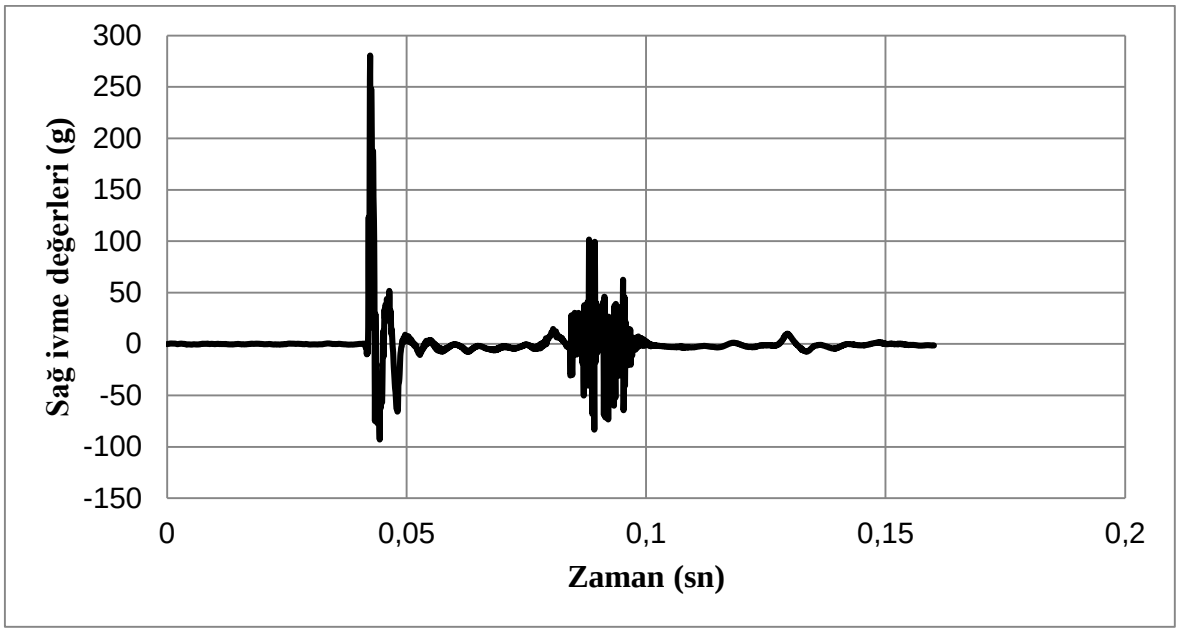
Resim 4.20. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_2_180 isimli deney sonuçları Çizelge 4.7'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.7. Deney elemanının sayısal sonuçları

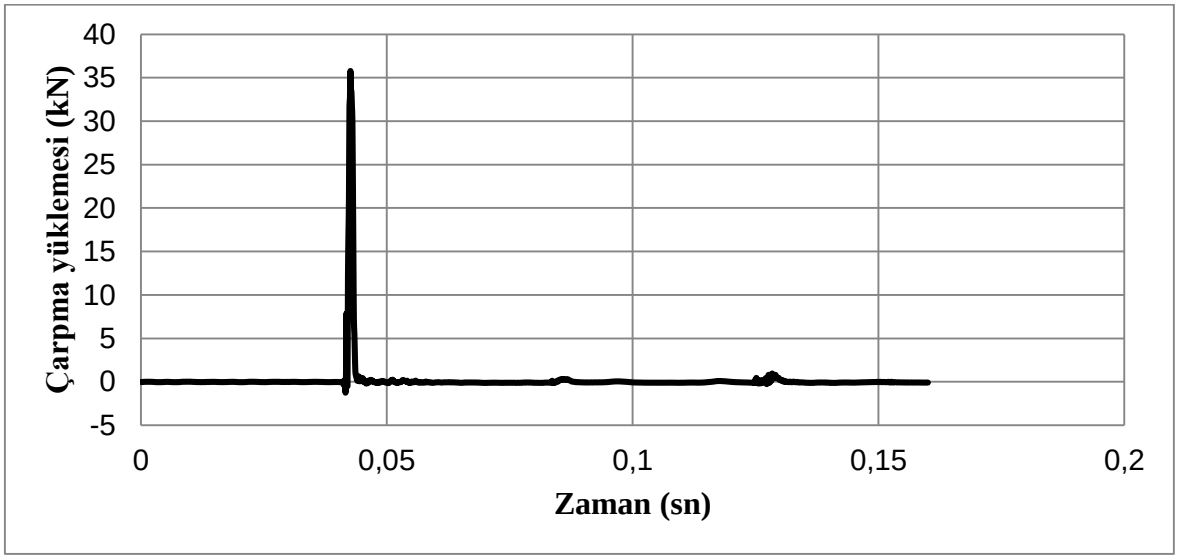
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	287,33	280,67	35,76	0,19	0,15	0,00827
Minimum	-139,91	-92,92	-1,23	-8,34	-9,53	-0,00019
				8,53	9,68	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.31'de verilmiştir.



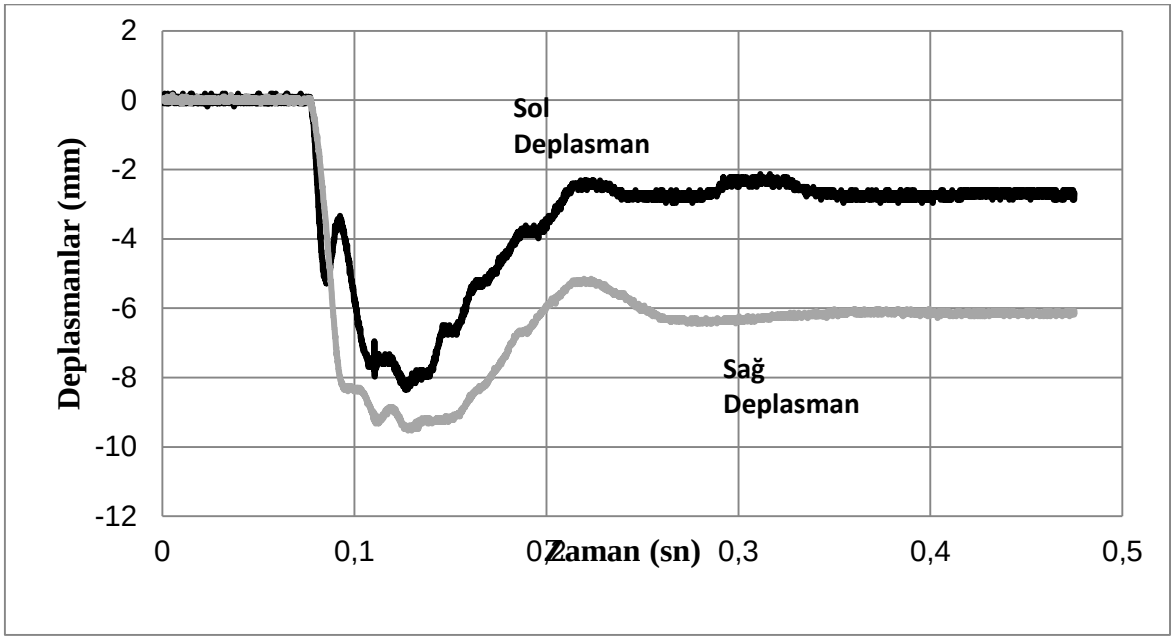
Şekil 4.31. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.32'de sunulmuştur.



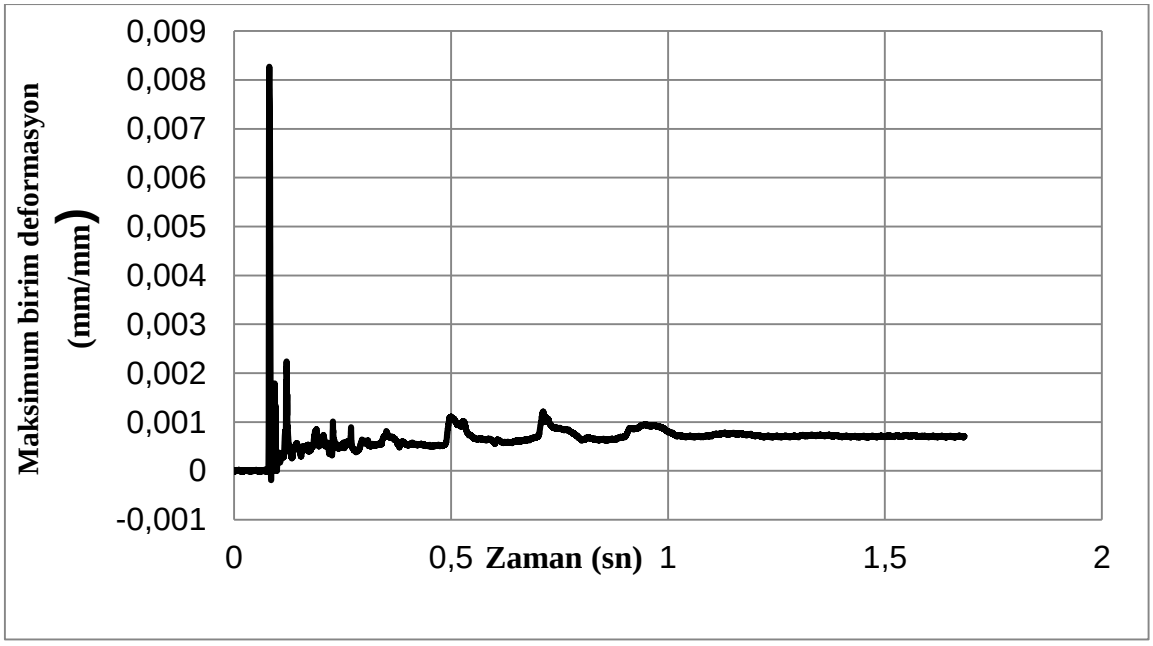
Şekil 4.32. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir.



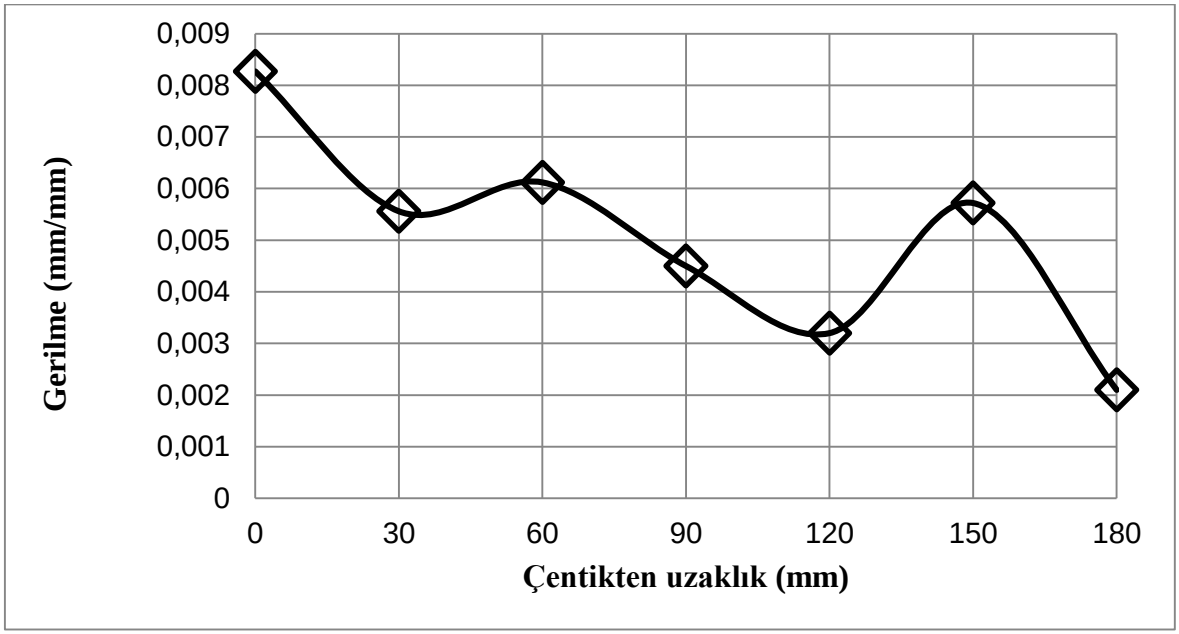
Şekil 4.33. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



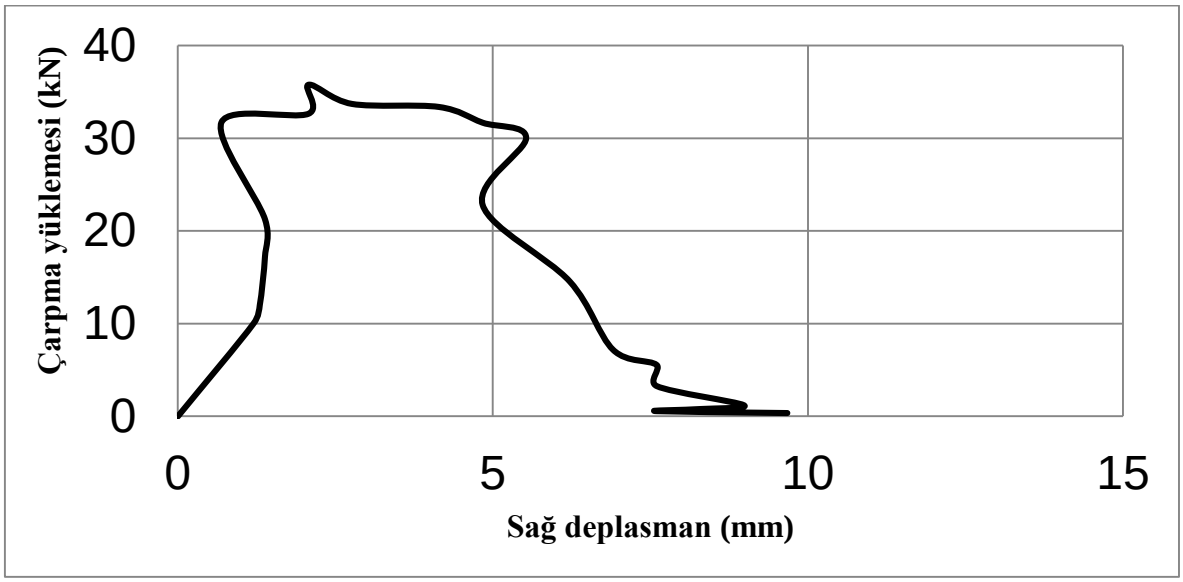
Şekil 4.34. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.35. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

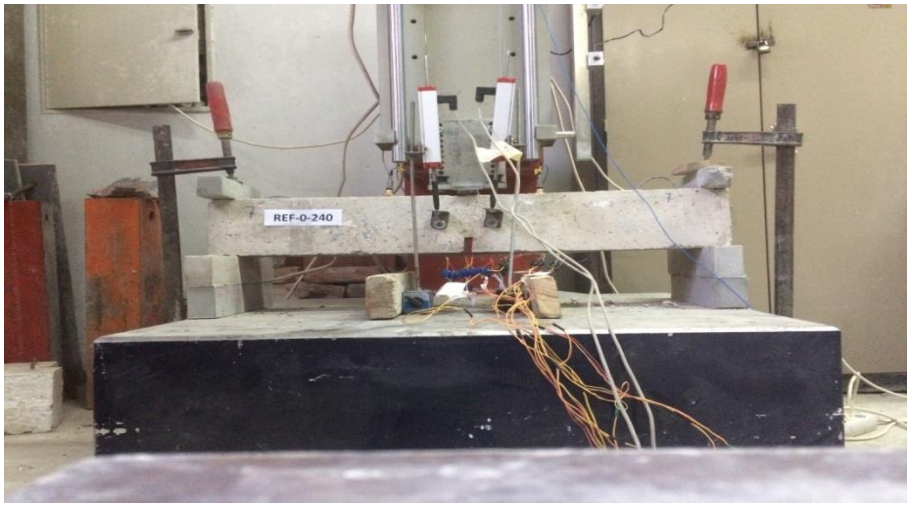
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. Yük-deplasman grafiği

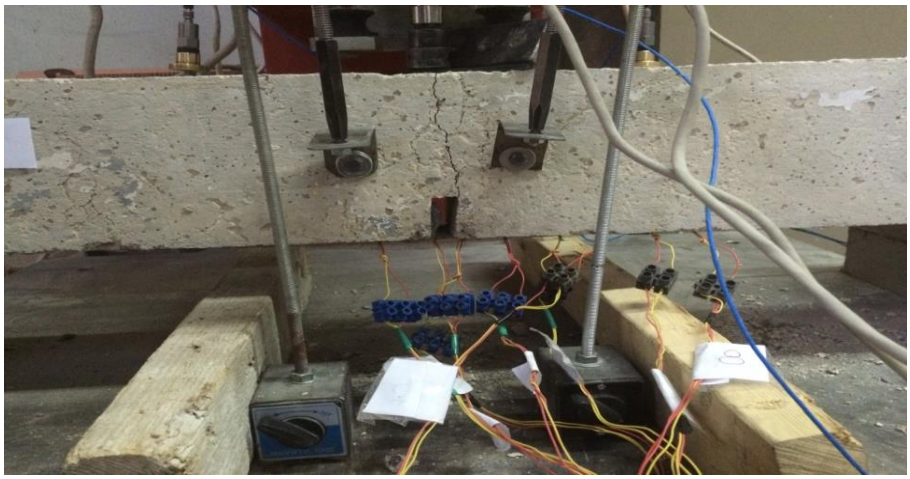
4.7. REF_0_240 İsimli Deney Elemanı

İlk olarak 120 mm olarak seçilen yapıştırma boyu 240 mm ye çıkarılarak yeni referans deneyi yapılmıştır. CFRP yapışma boyu 240 mm olan ve ankraj uygulanmadan hazırlanan deney elemanı test edilmiştir. Deney sırasında ve sonrasında deney elemanı üzerindeki değişim ve sonuçlar gözlenmiştir. Deney elemanındaki deformasyonlara göre yorumlar yapılmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.21'de gösterilmiştir.



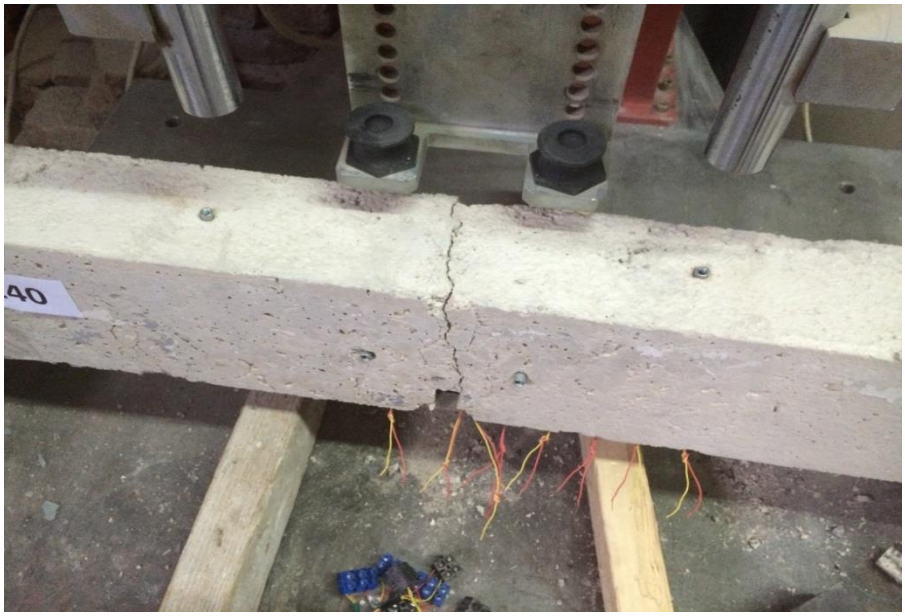
Resim 4.21. Yedi nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.22'de verilmiştir.



Resim 4.22. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.23'de gösterilmiştir.



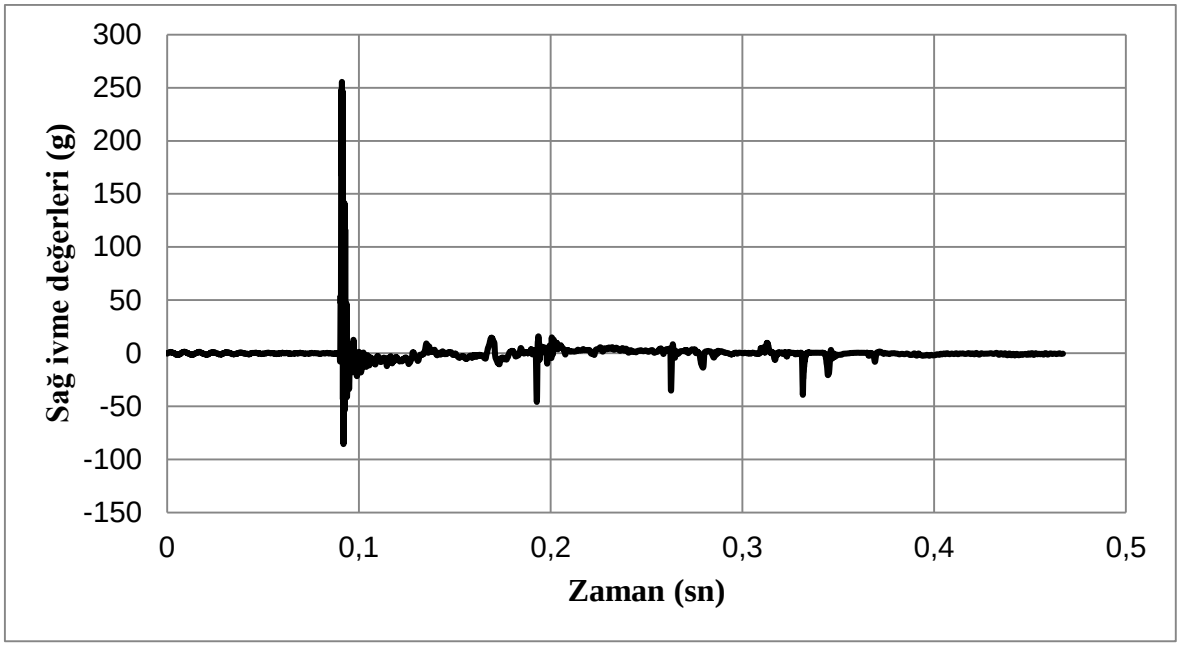
Resim 4.23. Deney elemanının hasar görme mekanizması

REF_0_240 isimli deney sonuçları Çizelge 4.8'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.8. Deney elemanının sayısal sonuçları

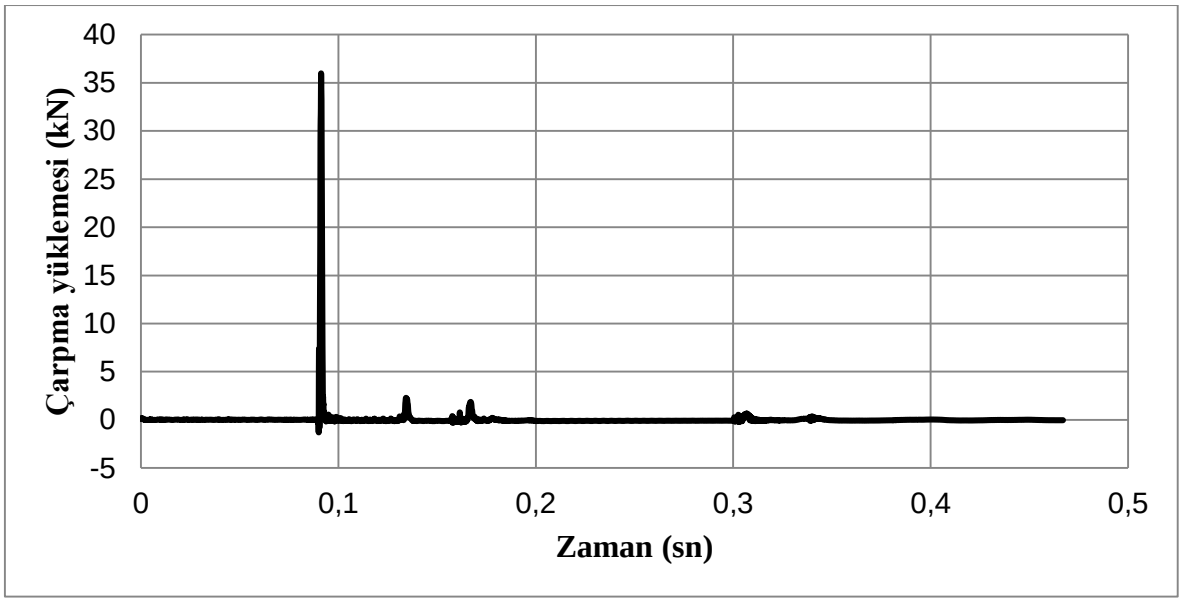
	Sol İvme	Sağ İvme	Etki Eden Yük	Sol Yer Değiştirme	Sağ Yer Değiştirme	Maksimum Gerilme
Maksimum	260,96	255,52	35,99	12,12	11,98	0,00716
Minimum	-248,38	-85,48	-1,30	-18,12	-19,73	-0,00021
				30,25	31,72	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.37'de verilmiştir.



