



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

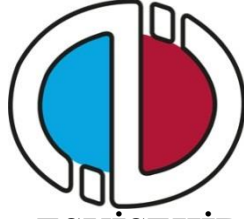
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KESME DAYANIMI YETERSİZ CFRP İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLON – KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇARPMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Turğut KAYA
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2019
Ref. No: 10295230**



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**KESME DAYANIMI YETERSİZ CFRP İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLON – KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇARPMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

**Turğut KAYA
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

BİLECİK, 2019



ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

**INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOUR OF SHEAR
DEFICIENT REINFORCED CONCRETE BEAM TO
COLUMN CONNECTION STRENGTHENED WITH CFRP
STRIP**

Turğut KAYA
Master's Thesis

Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 42-03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Turgut KAYA'nın "Kesme Dayanımı Yetersiz CFRP ile Güçlendirilmiş Kolon - Kiriş Birleşimlerinin Çarpma Davranışının İncelenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

ÜYE :

(JÜRİ BAŞKANI) : Prof. Dr. Özgür ANIL

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösterici, teşvik edici ve öğretici değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN ve Arş. Gör. Murat ARAS'a öncelikle teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarımda büyük yardımları bulunan, Prof. Dr. Özgür ANIL, Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ, Dr. Tolga YILMAZ ve aldığım eğitimler sürecinde bana katkı sağlayan tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her türlü desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyerek yanımda olan çok kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.



BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

.../.../2019

Turğut KAYA

**KESME DAYANIMI YETERSİZ CFRP İLE
GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLON – KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN ÇARPMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

ÖZET

Betonarme yapı elemanları kullanım süreleri boyunca, patlama, kaya düşmesi, erozyon, toprak kayması, karayolu veya denizyolu köprülerine taşıt çarpması gibi nedenlerden dolayı impulsif dinamik yüklere maruz kalabilir. Bu nedenle, betonarme yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan çerçevelerin kolon-kiriş birleşim noktalarının çarpma davranışlarının araştırılması ve bu etkilerin tasarım aşamasında dikkate alınması önemli bir konudur. Yürütülen tez çalışması kapsamında CFRP şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşim noktasının çarpma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, kesme dayanımı yetersiz olan sekiz adet 1/3 ölçekli betonarme kolon-kiriş birleşim elemanı üretilmiştir. Betonarme kolon-kiriş birleşim elemanı monolitik olarak dökülmüş ve 200x200x1200 mm boyutlarında kolon ile kolon merkezine yerleştirilmiş 100x150x1500 mm boyutlarında kirişten oluşmaktadır. Deney elemanlarının üretiminde, 28 günlük basınç dayanımı 25 MPa olan beton ile 6 ve 8 mm çaplarında çelik donatılar kullanılmıştır. Güçlendirme işleminden önce, test numunelerinin alt ve yan yüzeyleri 50 mm genişliğinde ve 150-250 mm aralıklarla pürüzlendirilmiştir. Hazırlanan bu yüzeylere, 400 mm uzunluğunda ve 50 mm genişliğinde CFRP şeritler Sikadur 330 kullanılarak yapıştırılmıştır. Çarpma yükü deney elemanlarına ağırlık düşürücü test düzeneği kullanılarak uygulanmıştır. 84 kg kütleli çelik çekiç, 500 ve 750 mm'lik iki farklı yükseklikten düşürülerek, deney elemanlarına iki farklı çarpma enerjisi uygulanmıştır. Deneylerde, çarpma yükleri, deney elemanlarından ölçülen ivmeler, deplasmanlar, CFRP şeritlerin birim şekil değiştirmeler zaman-tanım alanında değişimler kaydedilmiştir. Deneysel değişkenlerin kaydedilen bu dinamik tepkiler üzerindeki etkileri incelenmiş ve CFRP şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşim elemanlarının çarpma davranışı elde edilen sonuçlarla yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çarpma Yüğü; Ağırlık Düşürme Testi; Güçlendirme; CFRP.

**INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOUR OF SHEAR DEFICIENT
REINFORCED CONCRETE BEAM TO COLUMN CONNECTION
STRENGTHENED WITH CFRP STRIP**

ABSTRACT

Reinforced concrete (RC) structural members may be subjected to the effect of impulsive dynamic loads due to reasons such as explosion, rockfall, erosion, landslide, vehicle crash to the bridges of highway or seaway, in their service period. Therefore, it is an important issue to investigate the impact behavior of the column-beam joints of the frames constructing the bearing system of the reinforced concrete structures and also to consider these effect in the design stage. In the scope of the thesis study carried out, the impact behavior of RC beam-column joint strengthened with CFRP strips has been experimentally investigated. For that purpose, the eight 1/3 scaled RC column-beam joint elements of which shear strength is insufficient has been manufactured. RC beam-column joints were cast as monolithic and composed of the column part with the dimensions of 200x200x1200 mm and beam part with the dimensions of 100x150x1500 mm that was located to the center of the column part. The concrete of which 28-day compressive strength is 25 MPa and the rebars with the diameters of 6 and 8 mm has been used for the manufacture of test specimens. Before the strengthening procedure, the bottom and side surfaces of test specimens were roughened with a width of 50 mm and the spacing of 150-250 mm. The CFRP strips with a length of 400 mm and the width of 50 mm have been wrapped using Sikadur 330 to these prepared surfaces. Impact load was applied to test specimens using the drop-weight test setup. Two different input impact energies were applied to test specimens by dropping steel hammer with a weight of 84 kg from two drop-heights of 500 and 750 mm. The time-histories of impact loads, accelerations and displacements measured from test specimens and strains of CFRP strips were recorded in the experiments. The effects of the experimental variables on these dynamic responses recorded have been examined and the impact behavior of RC column-beam joint strengthened with CFRP strips has been interpreted with of results obtained.

Key Words: Impact Load; Drop-Weight Test; Strengthening; CFRP.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
BEYANNAME	
ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	8
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler	8
3.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Yöntemler.....	10
3.2.1. Beton basınç dayanımı.....	10
3.2.2. Betonarme donatılarının mekanik dayanımları.	11
3.2.3. Betonarme numunelerin hazırlanması	12
3.2.4. Betonarme konsol kiriş numunelerin CFRP ile güçlendirilmesi.	16
3.2.5. Çarpma deney düzeneği.....	17
3.2.6. Numunelerin çarpma deneyine hazırlanması.....	18
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	24
4.1. Beton Basınç Dayanım Bulguları.	24
4.2. Kullanılan Donatıların Mekanik Dayanım Bulguları	24
4.3. Betonarme Numunelerin Dinamik Dayanım Bulguları.....	25
4.3.1. S1 deney elemanı	25
4.3.2. S2 deney elemanı	32
4.3.3. S3 deney elemanı	39
4.3.4. S4 deney elemanı	47
4.3.5. S5 deney elemanı	54
4.3.6. S6 deney elemanı	61
4.3.7. S7 deney elemanı	67
4.3.8. S8 deney elemanı	73

4.4. Tartışma	79
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ.....	



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Kalıp örneği.	8
Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan çift bileşenli epoksi.	9
Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan CFRP.....	10
Şekil 3.4. Beton basınç presİ... ..	11
Şekil 3.5. Donatı çekme cihazı.....	12
Şekil 3.6. Etriyesiz betonarme kiriş numunesi.....	13
Şekil 3.7. Etriyeli betonarme kiriş numunesi.....	13
Şekil 3.8. Numunelerin üretilmesinde kullanılan donatı açılımları.	14
Şekil 3.9. Kiriş örnek planı	14
Şekil 3.10. Betona hazır hale getirilen numune örneği	15
Şekil 3.11. Beton ve betonarme numuneler	15
Şekil 3.12. Pürüzlendirilen ve güçlendirilen betonarme örnekler.....	16
Şekil 3.13. Çarpma deney düzeneği.....	17
Şekil 3.14. Deney numunesinde ölçüm sistemi.	18
Şekil 3.15. Metal kanca ve potansiyometrik cetvellerin numuneye uygulanması	19
Şekil 3.16. Strain-gauge yapısı	19
Şekil 3.17. Strain-gauge'lerin numuneye uygulanması örneği	20
Şekil 3.18. Kullanılan yük ve ivmeölçer	21
Şekil 3.19. Çarpma deneyine hazır numune örneği	21
Şekil 3.20. Kullanılan veri toplama cihazları ve diz üstü bilgisayar.....	22
Şekil 3.21. Deneye hazır hale getirilen düzenek örneği.....	23
Şekil 4.1. S1 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	25
Şekil 4.2. S1 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	26
Şekil 4.3. S1 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.	27
Şekil 4.4. S1 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği	27
Şekil 4.5. S1 deney elemanına ait potansiyometrik cetveller.	28
Şekil 4.6. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği	28
Şekil 4.7. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	29
Şekil 4.8. S1 deney elemanına ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.	29
Şekil 4.9. S1 deney elemanına ait kiriş üst yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	30