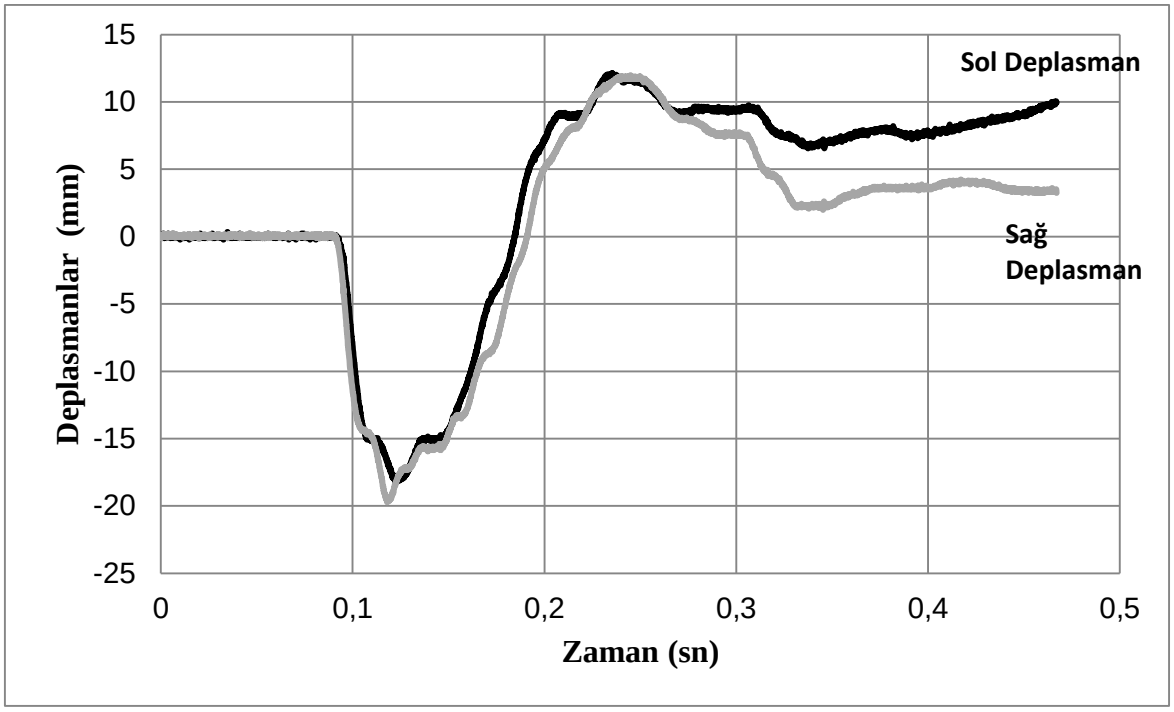
Şekil 4.37. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.38'de sunulmuştur.



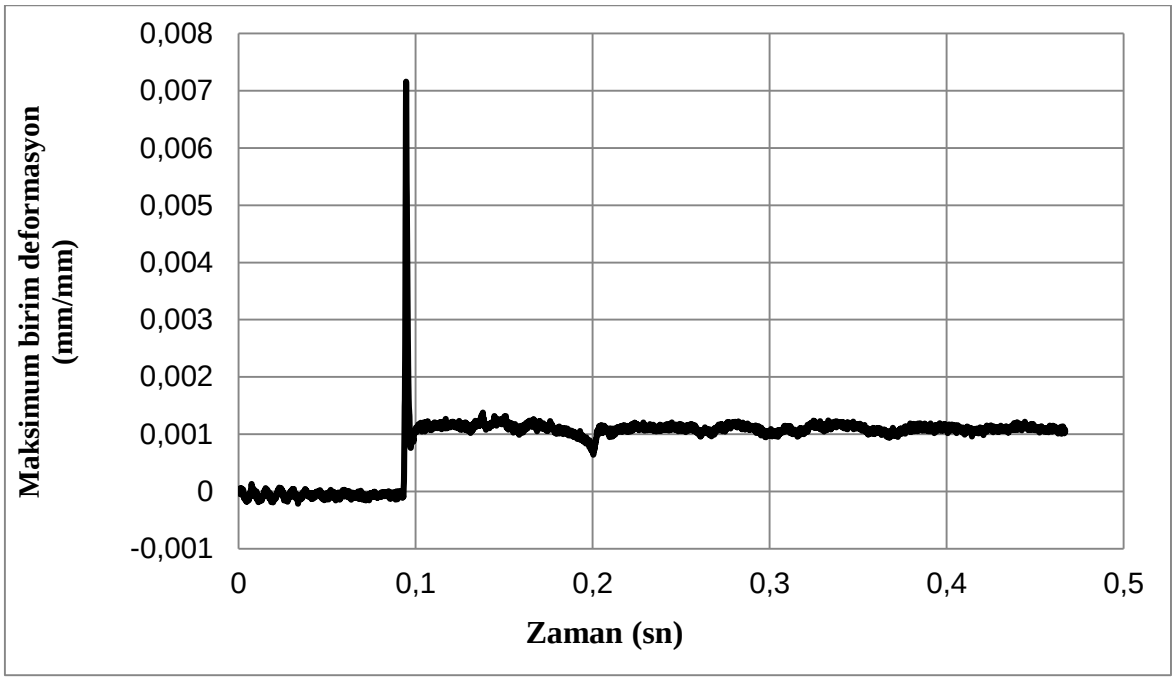
Şekil 4.38. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.39'da verilmiştir.



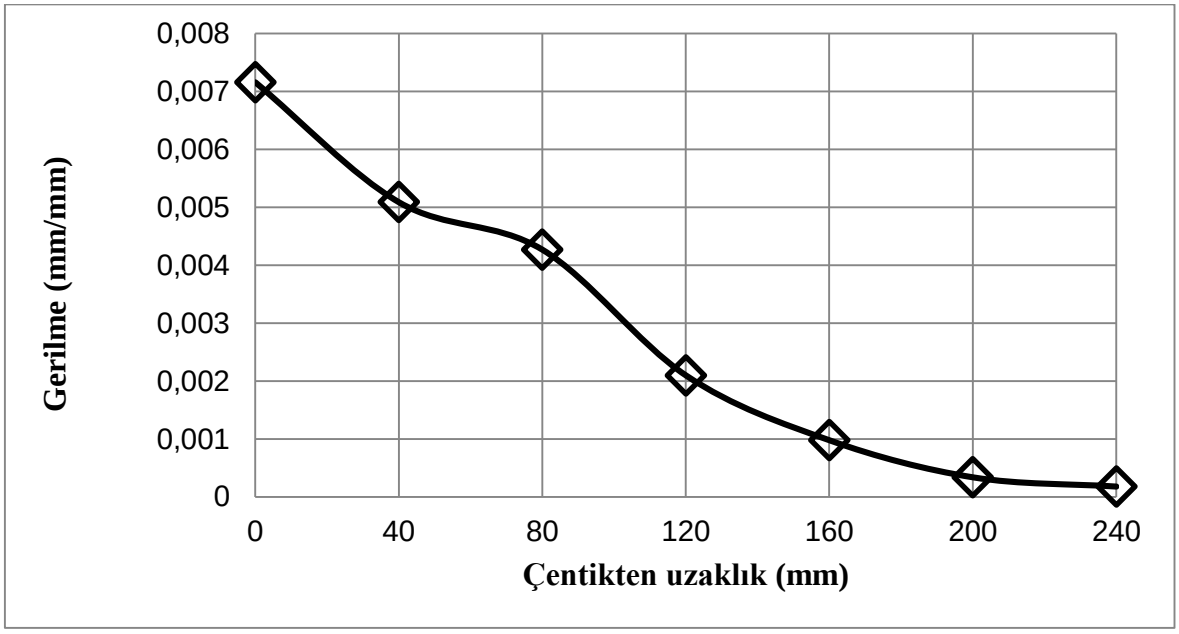
Şekil 4.39. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



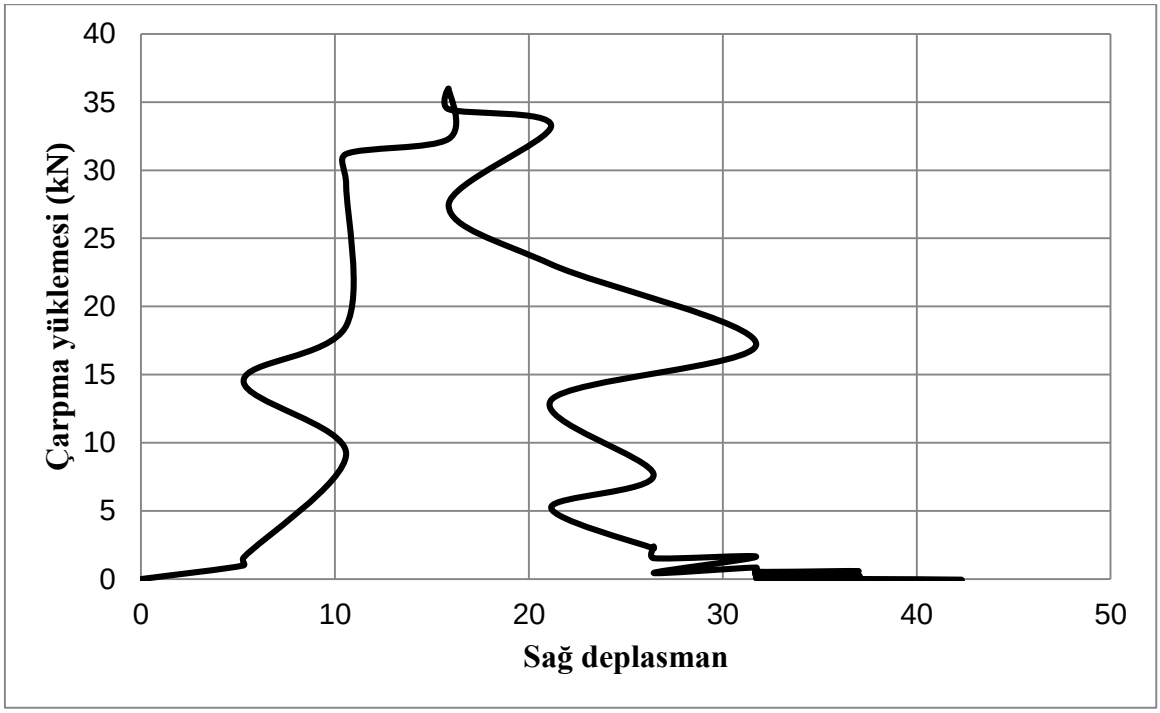
Şekil 4.40. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

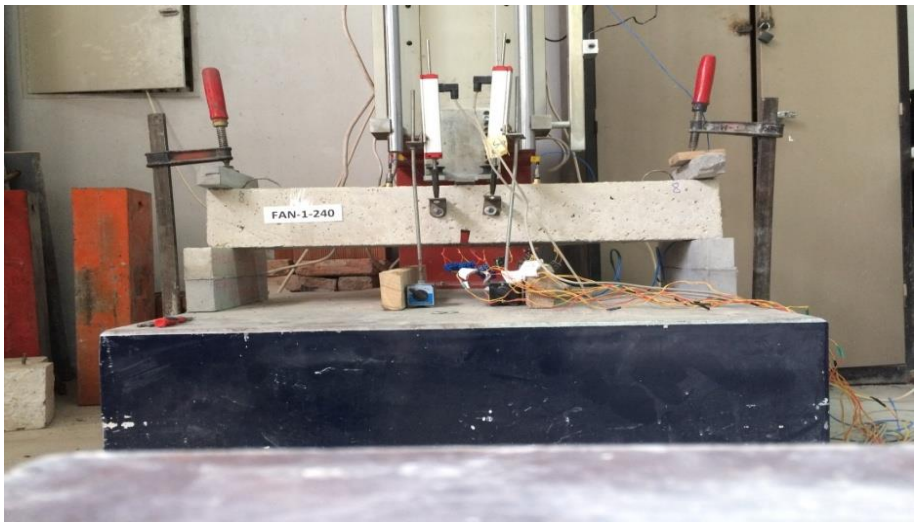
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42. Yük-deplasman grafiği

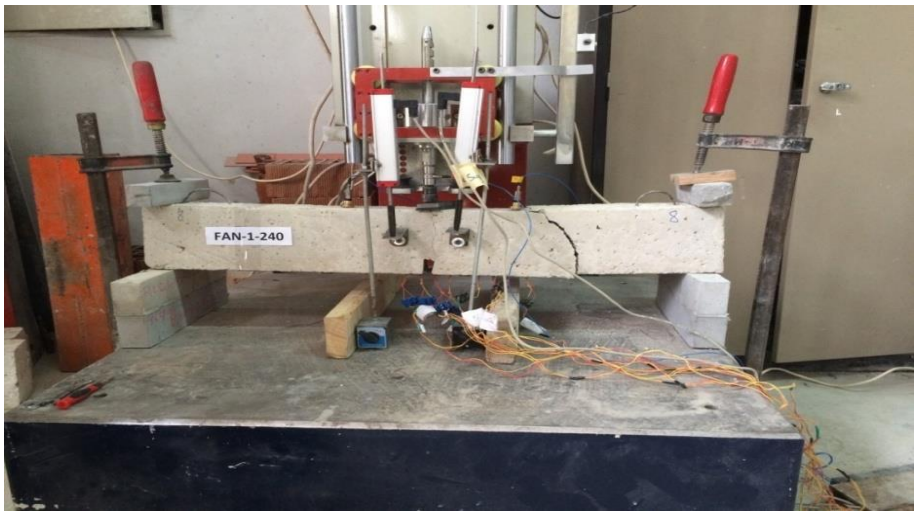
4.8. FAN_1_240 İsimli Deney Elemanı

Son olarak değişkenlerimizden biri olan CFRP yapışma boyu 240 mm olan güçlendirme elemanı fan tipi 1 ankraj kullanılarak deney elemanına sabitlenmiş ve 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.24'de gösterilmiştir.



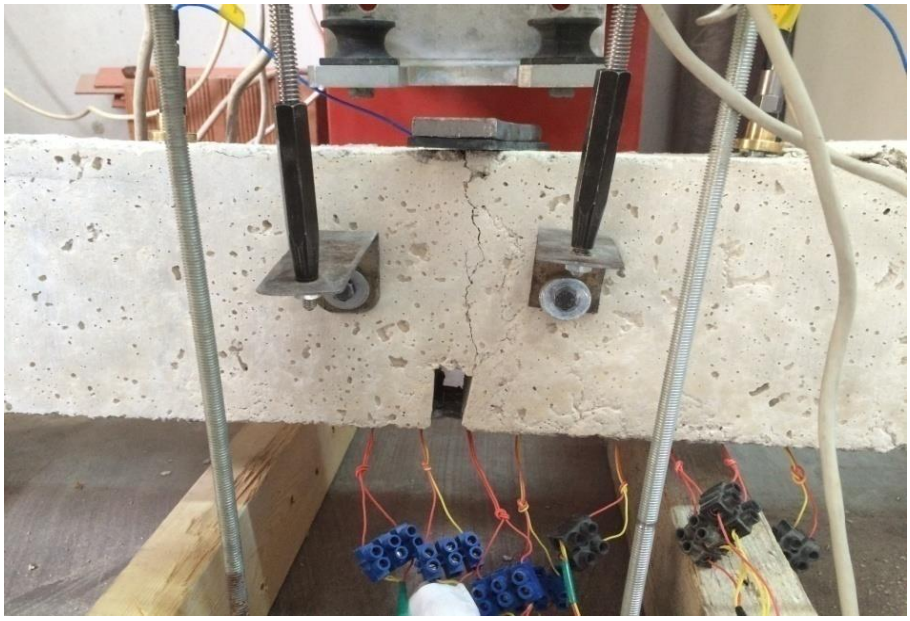
Resim 4.24. Sekiz nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.25'de verilmiştir.



Resim 4.25. Deney elemanının son hali

Deney elemanındaki kılcal çatlaklar ve deney sonrası deney elemanı görünüşü Resim 4.26'da gösterilmiştir.



Resim 4.26. Deney elemanında oluşan kılcal çatlaklar

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.27'de gösterilmiştir.



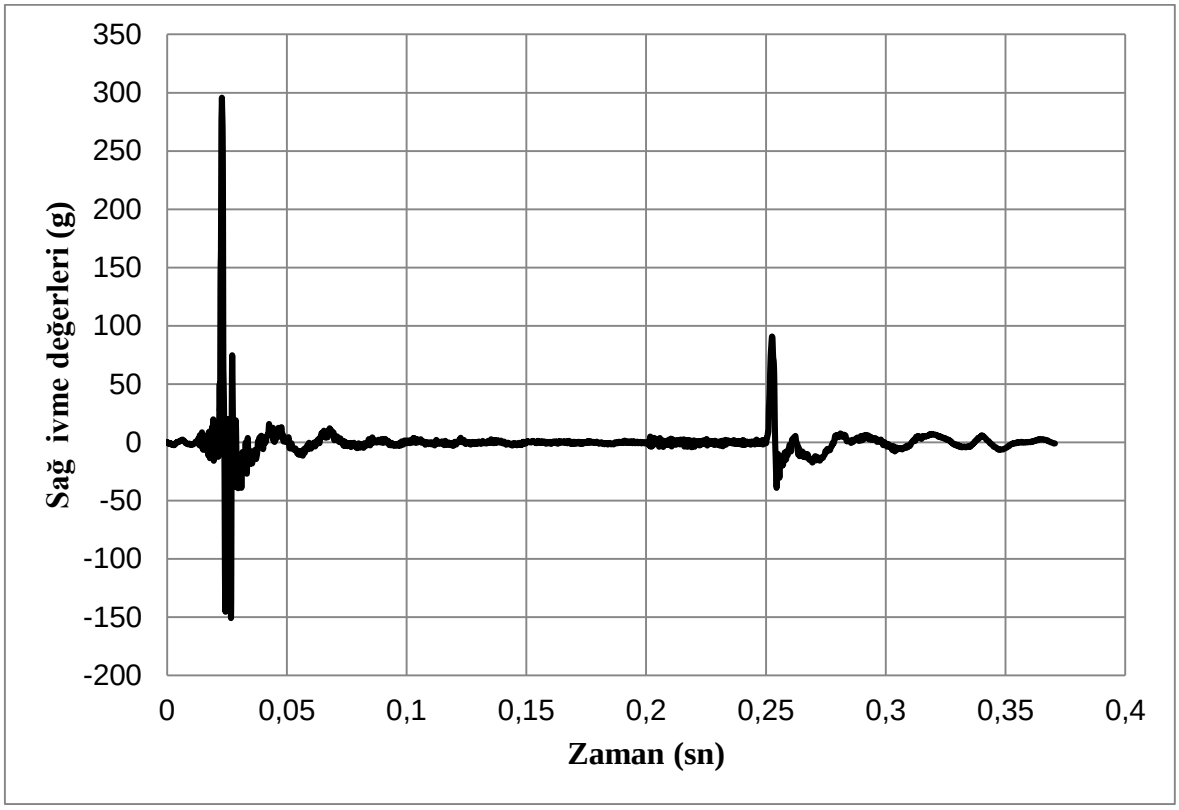
Resim 4.27. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_1_240 isimli deney sonuçları Çizelge 4.9'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.9. Deney elemanının sayısal sonuçları

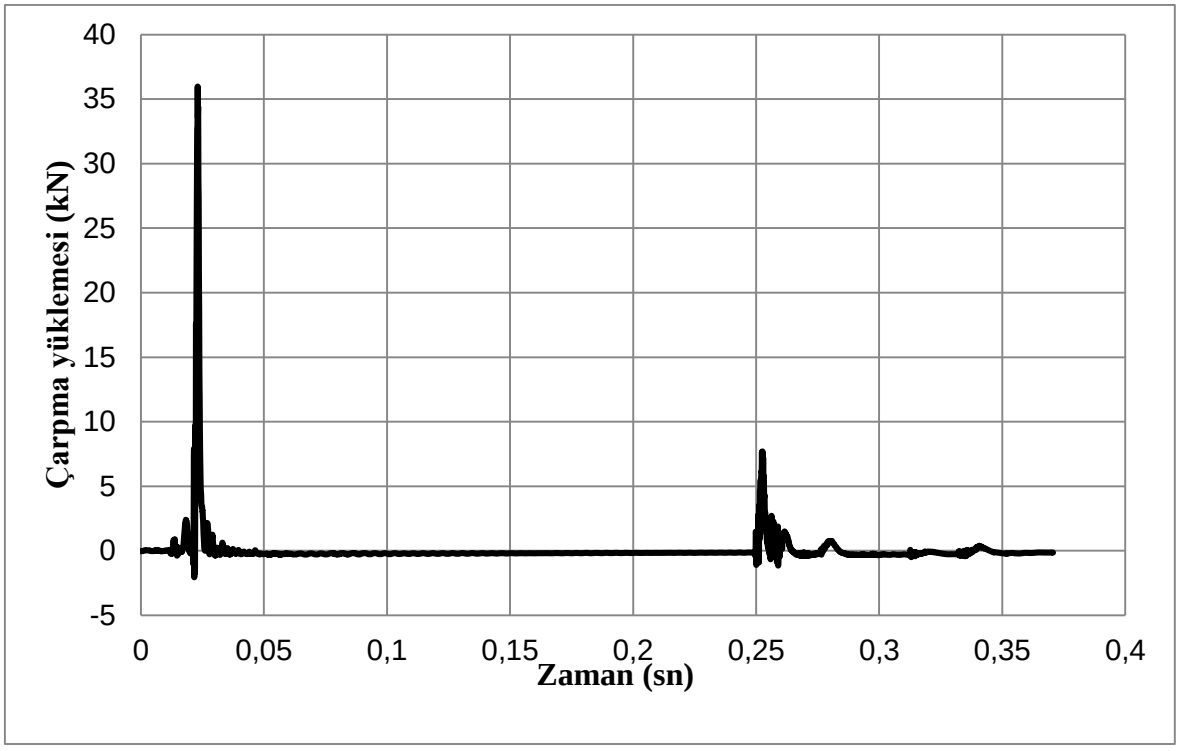
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	299,84	295,78	35,97	0,66	0,79	0,00848
Minimum	-281,19	-150,96	-2,04	-7,30	-8,18	-0,00039
				7,96	8,97	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.43'de verilmiştir.



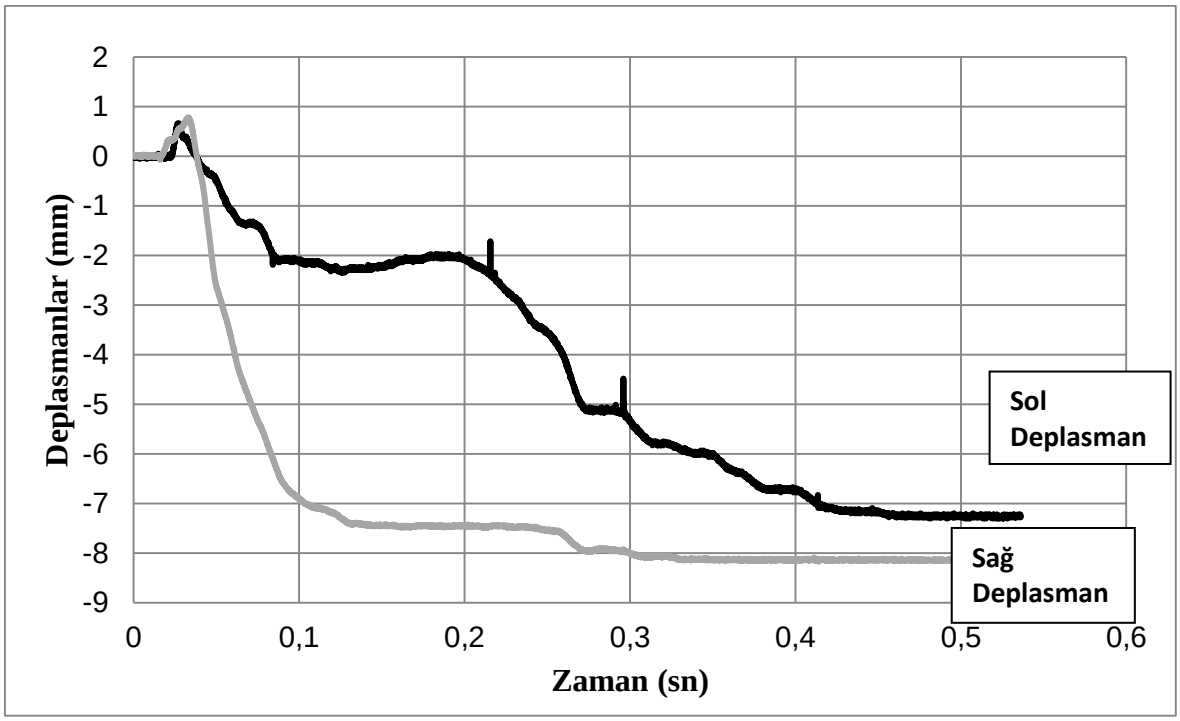
Şekil 4.43. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.44'de sunulmuştur.



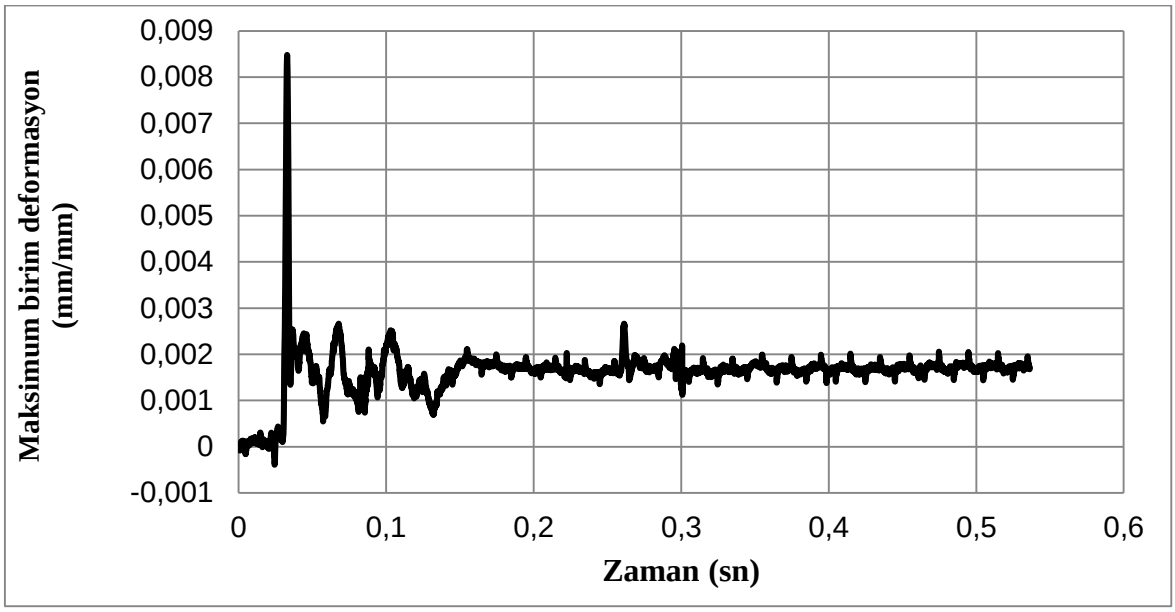
Şekil 4.44. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.45'de verilmiştir.



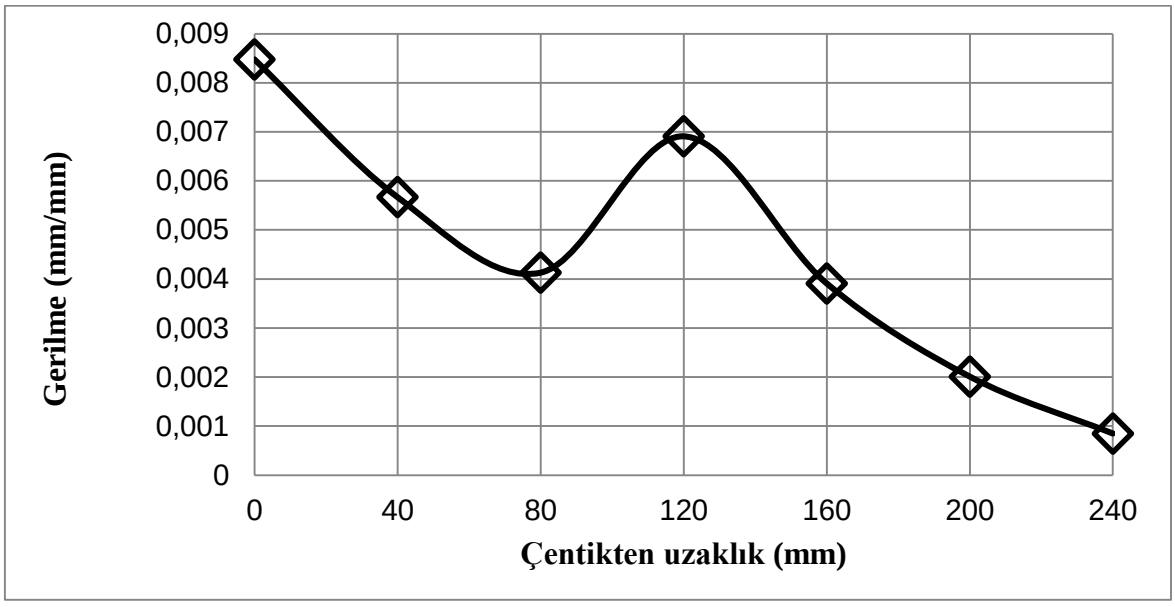
Şekil 4.45. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



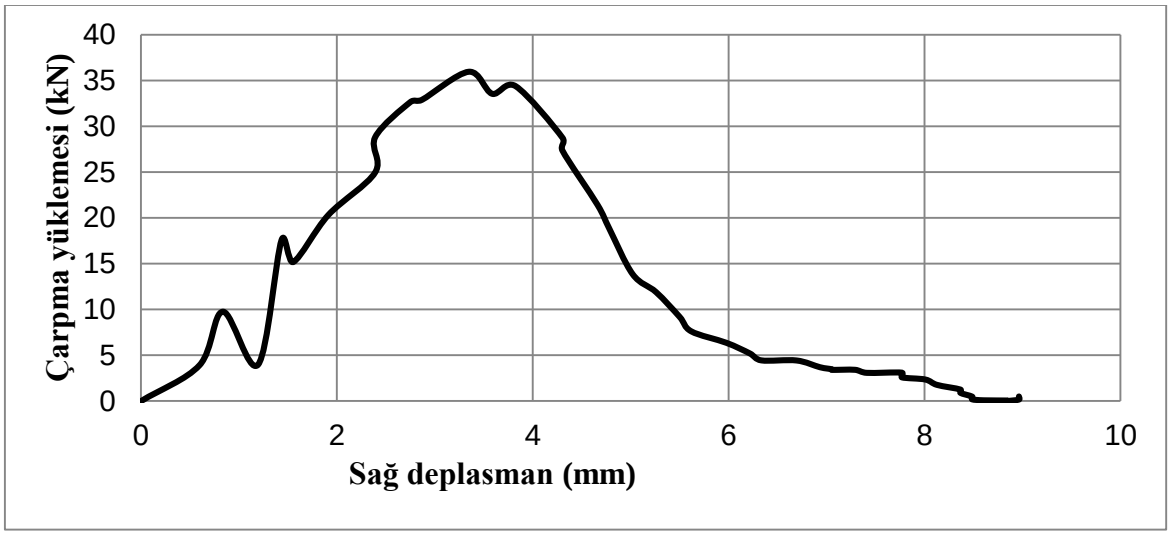
Şekil 4.46. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

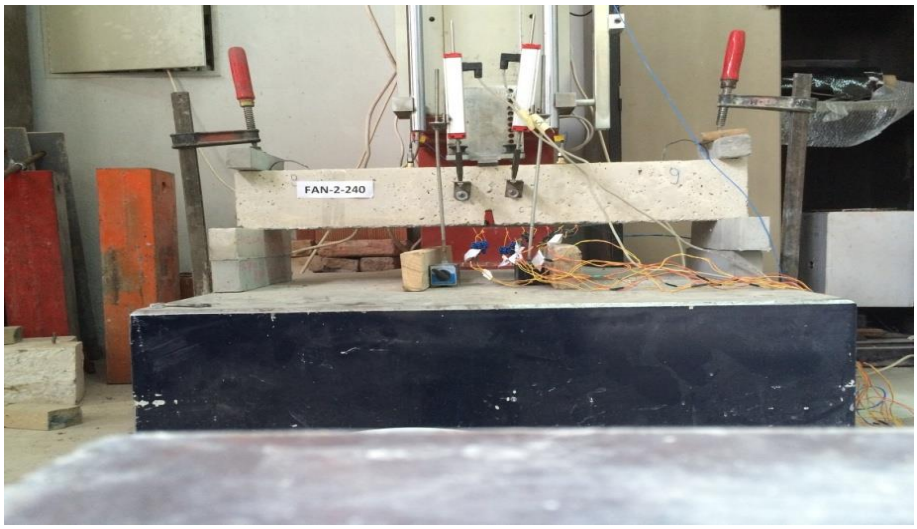
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48. Yük-deplasman grafiği

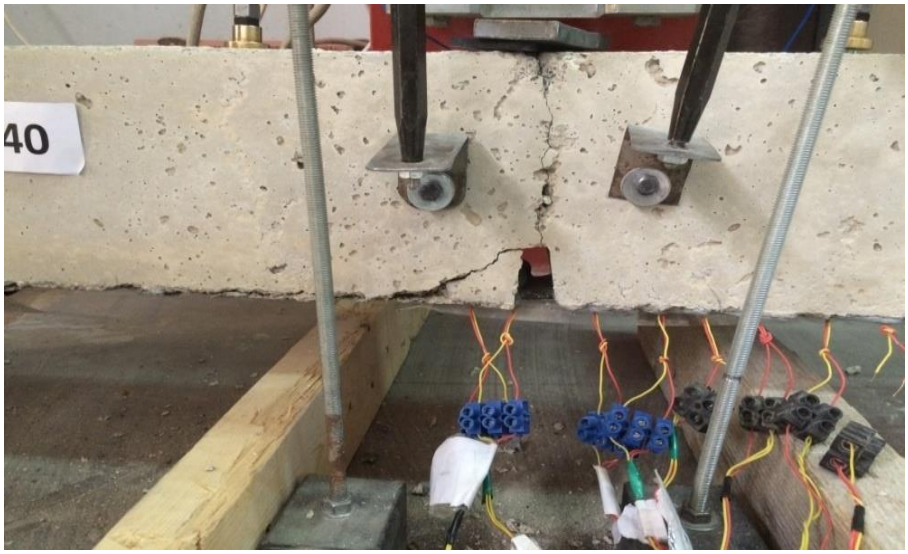
4.9. FAN_2_240 İsimli Deney Elemanı

Son olarak değişkenlerimizden biri olan CFRP yapışma boyu 240 mm olan güçlendirme elemanı fan tipi 2 ankraj kullanılarak deney elemanına sabitlenmiş ve 25 MPa beton basınç dayanımına sahip kiriş deney elemanına 750 mm yüksekliğinden 9 kg ağırlıklı çekiç ani düşme etkisi yaratarak düşürülüp veriler kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.28'de gösterilmiştir.



Resim 4.28. Dokuz nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.29’da verilmiştir.



Resim 4.29. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.30’da gösterilmiştir.



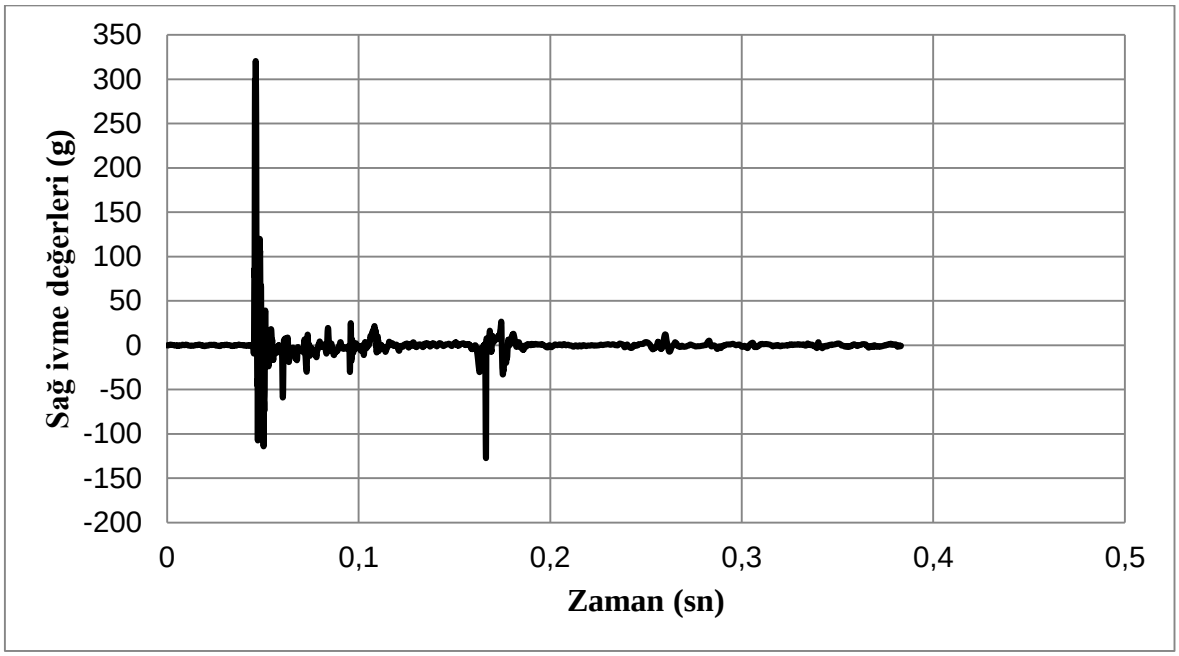
Resim 4.30. Deney elemanının hasar görme mekanizması

FAN_2_240 isimli deney sonuçları Çizelge 4.10’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.10. Deney elemanının sayısal sonuçları

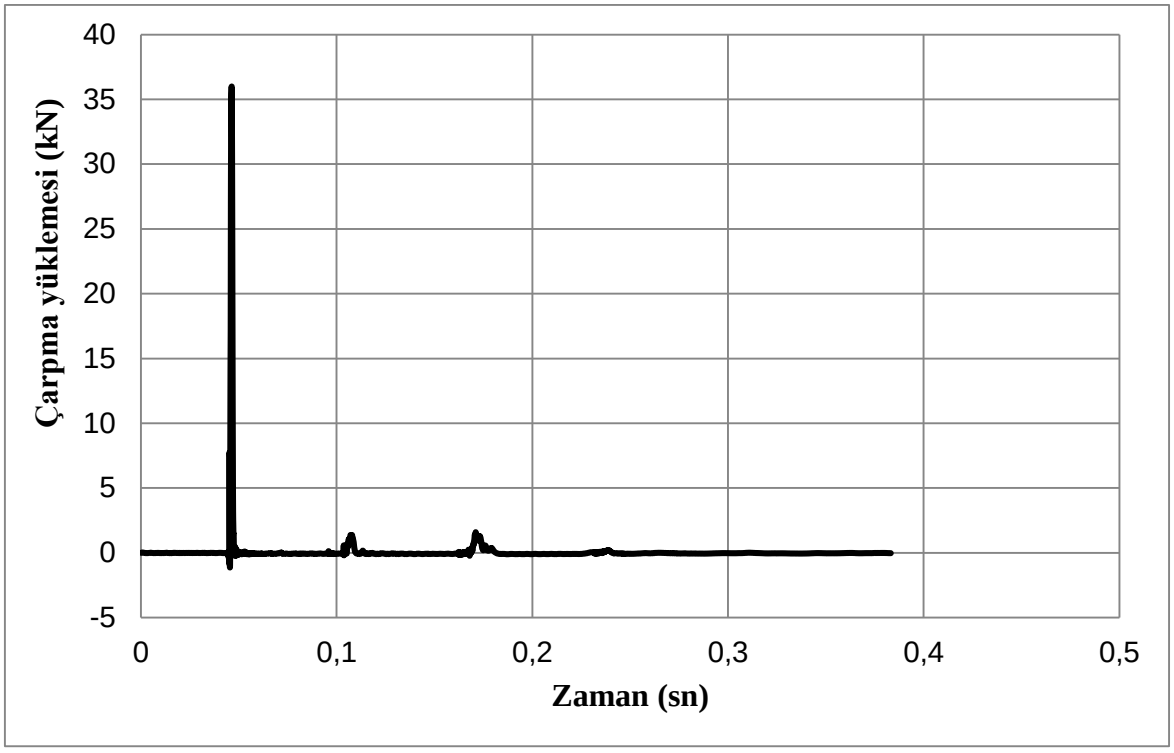
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	327,71	320,61	35,98	0,02	0,03	0,00949
Minimum	-302,88	-127,41	-1,12	-5,77	-6,46	-0,00011
				5,79	6,48	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil4.49'da verilmiştir.



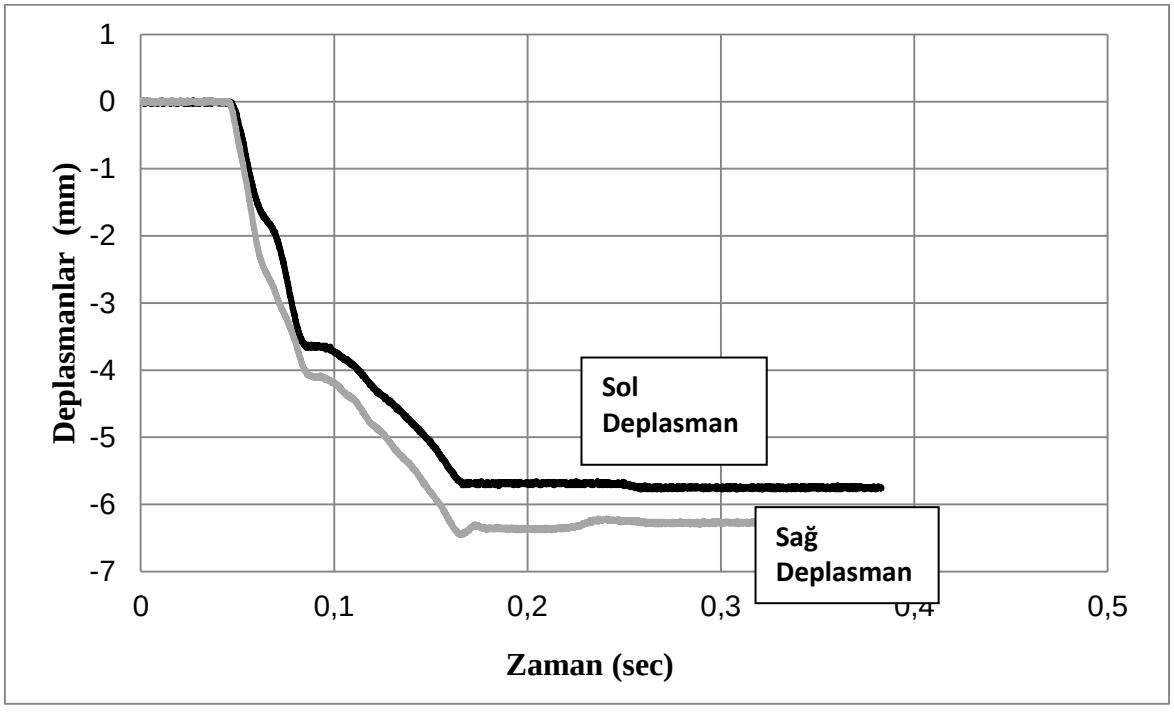
Şekil 4.49. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.50'de sunulmuştur.



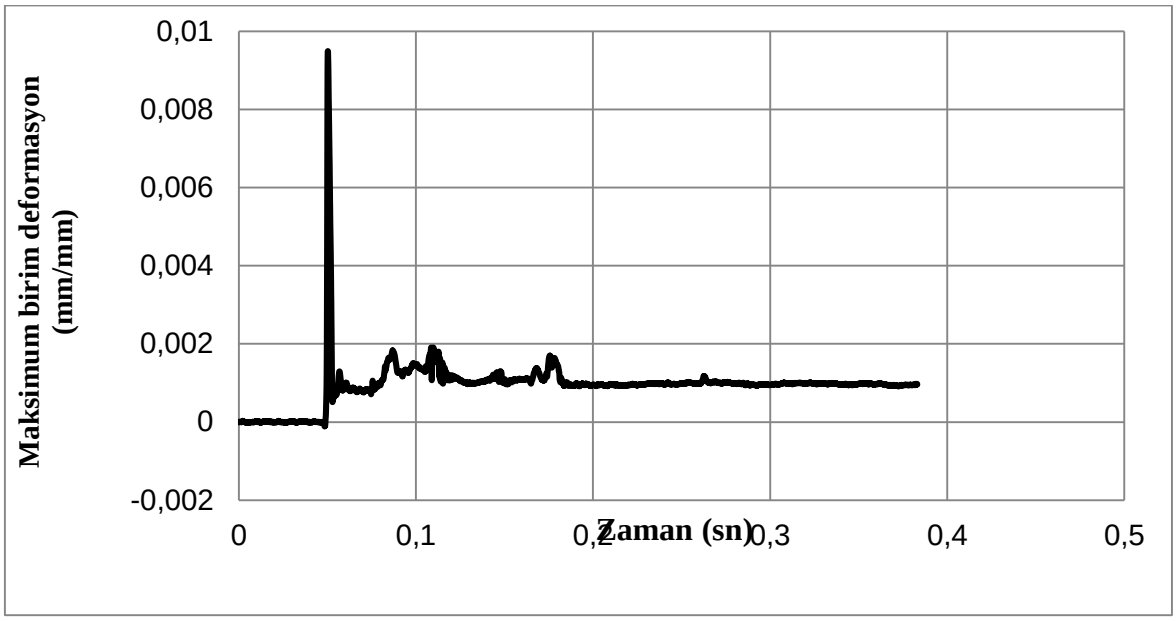
Şekil 4.50. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.51'de verilmiştir.



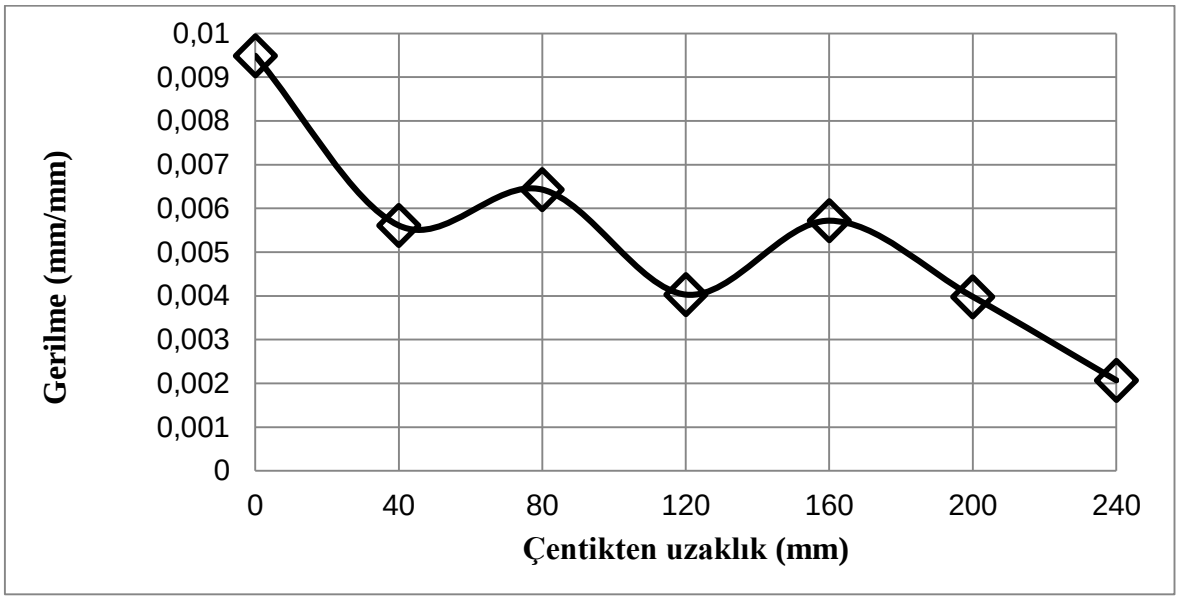
Şekil 4.51. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.52'de gösterilmiştir.



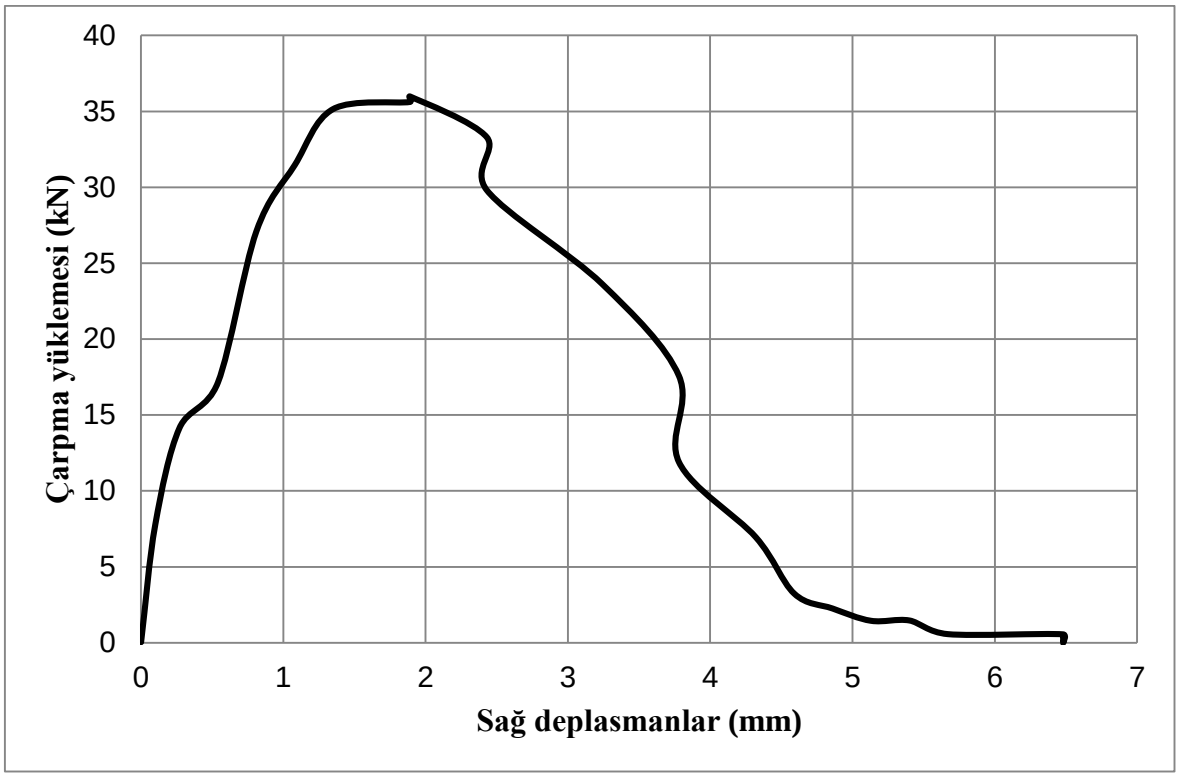
Şekil 4.52. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.53'de verilmiştir.



Şekil 4.53. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

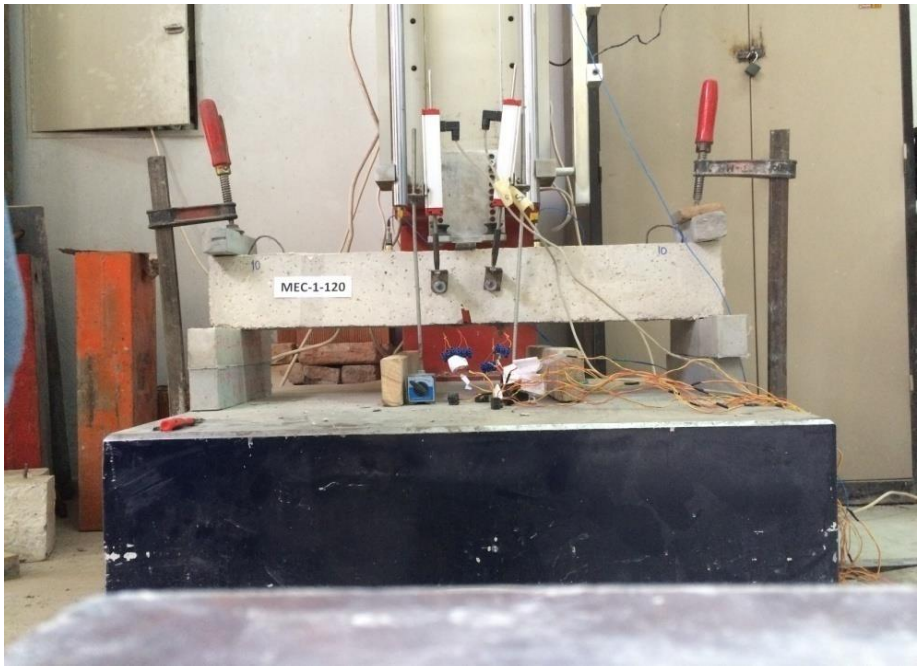
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.54'de verilmiştir.



Şekil 4.54. Yük-deplasman grafiği

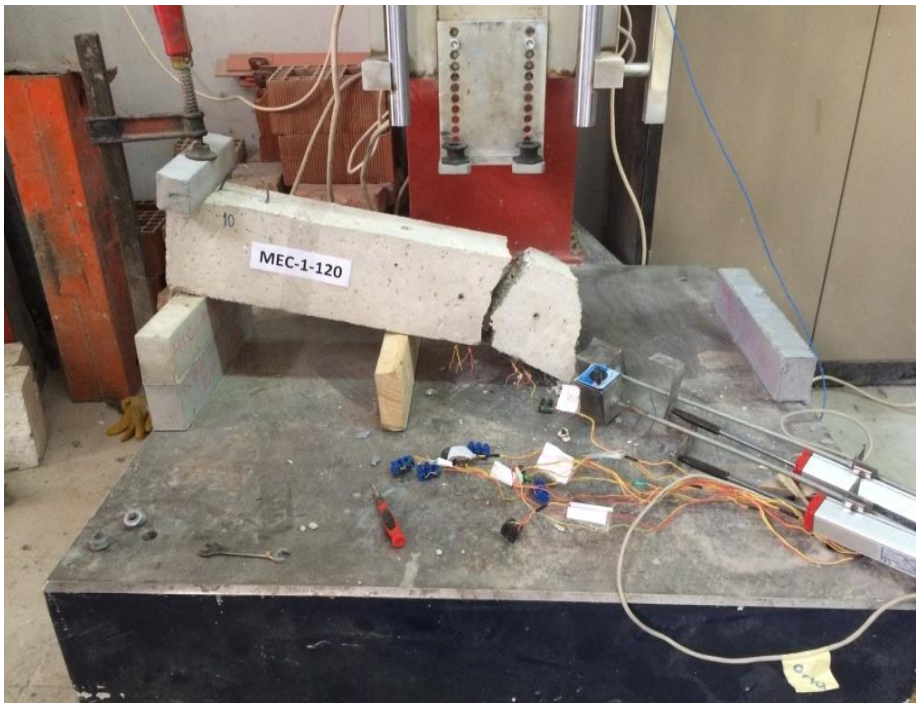
4.10.MEC_1_120 İsimli Deney Elemanı

Ana değişkenlerimizden biri de ankraj sayısıyla birlikte ankrajın uygulanma çeşididir. Deneylerimizde fan tipi ankrajın yanında mekanik ankraj da uygulanmıştır. Ankraj 1 ve 2 mekanik ankraj kullanılarak uygulanmıştır. 750 mm yükseklikten 9 kg ağırlık düşürülerek deney sonuçlandırılmıştır. Bu uygulamalar sonucu deney sonuçları fan tipi ve ankrajsız durumlara göre yorumlanmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.31'de gösterilmiştir.



Resim 4.31. On nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.32'de verilmiştir.



Resim 4.32. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.33'de gösterilmiştir.



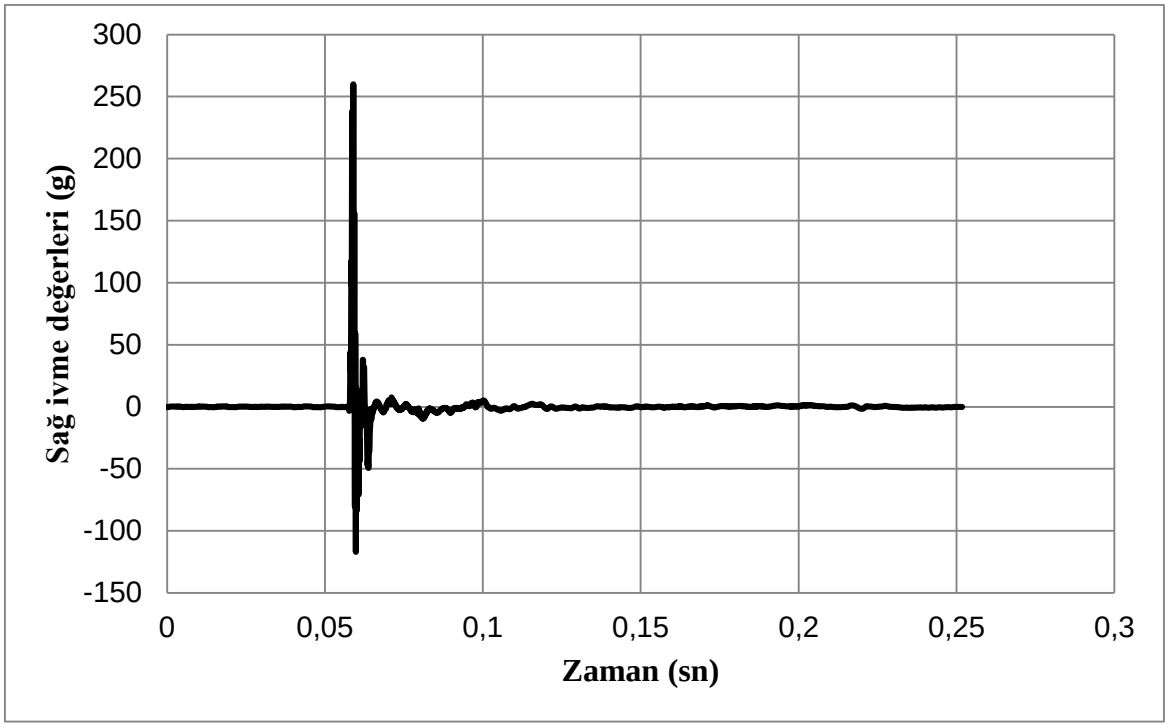
Resim 4.33. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_1_120 isimli deney sonuçları Çizelge 4.11'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.11. Deney elemanının sayısal sonuçları

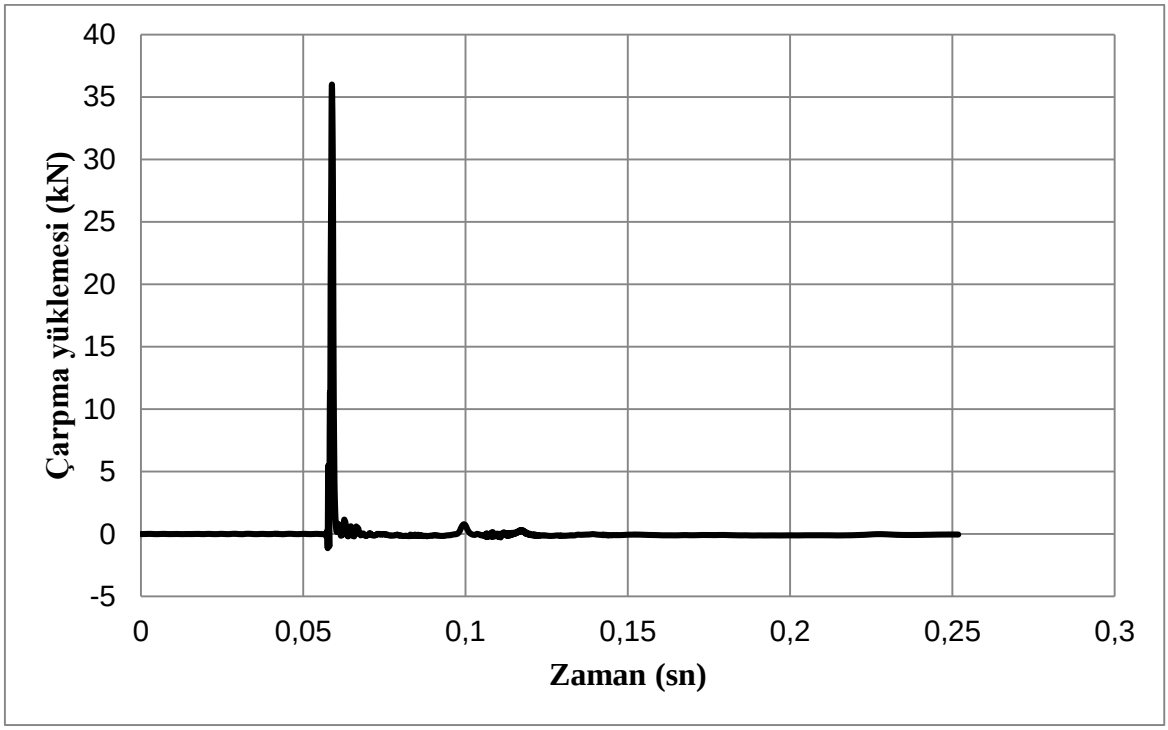
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	262,36	260,02	36,00	0,24	0,19	0,00794
Minimum	-116,70	-117,06	-1,13	-10,72	-11,58	-0,00018
				10,96	11,77	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil. 4.55'de verilmiştir.



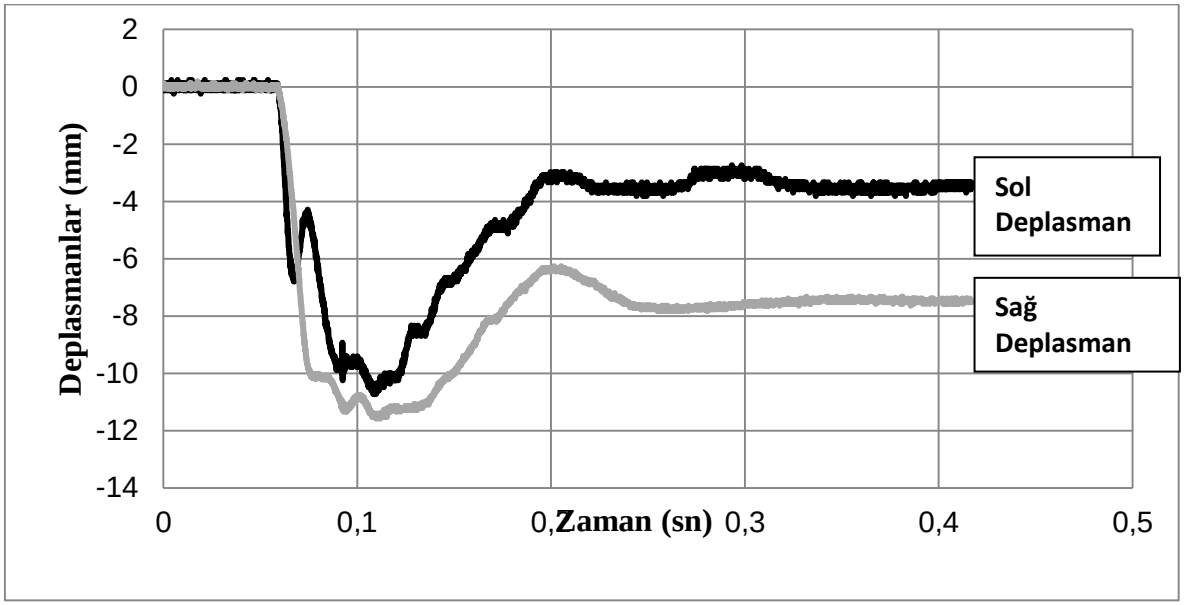
Şekil 4.55. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.56'da sunulmuştur.



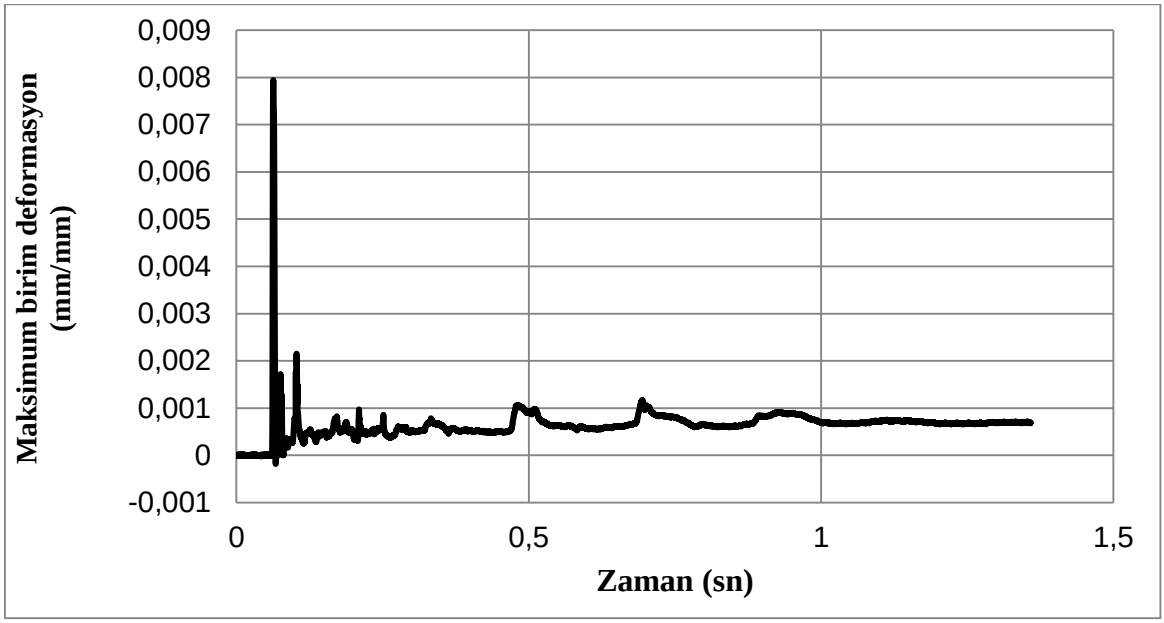
Şekil. 4.56. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.57'de verilmiştir.



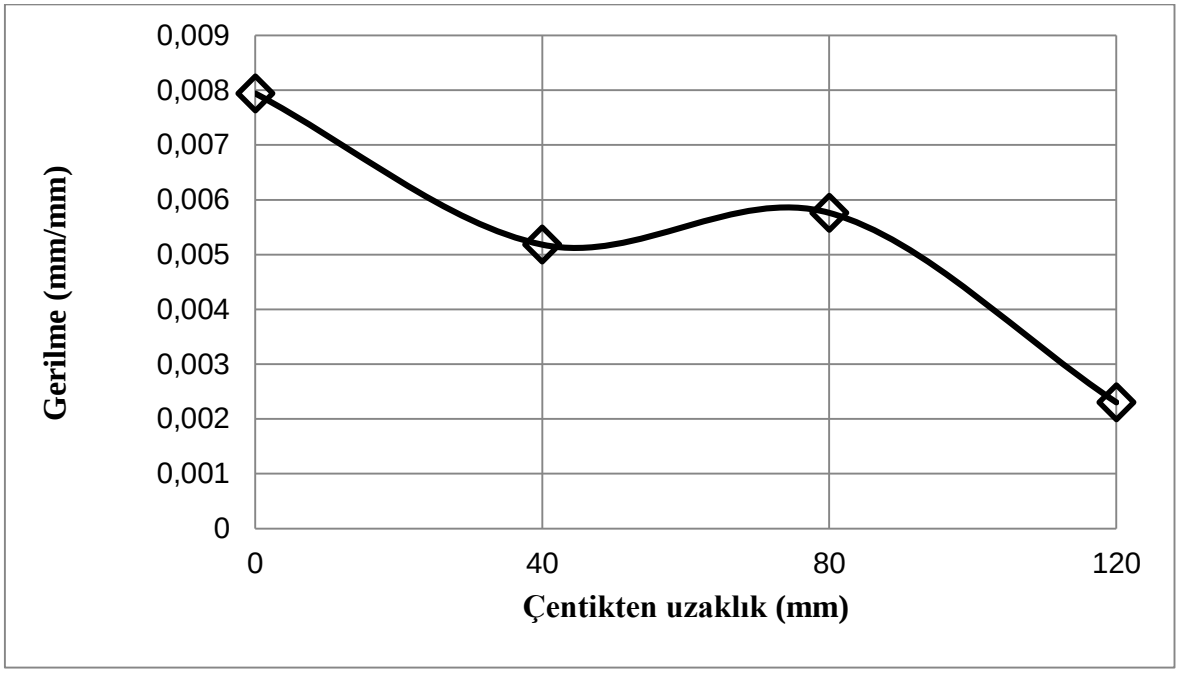
Şekil. 4.57. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



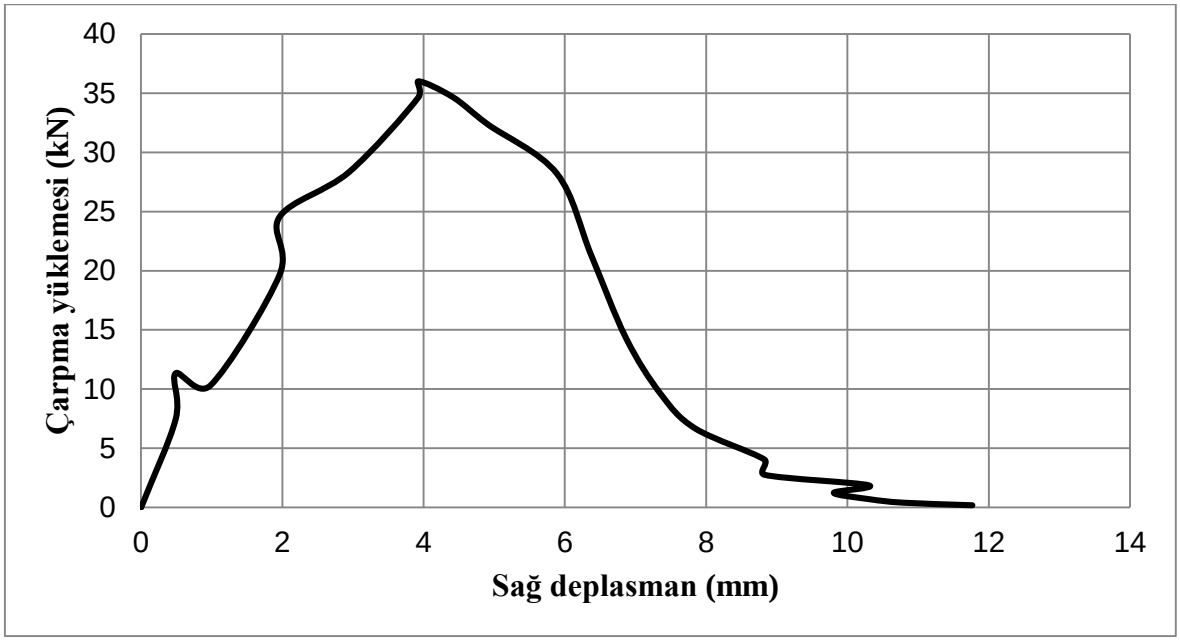
Şekil 4.58. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.59. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.60'da verilmiştir.



Şekil 4.60. Yük-deplasman grafiği

4.11. MEC_1_180 İsimli Deney Elemanı

Ankraj sayımız sabit tutulup CFRP güçlendirme elemanı yapıştırma boyu 180 mm yapılarak uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucu deney sonuçları fan tipi ve ankrajsız durumlara göre yorumlanmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.34'de gösterilmiştir.



Resim 4.34. Onbir nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.35'de verilmiştir.



Resim 4.35. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.36'da gösterilmiştir.



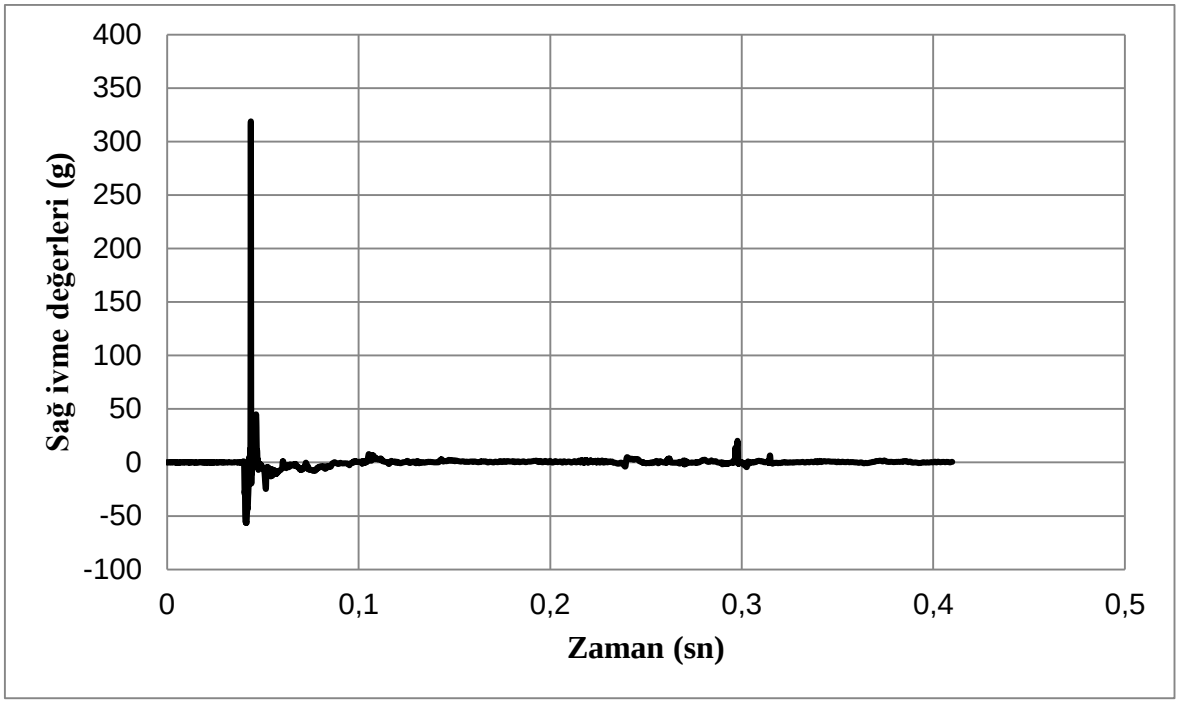
Resim 4.36. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_1_180 isimli deney sonuçları Çizelge 4.12'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.12. Deney elemanının sayısal sonuçları

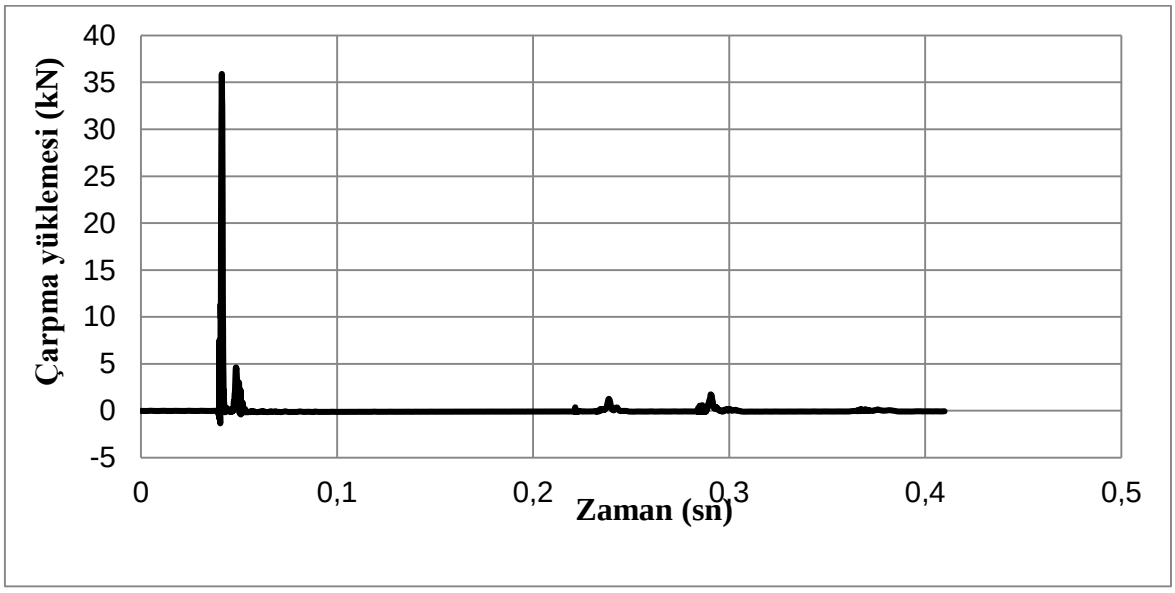
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	327,36	318,92	35,90	2,61	0,26	0,00903
Minimum	-175,31	-56,61	-1,34	-3,11	-6,20	-0,00074
				5,72	6,46	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.61'de verilmiştir.



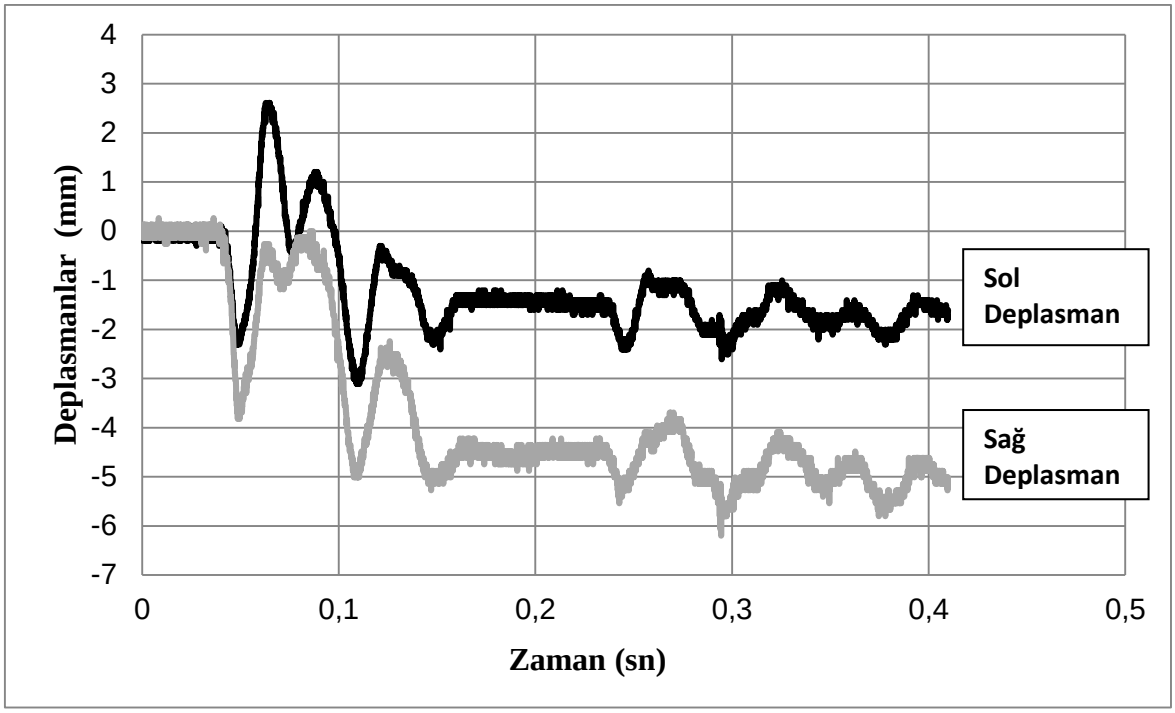
Şekil 4.61. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.62'de sunulmuştur.



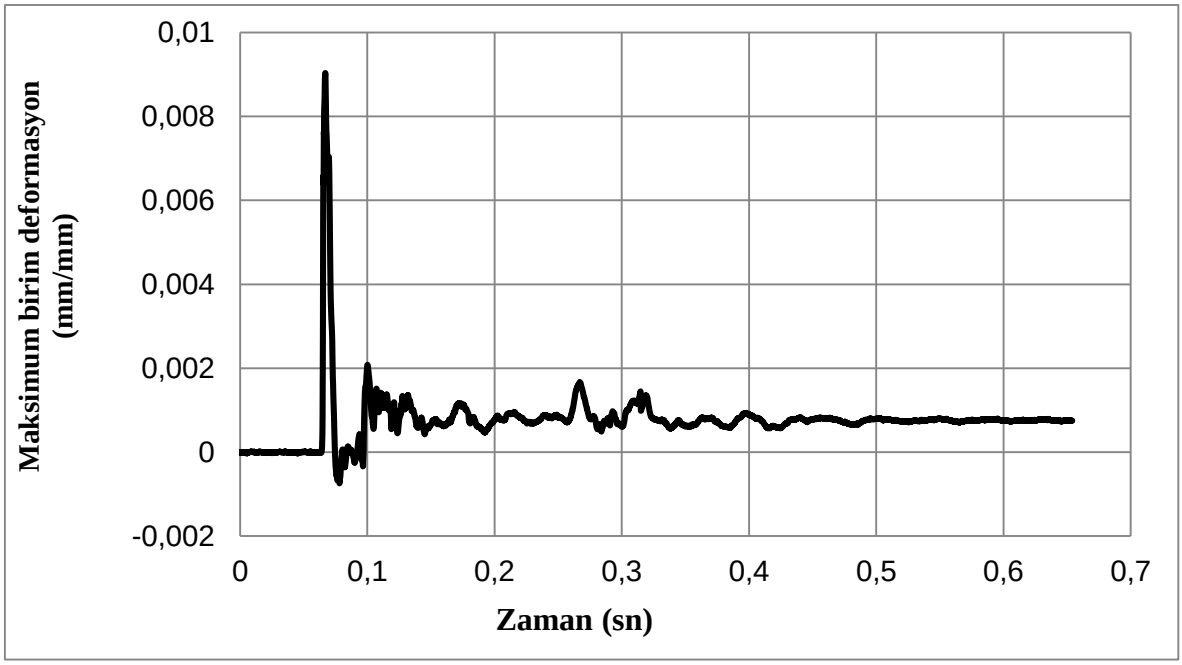
Şekil 4.62. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.63'de verilmiştir.



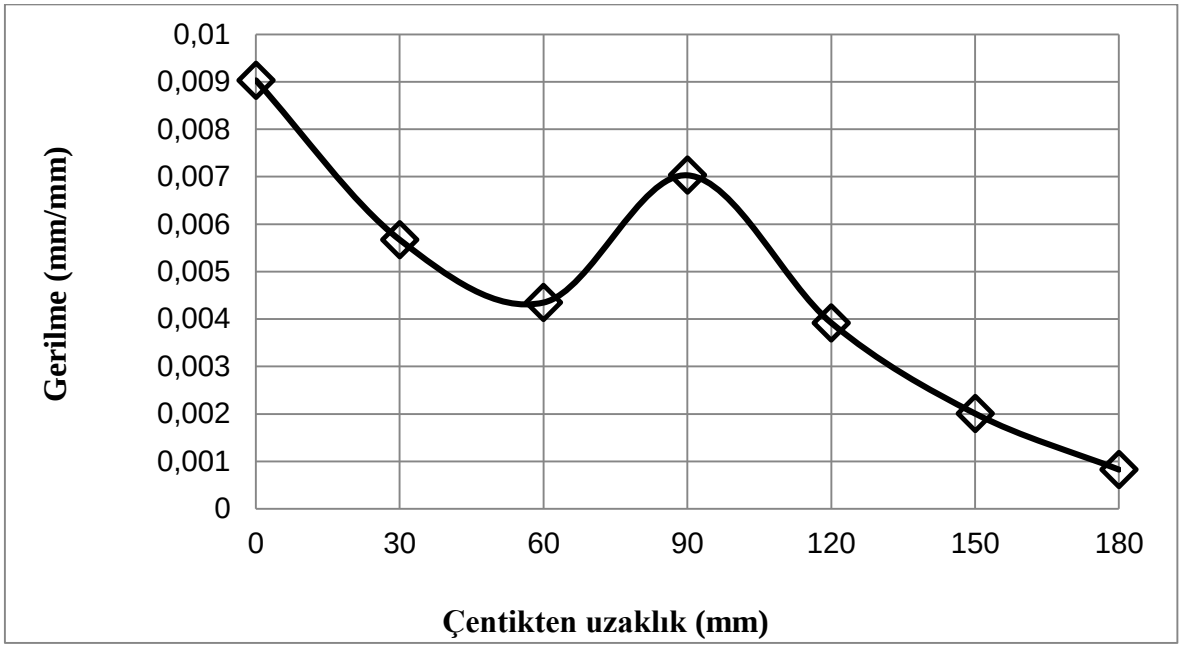
Şekil 4.63. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.64'de gösterilmiştir.



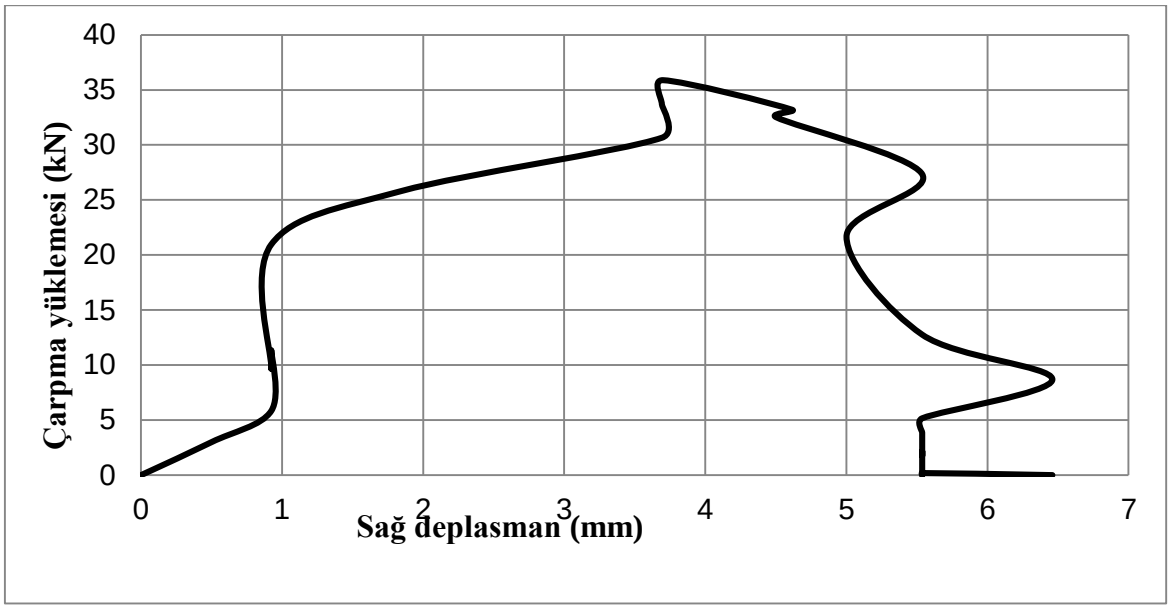
Şekil 4.64. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.65'de verilmiştir.



Şekil 4.65. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.66'da verilmiştir.



Şekil 4.66. Yük-deplasman grafiği

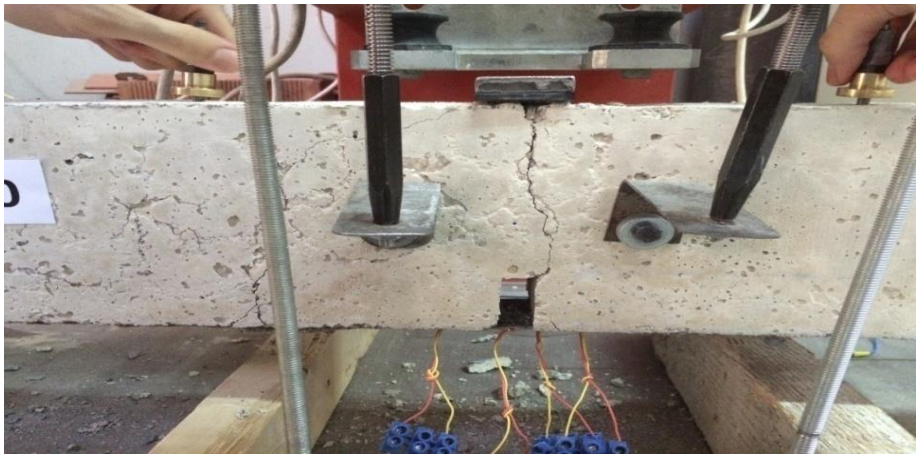
4.12. MEC_1_240 İsimli Deney Elemanı

Bir mekanik ankrajlı son deneyimiz olarak CFRP güçlendirme elemanı yapıştırma boyu 240 mm yapılarak uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucu deney sonuçları fan tipi ve ankrajsız durumlara göre yorumlanmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.37'de gösterilmiştir.



Resim 4.37. Oniki nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.38'de verilmiştir.



Resim 4.38. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.39'da gösterilmiştir.



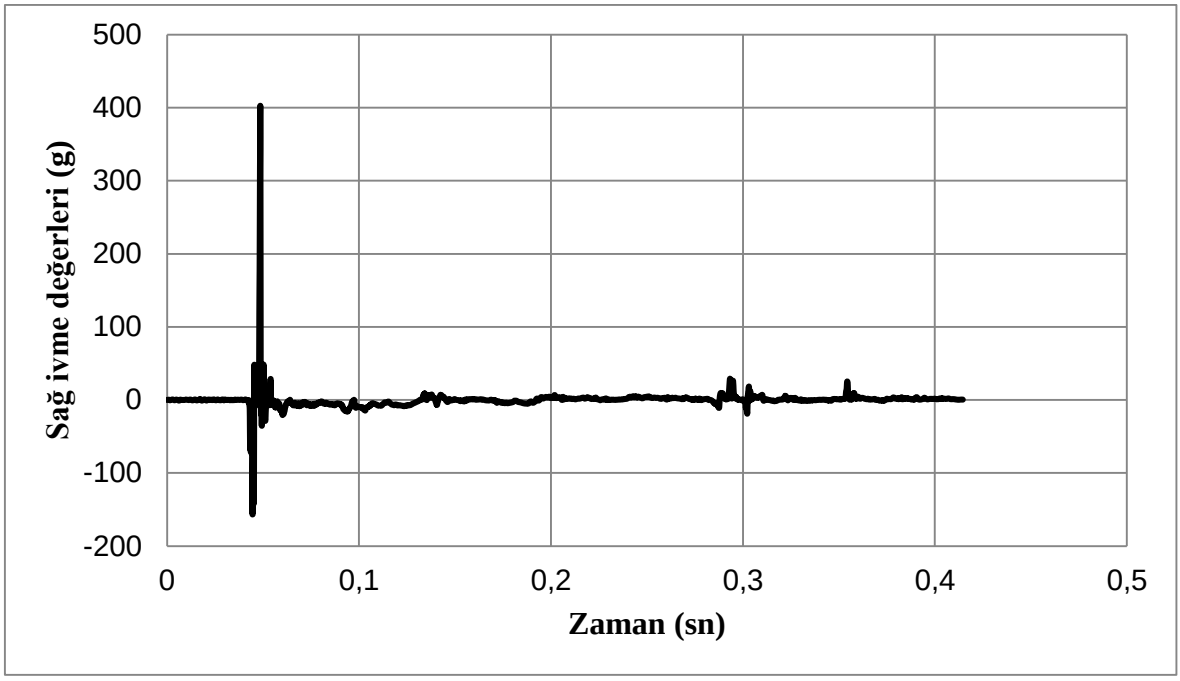
Resim 4.39. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_1_240 isimli deney sonuçları Çizelge 4.13'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.13. Deney elemanının sayısal sonuçları

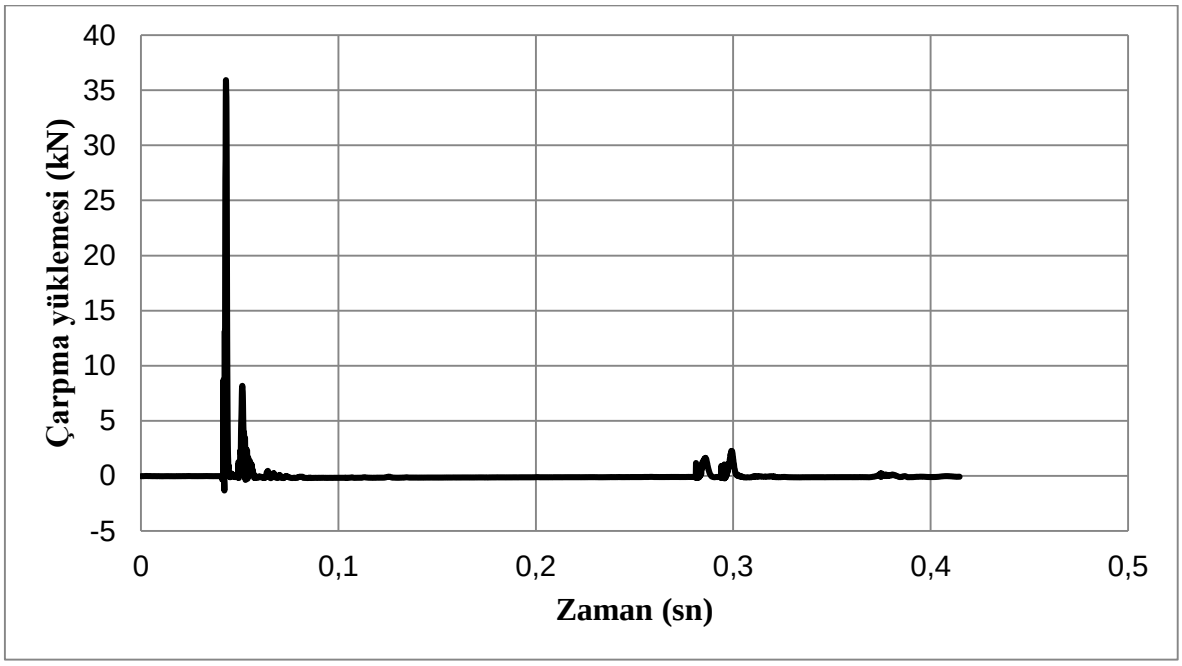
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	408,75	402,69	35,93	1,34	2,40	0,01027
Minimum	-231,04	-156,72	-1,32	-1,88	-1,69	-0,00178
				3,21	4,09	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.67'de verilmiştir.



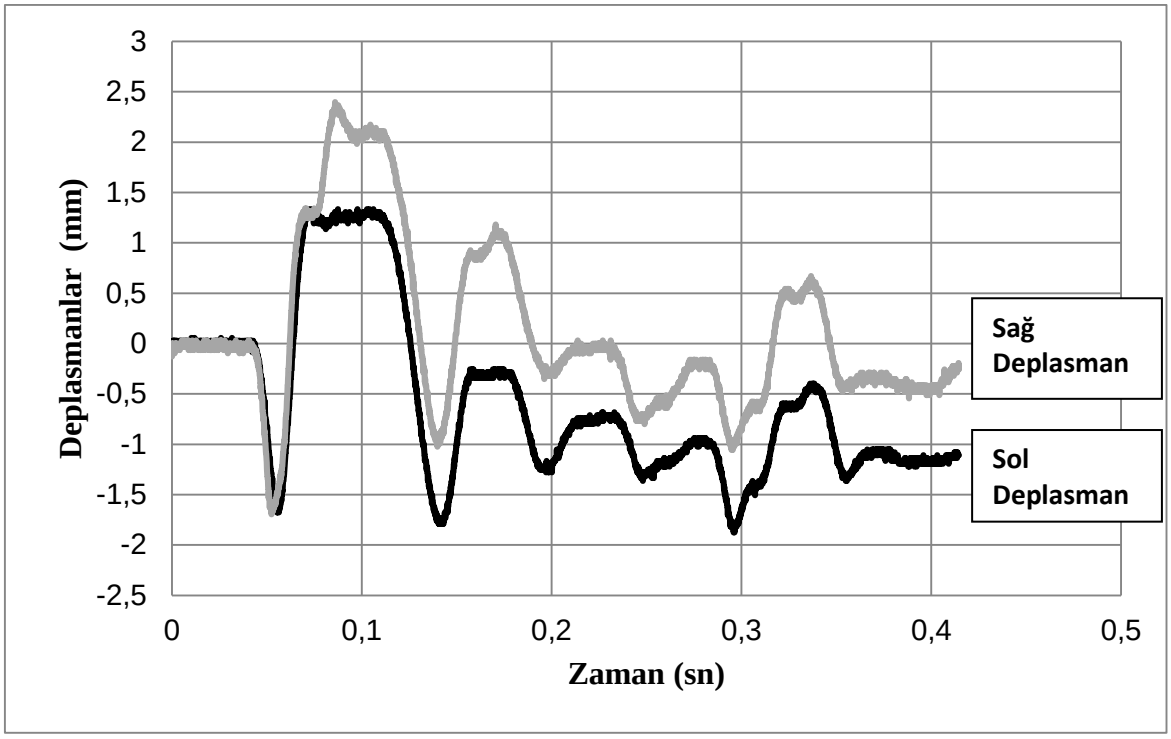
Şekil 4.67. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.68'de sunulmuştur.



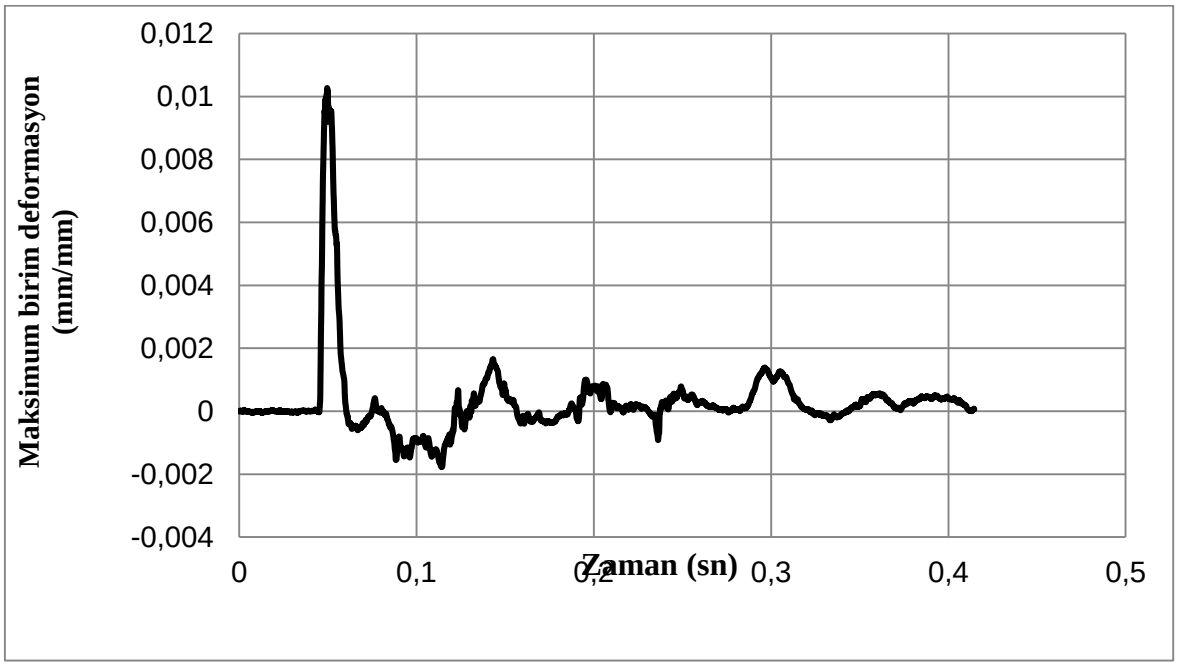
Şekil 4.68. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.69'da verilmiştir.



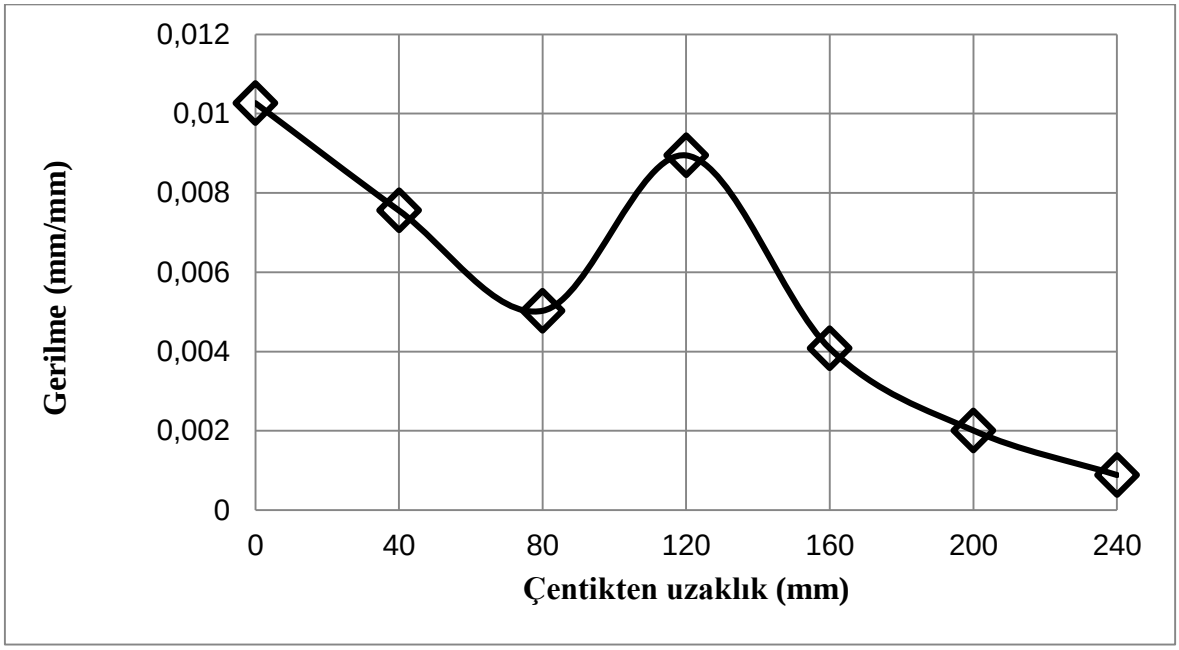
Şekil 4.69. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.70'de gösterilmiştir.



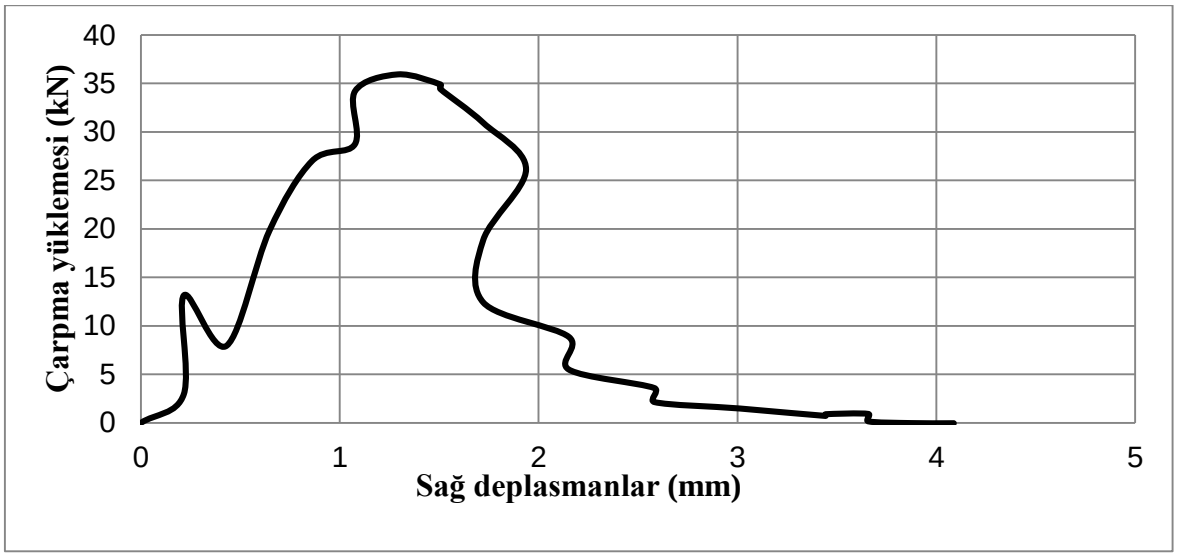
Şekil 4.70. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.71'de verilmiştir.



Şekil 4.71. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

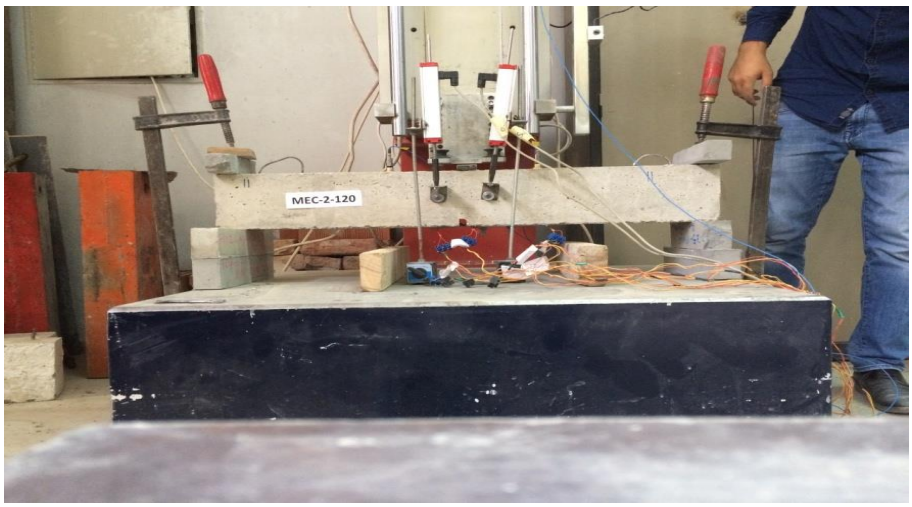
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.72'de verilmiştir.



Şekil 4.72. Yük-deplasman grafiği

4.13. MEC_2_120 İsimli Deney Elemanı

Sıradaki deney grubunda mekanik ankraj sayısı 2 olarak artırılıp CFRP güçlendirme elemanı yapıştırma boyu 120 mm yapılarak uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalar sonucu deney sonuçları fan tipi ve ankrajsız durumlara göre yorumlanmıştır. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.40'da gösterilmiştir.



Resim 4.40. Onüç nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.41'de verilmiştir.



Resim 4.41. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.42'de gösterilmiştir.



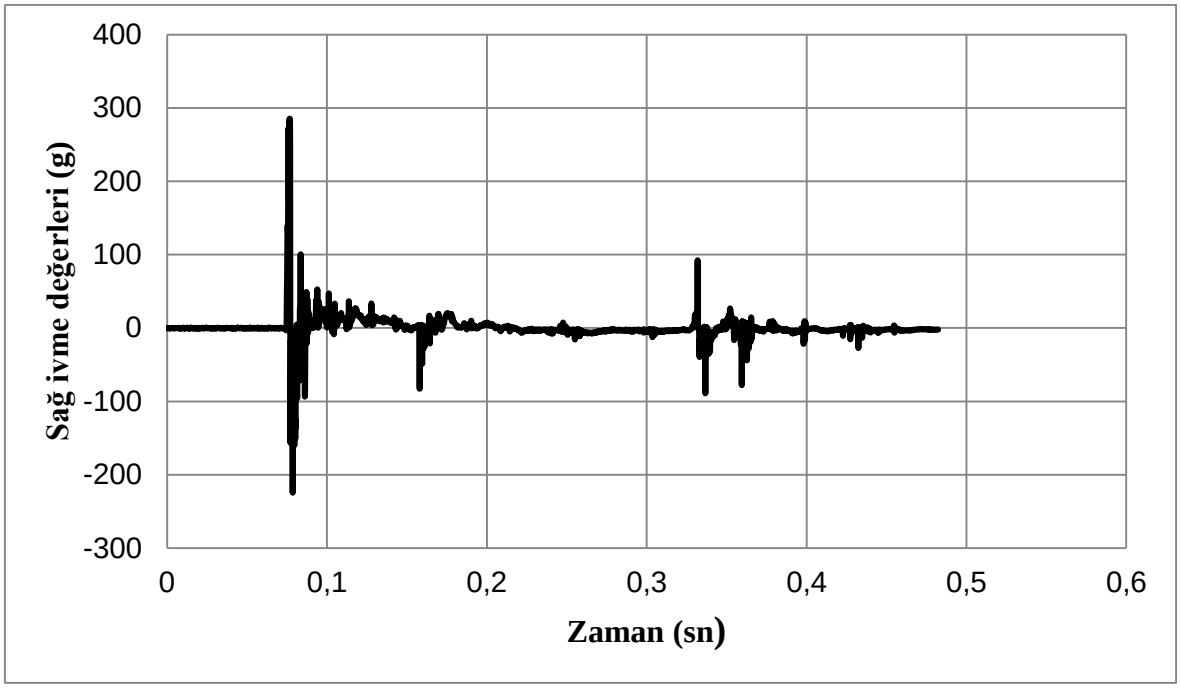
Resim 4.42. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_2_120 isimli deney sonuçları Çizelge 4.14'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.14. Deney elemanının sayısal sonuçları

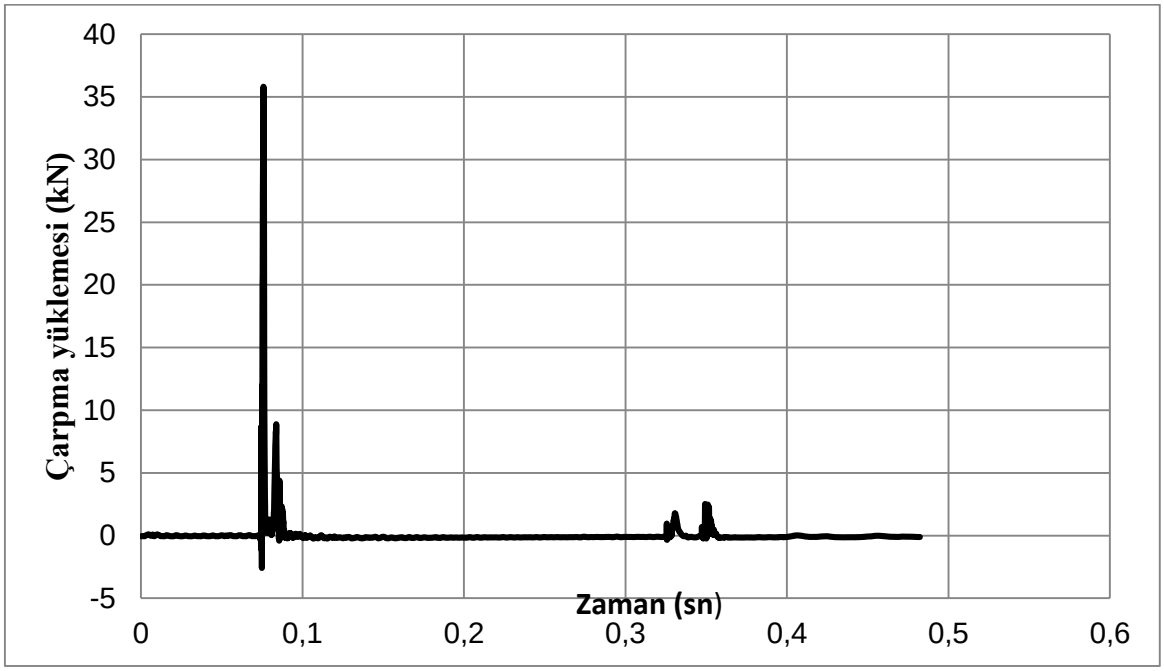
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	289,36	285,52	35,82	4,26	5,09	0,00916
Minimum	-122,21	-224,43	-2,58	-3,23	-3,37	-0,00574
				7,49	8,46	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.73'de verilmiştir.



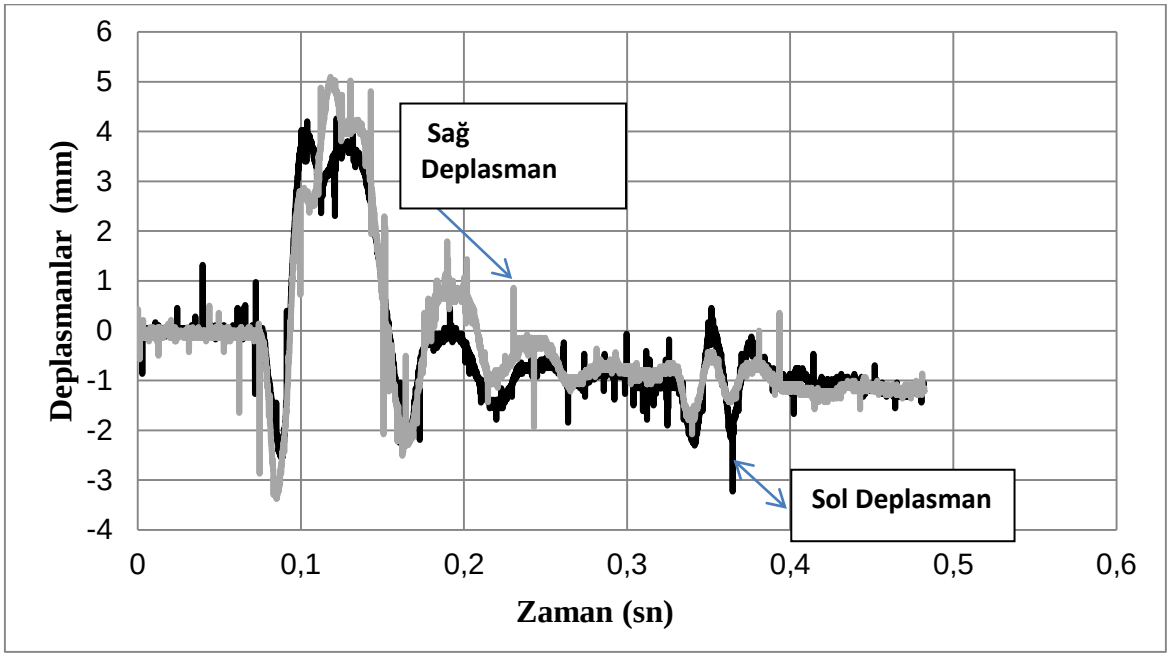
Şekil 4.73. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.74'de sunulmuştur.



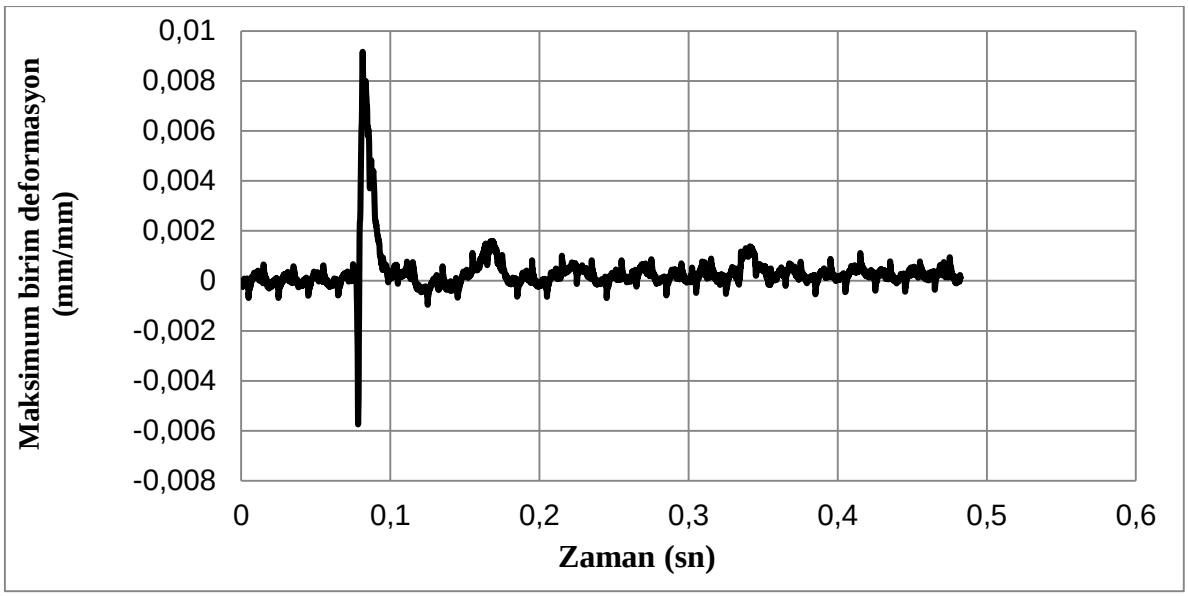
Şekil 4.74. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.75'de verilmiştir.



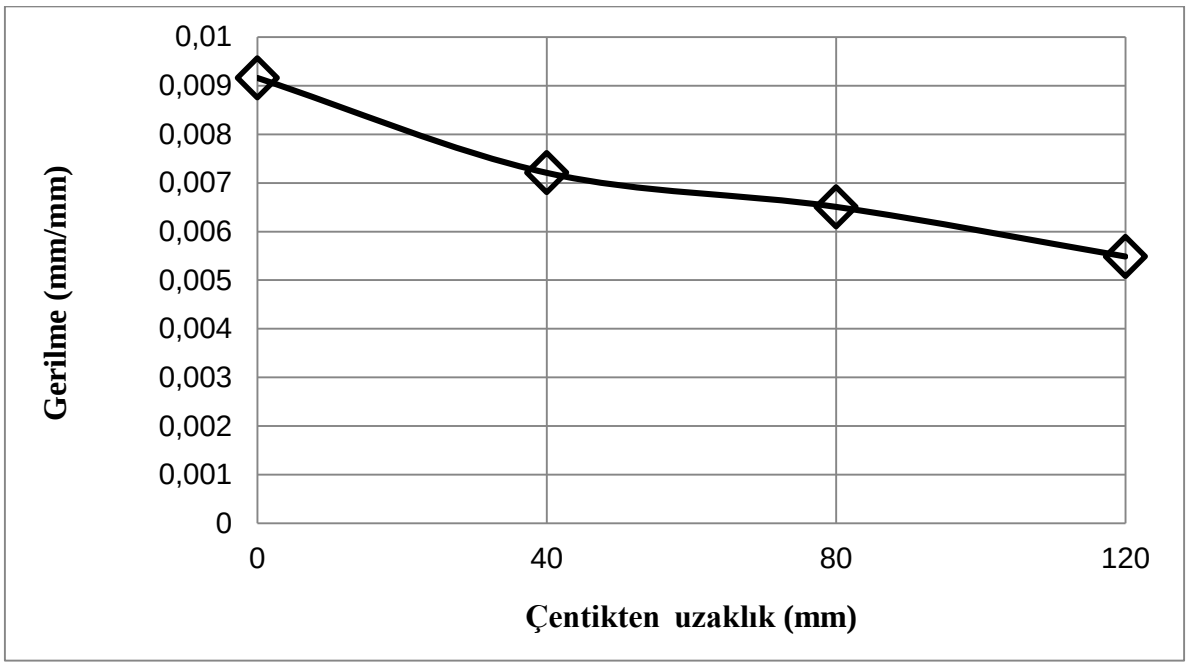
Şekil 4.75. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.76'da gösterilmiştir.



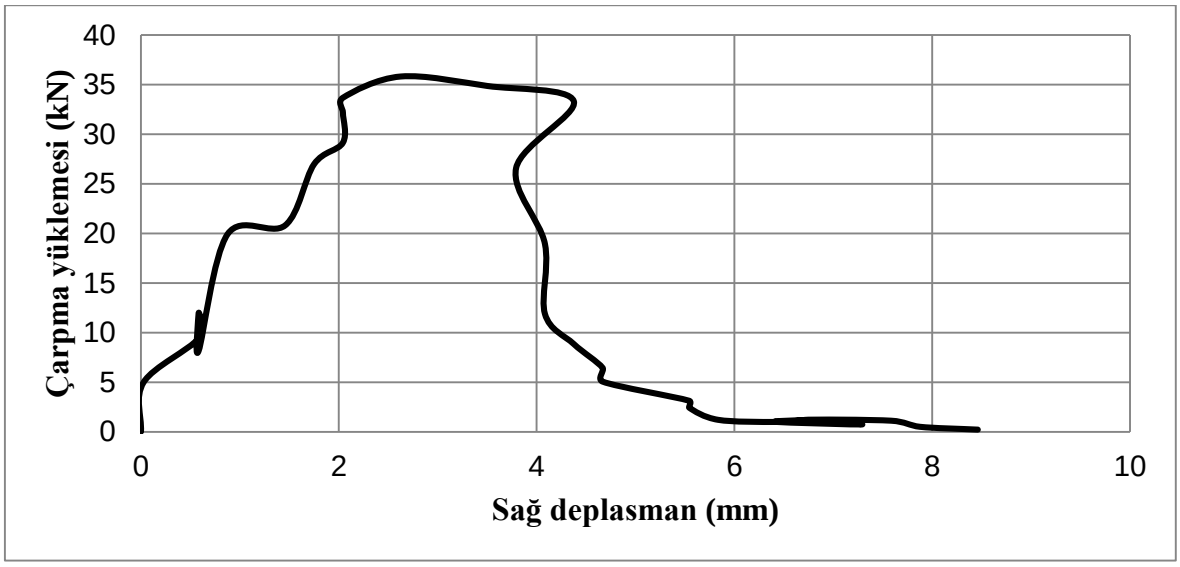
Şekil 4.76. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.77'de verilmiştir.



Şekil 4.77. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

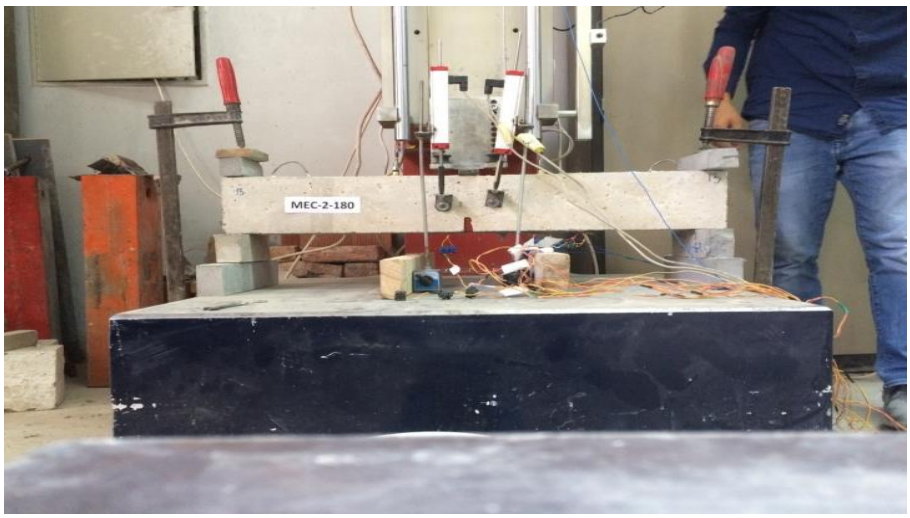
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.78'de verilmiştir.



Şekil 4.78. Yük-deplasman grafiği

4.14. MEC_2_180 İsimli Deney Elemanı

Mekanik ankrajlı deneylerimizden biri de CFRP yapıştırma boyunun 180 mm'ye çıkarılıp mekanik ankraj sayımızın 2 olarak seçildiği deneydir. CFRP şerit genişliği sabit ve 50 mm olan ve 9 kg ağırlık etkili çekiç ile deney gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.43'de gösterilmiştir.



Resim 4.43. Ondört nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney yapıldıktan sonra meydana gelen deformasyon ve deney elemanının son hali Resim 4.44'de verilmiştir.



Resim 4.44. Deney elemanının son hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.45'de gösterilmiştir.



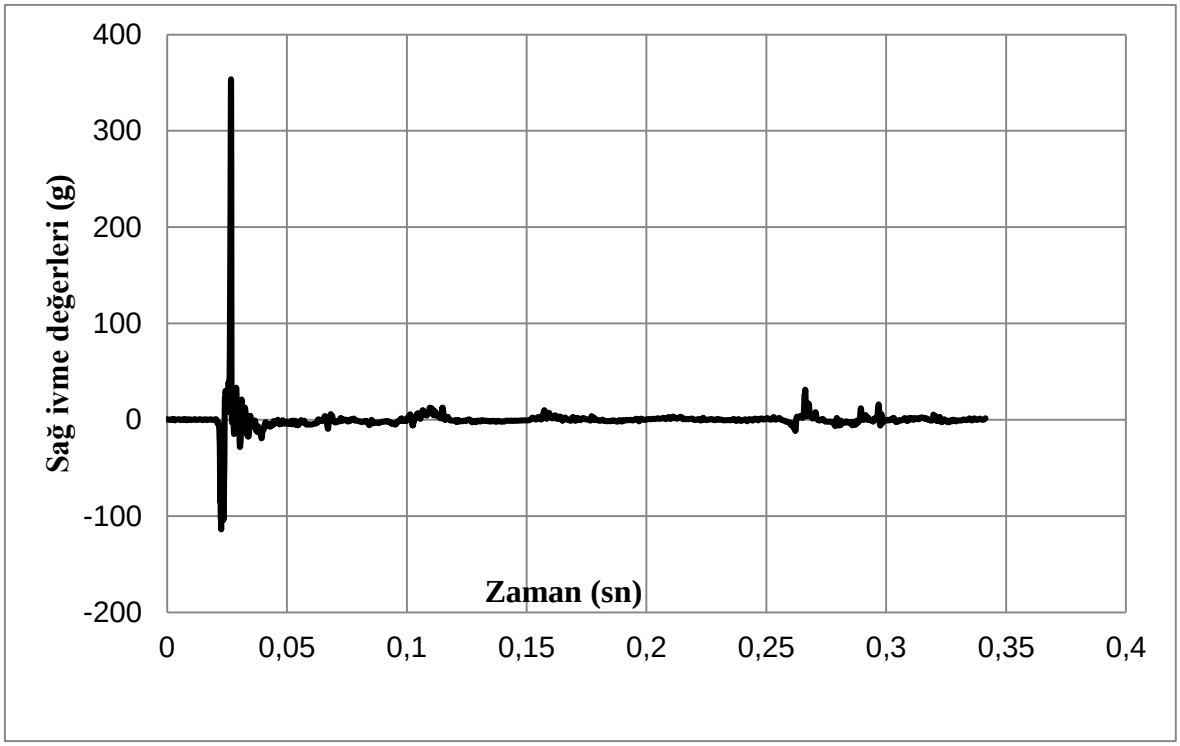
Resim 4.45. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_2_180 isimli deney sonuçları Çizelge 4.15'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.15. Deney elemanının sayısal sonuçları

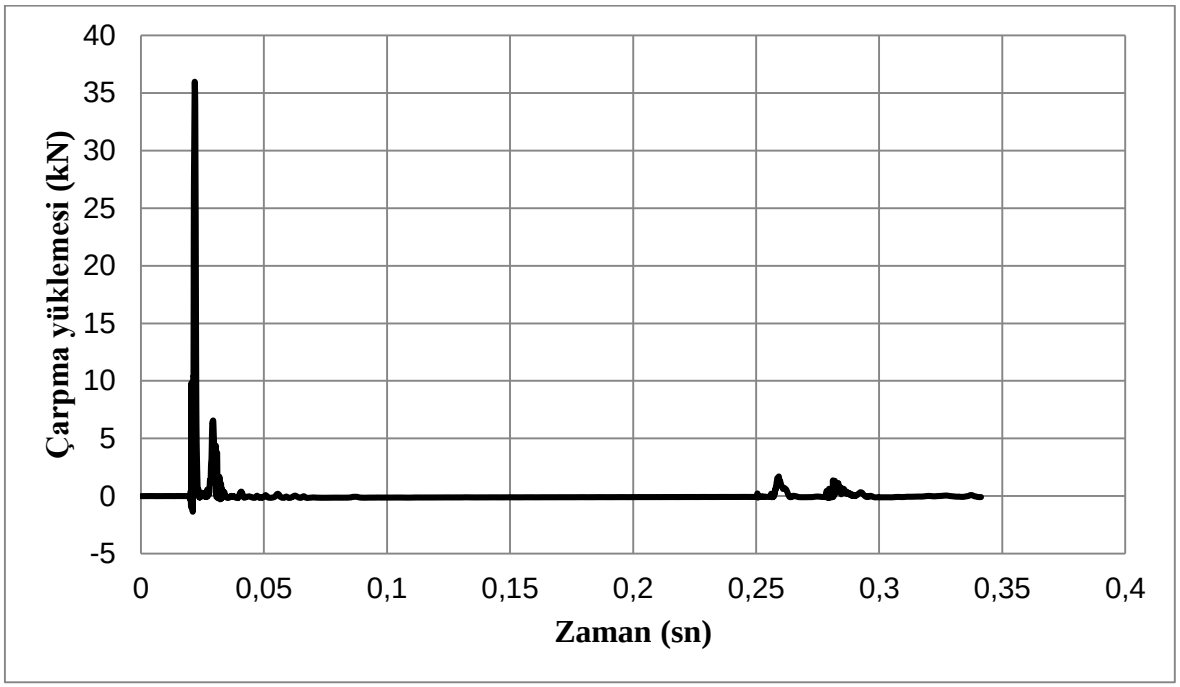
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	360,99	353,73	35,98	3,17	3,57	0,01083
Minimum	-184,70	-113,95	-1,37	-0,87	-1,65	-0,00128
				4,04	5,22	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.79'da verilmiştir.



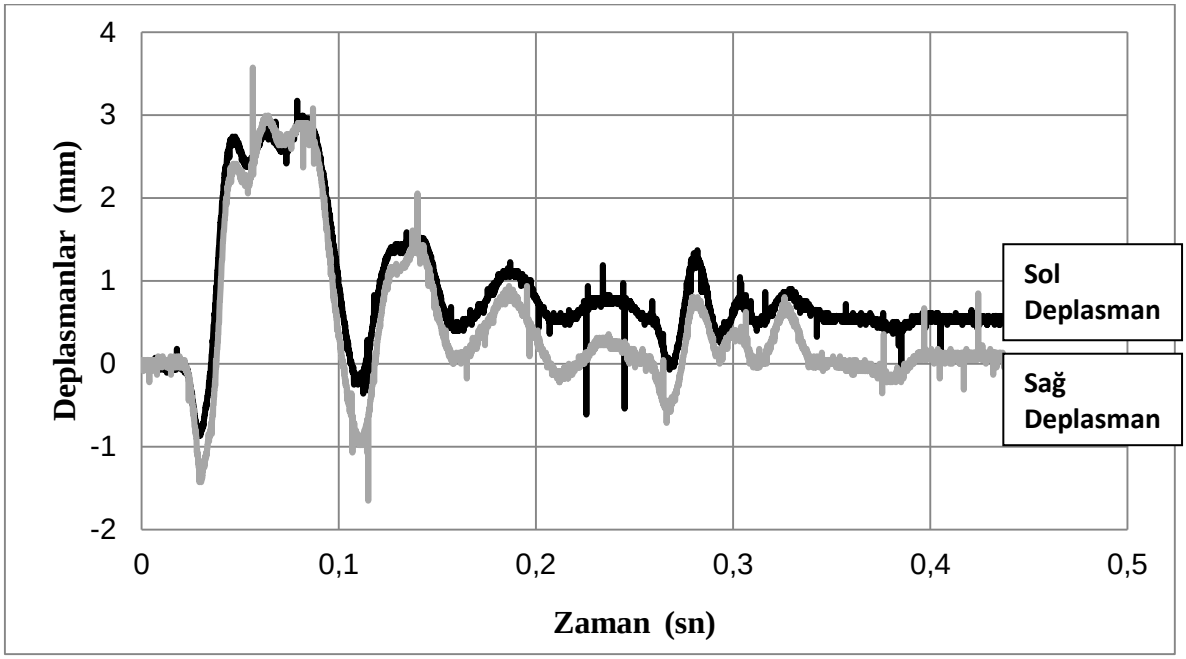
Şekil 4.79. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.80'de sunulmuştur.



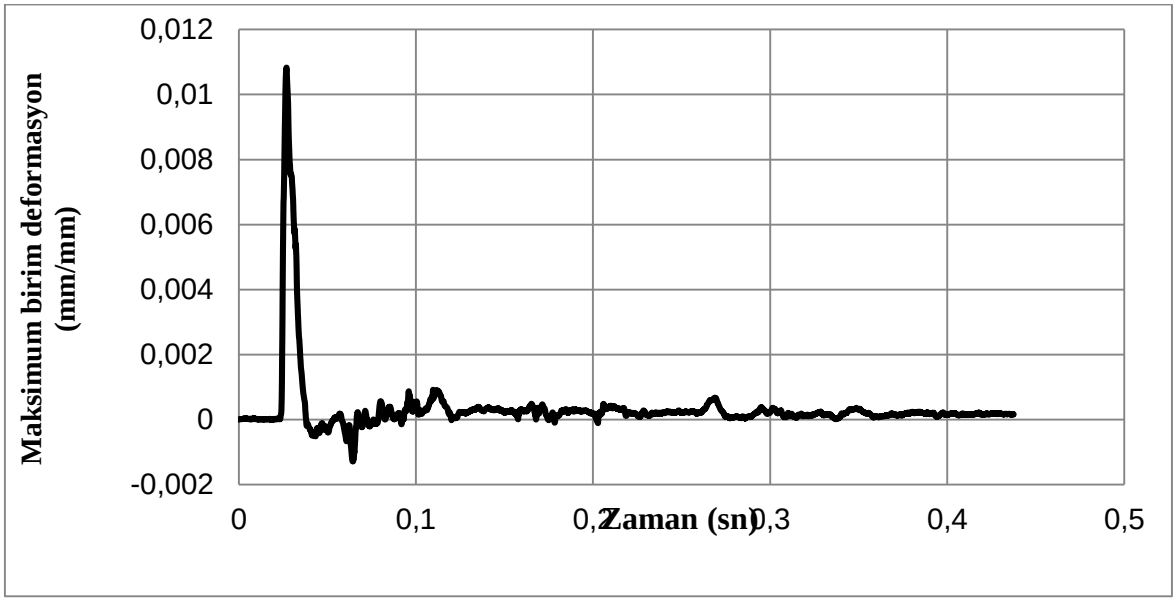
Şekil 4.80. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zaman göre değişim grafiği Şekil 4.81'de verilmiştir.



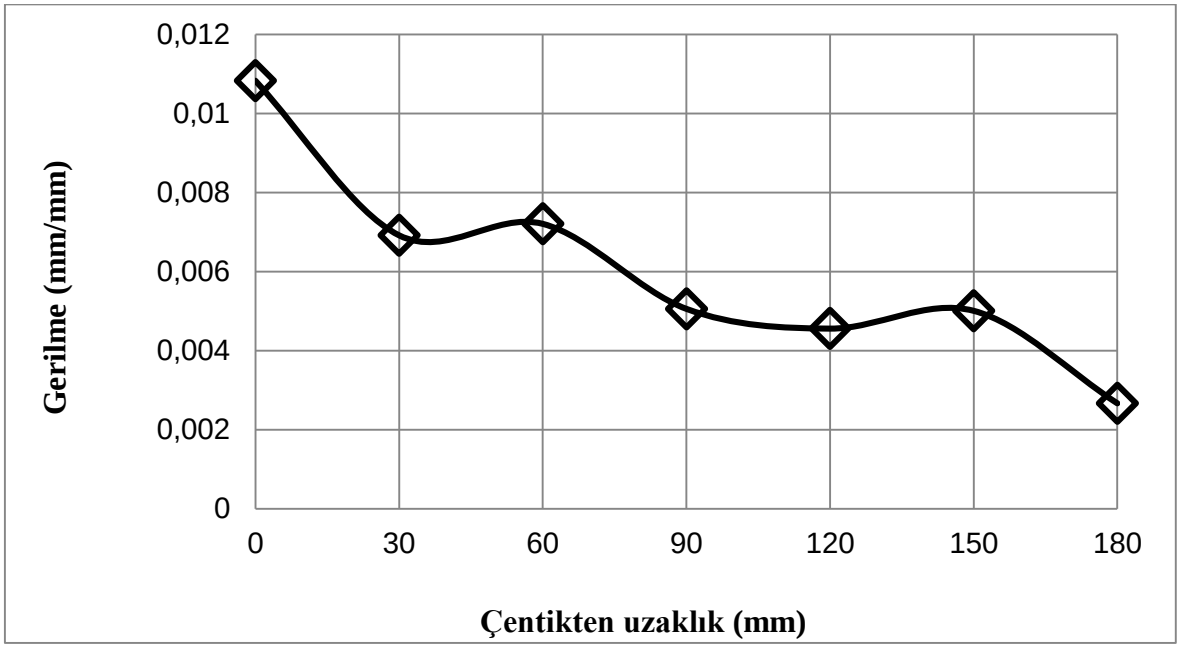
Şekil 4.81. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.82'de gösterilmiştir.



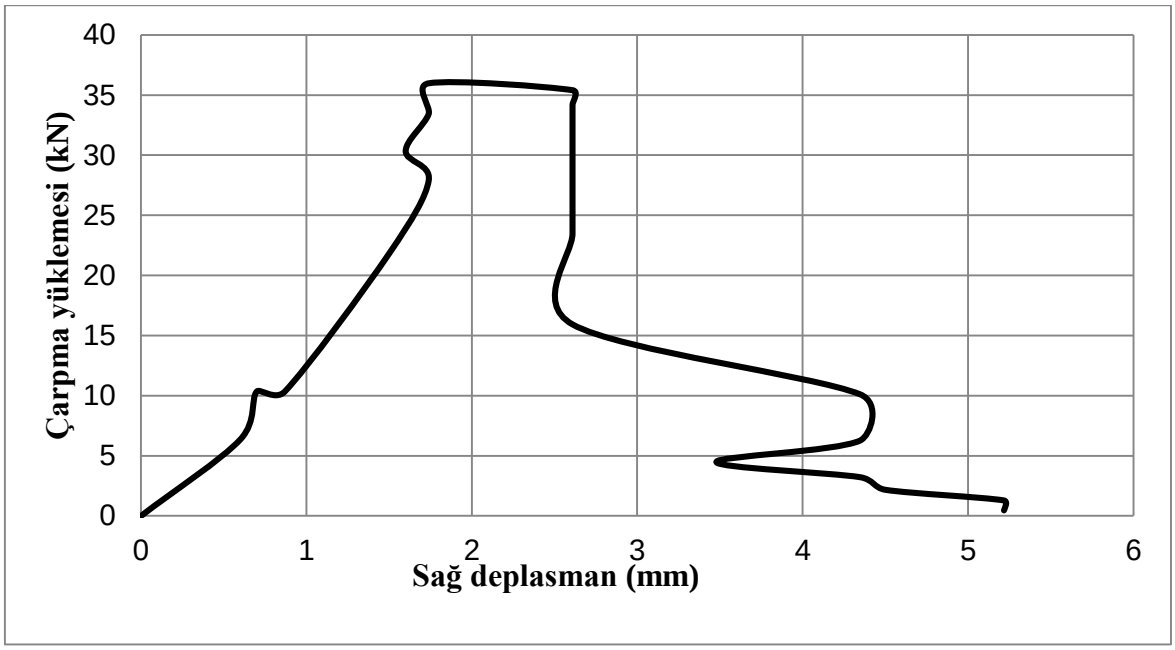
Şekil 4.82. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.83'de verilmiştir.



Şekil 4.83. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

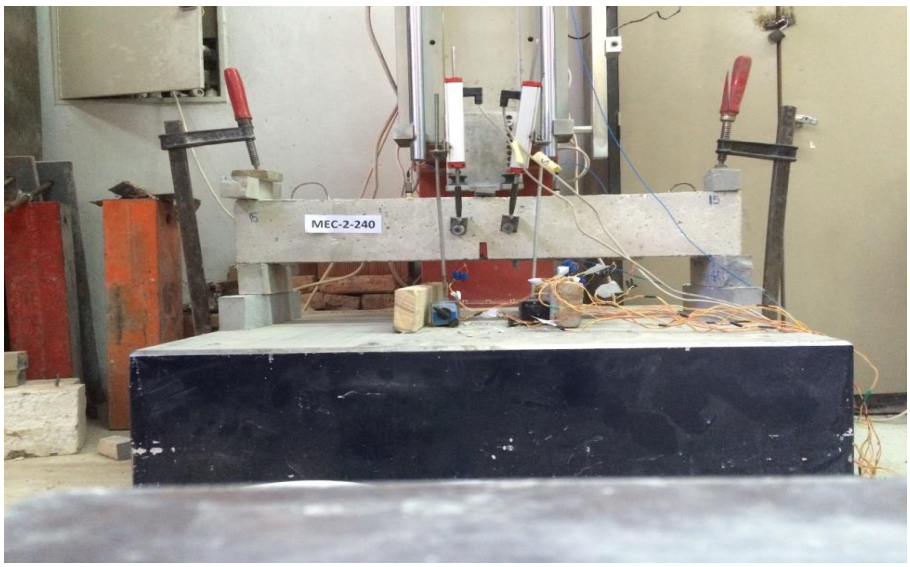
Beton kiriş deney elemanı için çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.84'de verilmiştir.



Şekil 4.84. Yük-deplasman grafiği

4.15. MEC_2_240 İsimli Deney Elemanı

Mekanik ankrajlı deneylerimizden sonuncusu CFRP yapıştırma boyunun 240 mm'ye çıkarılıp mekanik ankraj sayımızın 2 olarak seçildiği deneydir. CFRP şerit genişliği sabit ve 50 mm olan ve 9 kg ağırlık etkili çekiç ile deney gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği ve deney elemanının deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Resim 4.46'da gösterilmiştir.



Resim 4.46. Onbeş nolu deney elemanının düzeneğe yerleştirilmiş hali

Deney elemanının düzenekten ayrılıp, CFRP yapışma boyu altındaki deney elemanın hasar görme mekanizması Resim 4.47'de gösterilmiştir.



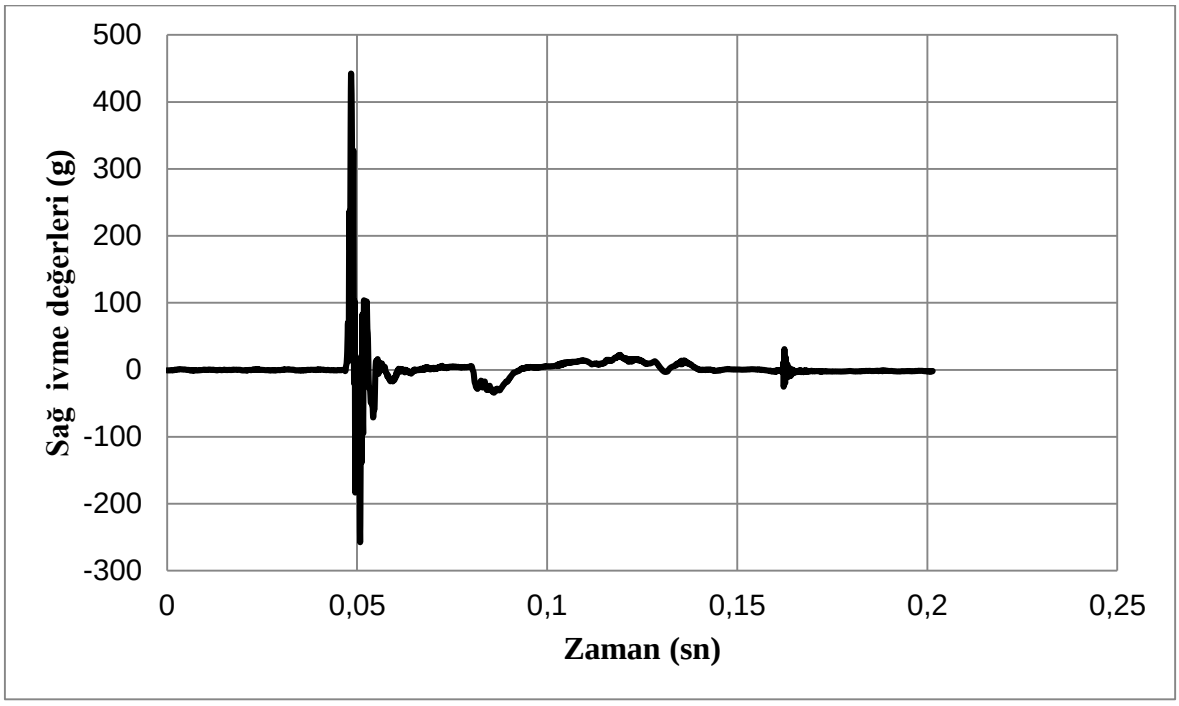
Resim 4.47. Deney elemanının hasar görme mekanizması

MEC_2_240 isimli deney sonuçları Çizelge 4.16'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 4.16. Deney elemanının sayısal sonuçları

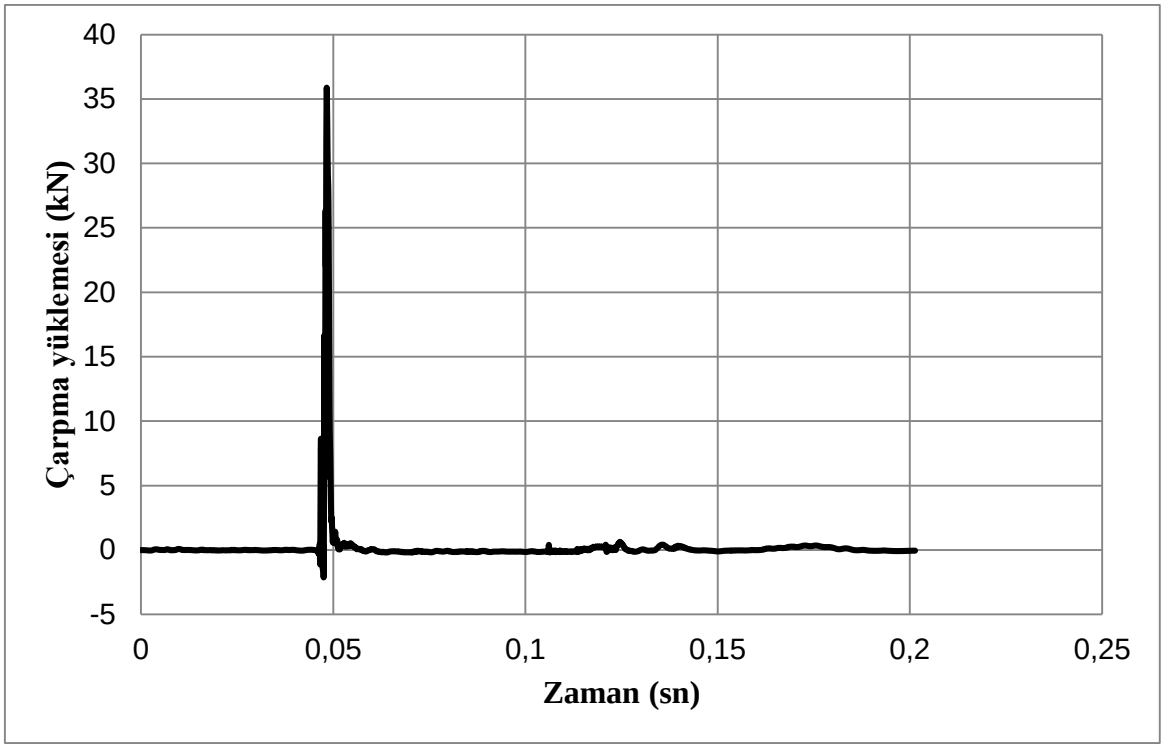
	Sol İvme (g)	Sağ İvme (g)	Etki Eden Yük (kN)	Sol Yer Değiştirme (mm)	Sağ Yer Değiştirme (mm)	Maksimum Gerilme (mm/mm)
Maksimum	449,23	442,46	35,89	0,01	0,03	0,01240
Minimum	-163,28	-257,36	-2,14	-2,48	-2,93	-0,00004
				2,50	2,95	

Deney elemanında CFRP şeritlerin davranışlarının incelenmesi amacıyla kirişlerin sağ tarafından ölçülen ivme-zaman değişimleri Şekil 4.85'de verilmiştir.



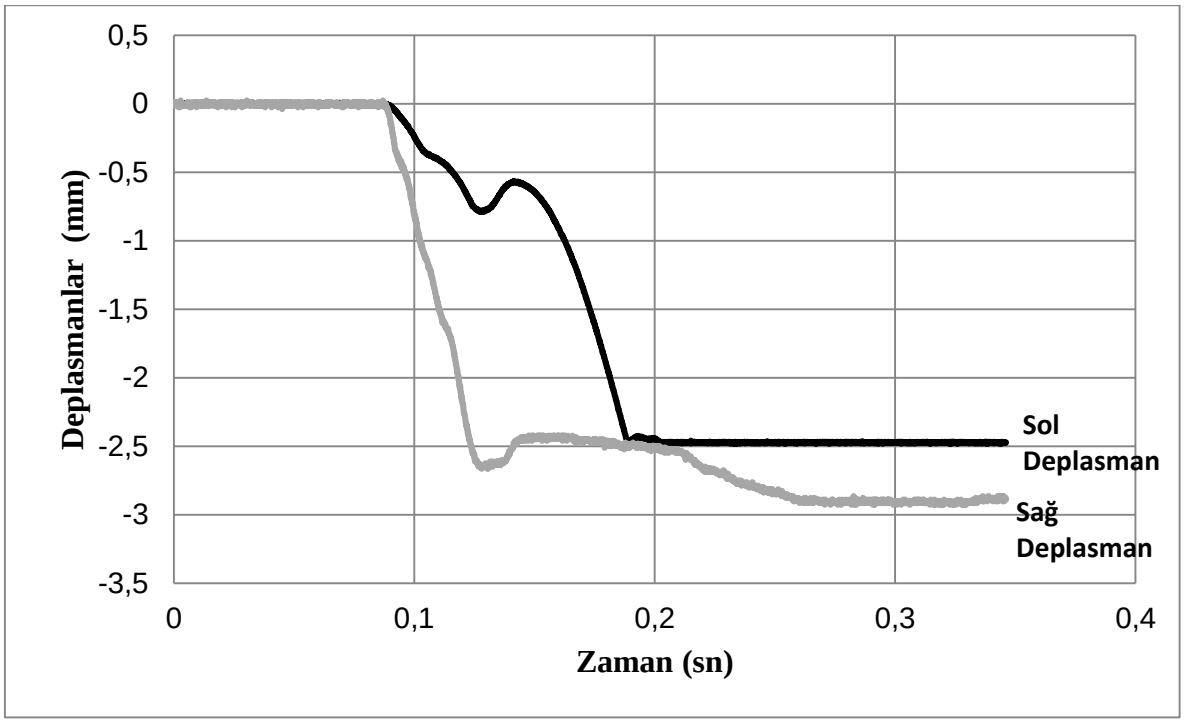
Şekil 4.85. İvme-zaman değişimleri

Deney elemanına uygulanan sabit enerjili çarpma yüklemesi etkisiyle meydana gelen çarpma yüklemesi-zaman grafiği ise Şekil 4.86'da sunulmuştur.



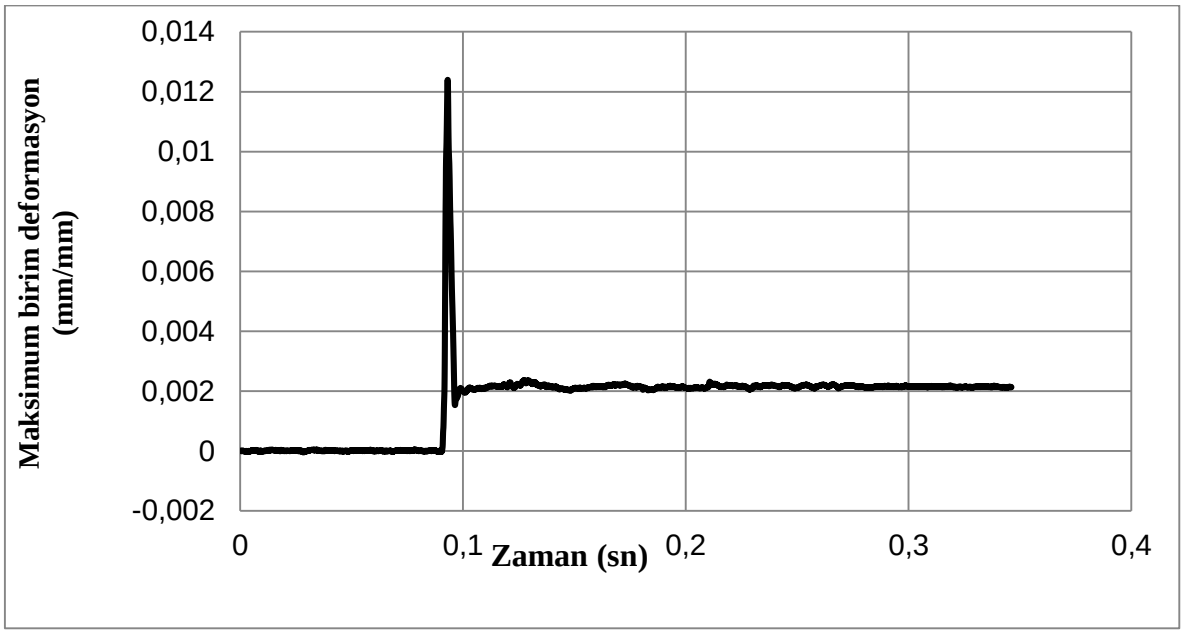
Şekil 4.86. Çarpma yüklemesi-zaman grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanının sol ve sağ taraflarından ölçülen deplasmanların zamana göre değişim grafiği Şekil 4.87'de verilmiştir.



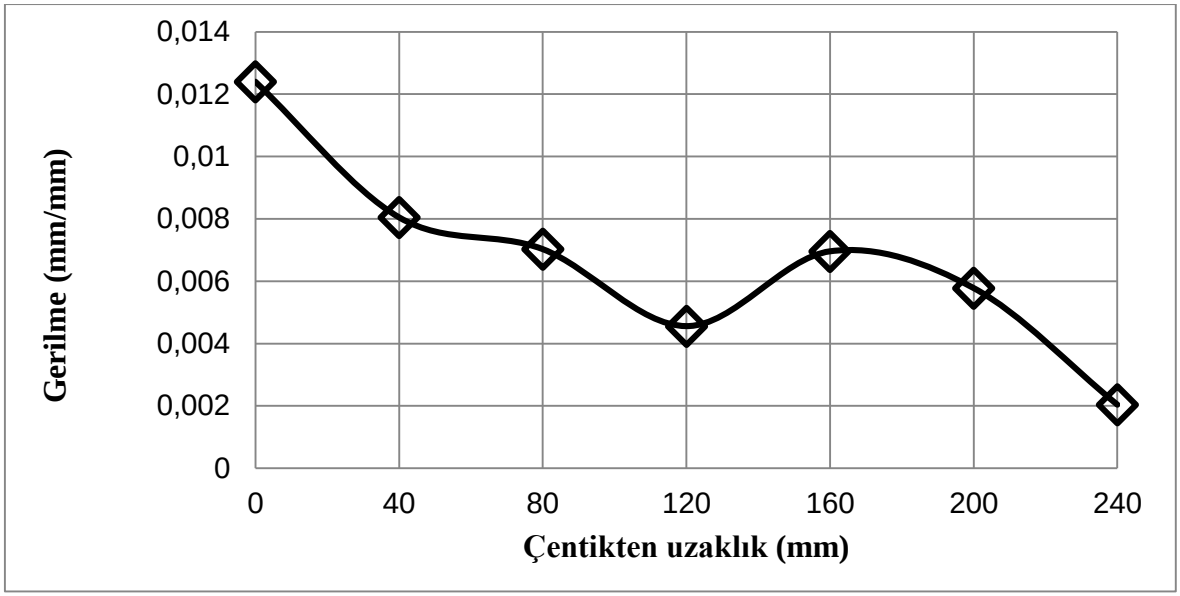
Şekil 4.87. Deplasmanların zaman göre değişim grafiği

Çentikli beton kiriş deney elemanlarının alt çekme yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden alınan birim deformasyon ölçümleri içerisinden maksimum birim deformasyonun zamana göre değişimi Şekil 4.88'de gösterilmiştir.



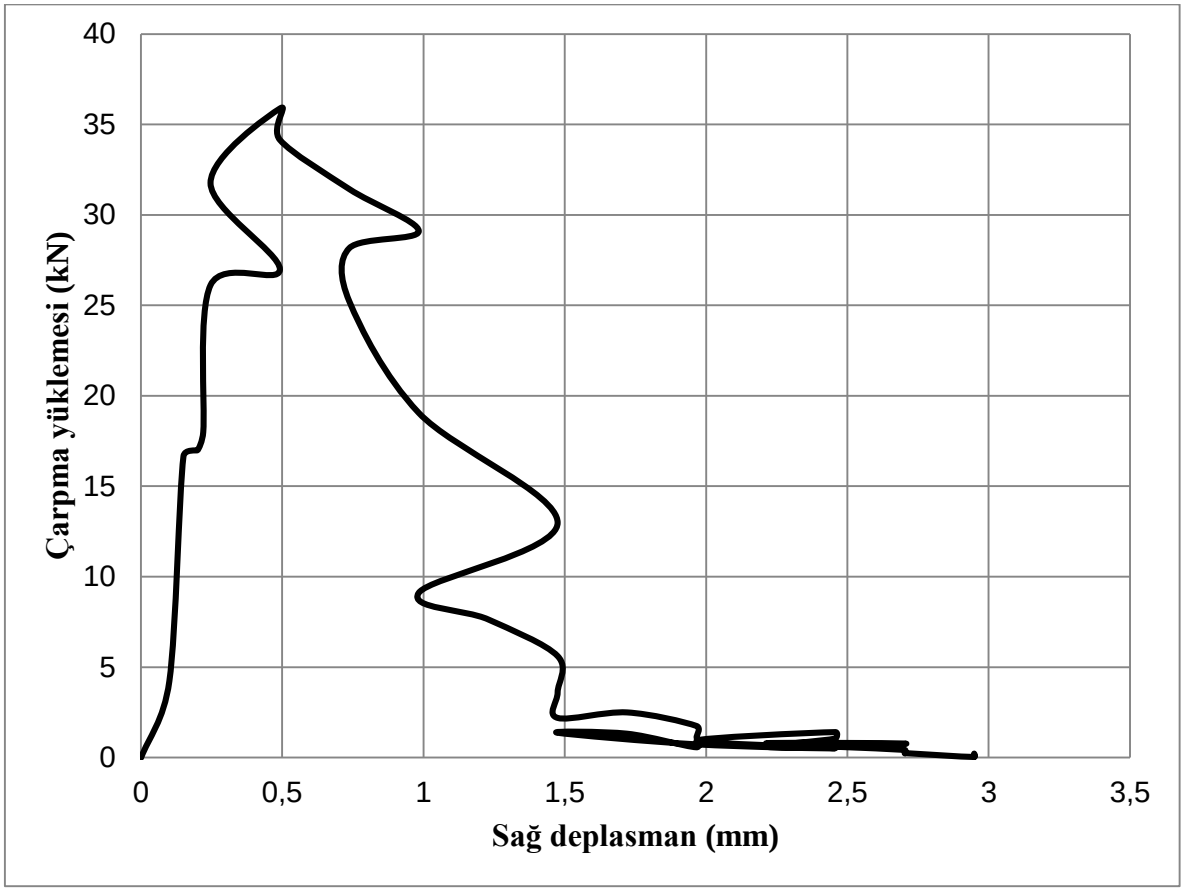
Şekil 4.88. Maksimum birim deformasyonun zaman göre değişim grafiği

CFRP şerit üzerinden alınan birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimlerini gösteren grafik ise Şekil 4.89'da verilmiştir.



Şekil 4.89. Birim deformasyon ölçümlerinin maksimum değerlerinin şerit boyunca değişimleri

Beton kiriş deney elemanı için deney sonucunda çizilen yük-deplasman grafiği ise Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.90. Yük-deplasman grafiği

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Son yıllarda güçlendirme uygulamalarında CFRP yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi olmuştur. Uygulamalara bakıldığında, uygulamanın performansının CFRP malzeme ile yüzeyin gerilme-deplasman performansı ile paralel olduğu görülmektedir. Bu nedenle CFRP elemanların yüzeyden soyulmalarını önlemek önem kazanan bir noktadır. Bunun için çeşitli ankrajlama detayları uygulanmış ve performanslardaki değişim açık bir şekilde görülmüştür.

Deneysel çalışmamızda ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzey arasındaki yapışma davranışının ani dinamik impulsif çarpma yüklemeleri etkisi altında incelendiği ve buna bağlı olarak önem arz eden sonuçlar ortaya çıktığı görülmektedir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler CFRP şeritlerde kullanılan ankraj türü, CFRP şerit yapışma boyu ve şerit üzerine yerleştirilen ankraj sayısıdır.

Deneysel çalışma kapsamında ankrajsız 3 referans deney elemanına ek olarak, 1 ve 2 ankrajlı deney elemanları iki türdeki ankraj ile, 3 farklı yapışma boyunda 12 adet olmak üzere, toplamda 15 deney elemanı üretilmiştir. Çentikli beton kiriş deney elemanlarının üretiminde 25 MPa beton basınç dayanımı hedeflenmiştir. Çalışmamız kapsamında 2 farklı ankraj türü seçilmiş olup. Bunlar fan tipi ve mekanik ankrajlardır.

Deney veriler incelendiğinde sol ivme değerlerinin, sağ ivme değerlerinden ortalama olarak %2.1 daha fazla ölçüldüğü görülmüştür. Bunun sebebi ise kirişlerin sol tarafında çok daha uzun bir CFRP şerit uygulanması ve bu durumda da kirişlerin sol tarafının rijitliğinin sağ tarafa göre daha fazla olmasına sebep olmasıdır. Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesinin maksimum değerleri incelendiğinde35.4 ile 36.1 kN arasında olduğu görülmüştür. Bu değer test düzeneği ile sürtünme kayıplarının en az değerlere indirgenmiş olduğunu, benzer enerjili bir çarpma yüklemesinin test elemanlarına uygulanabildiğini göstermiştir. Deney elemanlarından ölçülen sol deplasmanların maksimum değerleri sağ deplasman değerlerinden %5 ile %39 oranlarında değişim göstererek daha küçük ölçülmüştür. Oluşan az değerdeki farklılıklar ise deney elemanlarının rijitliğinden ve çekiç ile elemanların birbirlerine enerji aktarımından meydana gelmektedir. Deney sonucu ortaya çıkan deplasman değerleri incelendiğinde

maksimum sol deplasman değerlerinin maksimum sağ deplasman değerlerinden ortalama %15 daha az olduğu elde edilmiştir. Bunun sebebi ise sol tarafa yapıştırılan CFRP yapışma boyunun daha uzun olması ve daha rijit olmasıdır. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Deney sonuçları

N. No	Sol İvmelenme		Sağ İvmelenme		Sol Depl. (mm)	Sağ Depl. (mm)	Residual Depl. (mm)	Etki Yükü (kN)	Max. Def. (mm/mm)
	Max.	Min.	Max.	Min.					
1	192.05	-43.92	187.67	-65.16	81.36	112.77	98.09	35.75	0.00546
2	219.82	-78.40	215.27	-74.96	13.59	16.22	14.21	36.10	0.00663
3	251.74	-78.75	245.16	-76.66	9.58	10.07	2.98	35.95	0.00720
4	217.11	-92.38	212.64	-61.32	66.42	69.62	35.47	35.35	0.00620
5	249.71	-91.30	240.07	-119.91	10.89	11.90	3.96	35.73	0.00729
6	287.33	-139.91	280.67	-92.92	8.53	9.68	6.18	35.76	0.00827
7	260.96	-248.38	255.52	-85.48	30.25	31.72	10.04	35.99	0.00716
8	299.84	-281.19	295.78	-150.96	7.96	8.97	8.18	35.97	0.00848
9	327.71	-302.88	320.61	-127.41	5.79	6.48	6.30	35.98	0.00949
10	262.36	-116.70	260.02	-117.06	10.96	11.77	7.51	36.00	0.00794
11	289.36	-122.21	285.52	-224.43	7.49	8.46	1.29	35.82	0.00916
12	327.36	-175.31	318.92	-56.61	5.72	6.46	5.27	35.90	0.00903
13	360.99	-184.70	353.73	-113.95	4.04	5.22	0.54	35.98	0.01083
14	408.75	-231.04	402.69	-156.72	3.21	4.09	1.11	35.93	0.01027
15	449.23	-163.28	442.46	-257.36	2.5	2.95	2.87	35.89	0.01240

Ankrajlı ve ankrajsız deney elemanları kıyaslandığında ankrajlı deney elemanlarından ölçülen maksimum sağ ivme değerlerinin, ankrajsız CFRP şeritli kiriş deney elemanlarından ölçülen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Bir diğer değişken olan ankraj türü incelendiğinde CFRP fan tipi ankrajların kullanıldığı deney elemanlarından ölçülen maksimum sağ ivme değerlerinin ankrajsız kirişlerden ortalama %22 daha büyük olduğu görülmüştür. Mekanik ankraj uygulamasının sağ ivme değerleri incelendiğinde ankrajsız test elemanlarından ortalama %56 daha büyük olduğu görülmüştür. Tek ankrajlı deney elemanlarında ölçülen maksimum sağ ivme değerleri ankrajsız kirişlerden CFRP ankraj için %14 ve mekanik ankraj için %49 daha büyük değere sahiptir. İki adet ankraj yerleştirilmesi durumunda sağ ivme değerleri ankrajsız kirişlerden CFRP ankraj için %29 ve mekanik ankraj için %64 daha büyük değere sahiptir. Deplasman değerleri incelendiği zaman ankrajsız deney elemanlarının maksimum sağ

deplasman değerleri CFRP fan tipi ankrajlı deney elemanlarından ortalama %83, mekanik ankrajlı deney elemanlarından ise ortalama %91 daha büyük olduğu görülmüştür.

Temel değişkenlerimizden olan ankraj uygulaması CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerini artırmıştır. Fan tipi ankrajın ve mekanik ankrajın 1 adet uygulandığı deneylerde ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri, ankrajsız CFRP şeritli kirişlerden sırasıyla ortalama %19 ve %45 daha büyük, iki ankrajın kullanıldığı deneylerde ise yine ankrajsız deneylere kıyasla ortalama %33 ve %72 daha büyük olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmamızda bir diğer değişken olarak şerit yapışma boyu seçilmiştir. Bu boylar 120 mm, 180 mm ve 240 mm'dir. Deney sonuçlarımızdan görülüyor ki, CFRP şerit yapışma boyu uzadıkça deney elemanlarından ölçülen sağ maksimum ivme değerleri de artış göstermiştir. Maksimum deplasman değerlerine bakıldığında, CFRP yapışma boyu uzadığında deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri de önemli oranda azalmıştır.

Şerit yapışma boyu değiştikçe CFRP fan tipi ankraj uygulamasının olduğu deneylerde, yapışma boyunun 120 mm'den 180 mm'ye ve 120 mm'den 240 mm'ye artış göstermesi durumunda, şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri %13 ve %30 oranlarında artış göstermiştir. CFRP fan tipi ankraj uygulamasının olduğu deneylerde CFRP şerit yapışma boyunun 120 mm'den 180 mm'ye artması ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerini ortalama %16 oranında, 120 mm'den 240 mm'ye artış göstermesi ise ortalama %35 oranında artmasına neden olmuştur.

Deneysel çalışma yapılırken üç farklı türde ankrajsız, bir ve iki ankrajlı olmak üzere üç farklı türde deney elemanları üretilmiştir. Maksimum sağ ivme değerlerine bakıldığında fan tipi ankrajın kullanıldığı deney elemanları için maksimum sağ ivme değerleri ankraj sayısının artışı ile artış göstermiştir. Ankraj türü değiştirilerek yapılan uygulamalarda mekanik ankrajlı deneyler yapılmış olup, ankraj sayısının artışı ile ölçülen maksimum sağ ivme değerleri artış göstermiştir. Deney elemanlarımıza uygulanan ankraj sayısındaki artış ölçülen maksimum sağ deplasman değerlerinin azalmasına neden olmuştur. CFRP fan tipi ankrajlı deneylerde, ankrajsız uygulamalar, tek ankrajlı uygulamalardan ortalama %47 daha büyük maksimum sağ deplasman değeri sergilemiştir. Tek ankrajlı deney

uygulamaları ile iki ankrajlı deney uygulamaları kıyaslandığında ortalama %41 daha büyük maksimum sağ deplasman değeri elde edilmiştir.

Birim deformasyon değerleri incelendiğinde CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri CFRP şeritlerde kullanılan ankraj sayısı ile doğru orantılı olarak artış göstermiştir.

Deney sonuçlarımızdan elde edilen grafikler ve veriler incelendiğinde elde edilen değerlere göre CFRP şerit ile güçlendirme uygulamalarında fan tipi ve mekanik ankraj kullanılması CFRP şeritlerde ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerini artırdığı ve etkin olarak gerilme aktarımı yapan efektif CFRP şerit yapışma boyunun da artış göstermesini sağlamıştır. Çift ankrajlı uygulamalarda efektif gerilme aktaran şerit yapışma boyu 2 katı uzayarak 200 mm'ye kadar genişlemiştir.

Kalıcı deplasman değerleri, çarpışma etkisi sonucu deney elemanında oluşan titreşim hareketinin sönümlendikten sonra deney elemanında ortaya çıkardığı plastik deformasyondur. Kalıcı deplasman değerleri incelendiğinde genel olarak maksimum deplasman değerleri ile benzer davranış trendlerinin gözlendiği görülmektedir. CFRP şeritlerde ankraj kullanılması kalıcı deplasman değerleri üzerinde de son derece etkili olmuş ve kalıcı deplasman değerlerini önemli oranda düşürmüştür.

Ankrajlı uygulamaların en önemli özelliklerinden biri CFRP şeritlerin yüzeyden soyulmasını güçleştirmektir. Ankrajsız uygulamalarda CFRP şeritler kiriş yüzeyinden kabuğuyla birlikte kolayca soyularak göçme meydana gelmiştir. Ankrajlama yöntemi ile yapılan deneylerde ankraj uygulama noktasına kadar CFRP şeritler yüzeyden soyulma ile ayrılmış ve ankraj uygulama noktasından sonraki yerlerde herhangi bir soyulma olmamıştır. Ankraj sayısı artırılıp iki adet uygulanan deneylerde ise herhangi bir yüzeyden soyulma gözlemlenmemiştir.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmada, CFRP şeritlerin ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi altında genel davranışının ankrajlı ve ankrajsız uygulamalarının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çentikli beton kiriş deney elemanları üretilmiş ve çekme yüzeylerine uygulanan CFRP şeritlerin ani dinamik eksenel çekme kuvveti etkisi altında davranışları incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında ankraj türü, ankraj sayısı ve CFRP şerit yapışma boyu ana değişkenler olarak seçilmiştir. Deney sonucunda denel esnasında deney elemanlarından alınan veriler doğrultusunda ivme-zaman, deplasman zaman ve maksimum birim deformasyon zaman grafikleri çizilmiştir. Ayrıca CFRP şeritler boyunca ölçülen birim deformasyon değerleri de incelenmiştir. Bu değerler incelenerek aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ankraj uygulanarak yapılan deneyler incelendiği zaman bu uygulamanın, deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerlerinin ortalama %39 artmasına, maksimum deplasman değerlerinin ortalama %87 azalmasına ve CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ise ortalama %42 oranında artmasına neden olmuştur. Bu değerlerden ankraj ile uygulama yapmanın CFRP şeritlerle yapılan iyileştirmelerde, şeridin performansının iyileştiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca ankrajlar rijitlik ve sertliği de artırmış ve CFRP şeritlerin davranışına katkı sağlamıştır. Ankraj kullanılması deplasman değerlerini azaltarak, dinamik yükleme etkisi altında az hasar alınmasına ve CFRP şeritlerin yüzeyden soyulması engel olmuştur.
- Deneysel çalışma kapsamında uygulanan ankraj tipleri fan tipi ve mekanik ankrajlardır. Deneysel sonuçlar incelendiği zaman mekanik ankrajların, fan tipi ankrajlara göre CFRP şeritlerin ani dinamik yükler etkisindeki davranışını olumlu yönde daha fazla etkilediği görülmüştür. Mekanik ankraj CFRP şeritlerin maksimum ivme değerlerini %28 daha fazla artırıp, maksimum deplasman değerlerini ortalama %78 azaltmıştır.
- Deneysel çalışma kapsamında bir diğer değişken olarak incelenen CFRP şeritlerin yapışma boyunun uzaması ani dinamik yükler etkisi altındaki performanslarını olumlu yönde etkilemiştir. Ankrajlı ve ankrajsız olan her iki uygulamada da, maksimum ivme ve birim deformasyon değerleri artmış, maksimum deplasman değerlerini ise azalmıştır. Bu sonuçlar ise yapışma boyunun CFRP şeritlerin performansını artırdığını göstermiştir.
- Deneysel çalışmalar sonucu CFRP şeritlerin yüzeyden soyulmasının şeridin performansını olumsuz etkilediği görülmüştür. CFRP şeritlerde ankraj sayısı değiştirilerek

uygulama yapılmış ve bunun sonucunda CFRP şeritlerde uygulanan ankraj sayısının şeridin dinamik yükleme etkisi altındaki performansını iyileştirdiği ve maksimum deplasman değerlerinin çok büyük oranda azalmasını sağlayarak, şeritlerin yüzeyden soyulmasına engel olduğu görülmüştür.

- Çalışma kapsamında ankrajlı ve ankrajsız uygulamalar yapılmıştır. Ankraj kullanılması CFRP şeritlerin etkin gerilme aktardığı efektif yapışma boyunu büyük oranda artırmıştır. Bu da şeridin performansını artırmıştır.

Deneysel çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde, ankraj uygulamaların CFRP şeritlerin performansında olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu bağlamda betonarme taşıyıcı sistemlerde ankraj kullanılması önerilmektedir. Ayrıca mekanik ankraj kullanımı fan tipi ankraja göre daha etkili olduğundan en etkili sonuç için güçlendirme uygulamalarında kullanılması önerilmektedir.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar deneysel verilere dayalı olduğundan dolayı, deneysel çalışmanın benzerinin bilgisayar ortamında modellenmesi önerilmektedir. Ayrıca diğer bir çalışma olarak; deneysel çalışma kapsamında çift yönlü CFRP şeritler de uygulanarak deneysel çalışmanın yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Tokgöz M.N. (2015). *Betonarme Kolonların Çarpışma Yüklemesi Etkisi Altındaki Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-5.

2. Nyström, U., and Gylltoft, K. (2010,October). Comparative numerical studies of Projectile impacts on plain and steel – fibre reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 95-105.

3. Thilakarathna, H. M. I., Thambiratnam, D. P., Dhanasekar, M., and Perera, N. (2010, June). Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment. *International Journal of Impact Engineering*, 1100-1112.

4. Nia, A. A., Hedayatian, M., Nili, M., and Sabet, V. A. (2012, January). An experimental and numerical study on how steel and polypropylene fibers affect the impact resistance in fiber-reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 62-73.

5. Jiang, H., Wangb, X., and Hea, S. (2012). Numerical simulation of impact tests on reinforced concrete beams. *Materials and Design*, 111-120.

6. Coughlin, A. M., Musselman, E. S., Schokker, A.J., and Linzell, D. G. (2009, November). Behavior of portable fiber reinforced concrete vehicle barriers subject to blasts from contact charges. *International Journal of Impact Engineering*, 521-529.

7. Cotsovos, D. M. (2010). A simplified approach for assessing the load-carrying capacity of reinforced concrete beams under concentrated load applied at high rates. *International Journal of Impact Engineering*, 907-917.

8. Yang, S., and Qi, C. (2012, November). Multi objective optimization for empty and foam-filled square columns under oblique impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 177-191.

9. Huo, J., Liu, J., Dai, Xiaoqing., Yang, J., Lu, Y., Xiao, Y., Asce, F., and Monti, G. (2016, March). Experimental study on dynamic behavior of CFRP-to-concrete interface. *Journal of Composites for Construction*, (04016026/1- 04016026/12)

#

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAALP, Ayfer
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.02.1989, Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0(312)508 79 30
e-mail : ayferaa@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Ön Lisans	Anadolu Üniversitesi/Adalet Bölümü	2019
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İşletme Bölümü	2012
Lisans	Anadolu Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Etimesgut Anadolu Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	İLBANK A.Ş.	Teknik Uzman
2012-2013	Dirgün İnşaat	İhale-Teklif Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Yüzme, Türk Sanat Müziği, Halk Dansları



GAZİ GELECEKTİR..