Şekil 4.10.	S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	30
Şekil 4.11.	S1 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	31
Şekil 4.12.	S1 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	31
Şekil 4.13.	S1 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.....	32
Şekil 4.14.	S2 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	33
Şekil 4.15.	S2 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	33
Şekil 4.16.	S2 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği	34
Şekil 4.17.	S2 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlak1-zaman grafiği	35
Şekil 4.18.	S2 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği	35
Şekil 4.19.	S2 deney elemanına ait giriş üst yüzey kesme çatlak3- zaman grafiği.....	36
Şekil 4.20.	S2 deney elemanına ait alt giriş yüzeyi eğilme çatlak1-zaman grafiği	36
Şekil 4.21.	S2 deney elemanına ait giriş üst yüzeyi eğilme çatlak2-zaman grafiği.....	37
Şekil 4.22.	S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	37
Şekil 4.23.	S2 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	38
Şekil 4.24.	S2 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	38
Şekil 4.25.	S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	39
Şekil 4.26.	S3 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	40
Şekil 4.27.	S3 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği	40
Şekil 4.28.	S3 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.29.	S3 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği	41
Şekil 4.30.	S3 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği	42
Şekil 4.31.	S3 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak3- zaman grafiği	42
Şekil 4.32.	S3 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak1-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.33.	S3 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak2-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.34.	S3 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	44
Şekil 4.35.	S3 deney elemanına yapıştırılan strain gauge'ler	44
Şekil 4.36.	S3 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.37.	S3 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.38.	S3 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.39.	S4 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	47
Şekil 4.40.	S4 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	48
Şekil 4.41.	S4 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği	48

Şekil 4.42.	S4 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	49
Şekil 4.43.	S3 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği	49
Şekil 4.44.	S4 deney elemanına ait kiriş yüzey çatlağı2-zaman grafiği	50
Şekil 4.45.	S4 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	50
Şekil 4.46.	S4 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	51
Şekil 4.47.	S4 deney elemanına ait üst kiriş yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği	51
Şekil 4.48.	S4 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	52
Şekil 4.49.	S4 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.50.	S4 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.51.	S5 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	54
Şekil 4.52.	S5 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.53.	S5 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.54.	S5 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği	56
Şekil 4.55.	S5 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.56.	S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği	57
Şekil 4.57.	S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	57
Şekil 4.58.	S5 deney elemanına ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği	58
Şekil 4.59.	S5 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.60.	S5 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	59
Şekil 4.61.	S5 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.62.	S5 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.63.	S5 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.64.	S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	61
Şekil 4.65.	S6 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.66.	S6 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği	62
Şekil 4.67.	S6 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği	63
Şekil 4.68.	S6 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.69.	S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği	64
Şekil 4.70.	S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	64
Şekil 4.71.	S6 deney elemanına ait alt kiriş yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği	65
Şekil 4.72.	S6 deney elemanına ait üst kiriş yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği	65
Şekil 4.73.	S6 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	66

Şekil 4.74.	S6 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	66
Şekil 4.75.	S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	67
Şekil 4.76.	S7 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	68
Şekil 4.77.	S7 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği	68
Şekil 4.78.	S7 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği	69
Şekil 4.79.	S7 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.80.	S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği	70
Şekil 4.81.	S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	70
Şekil 4.82.	S7 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.83.	S7 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği	71
Şekil 4.84.	S7 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	72
Şekil 4.85.	S7 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.86.	S7 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.....	73
Şekil 4.87.	S8 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği	74
Şekil 4.88.	S8 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.....	74
Şekil 4.89.	S8 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği	75
Şekil 4.90.	S8 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.91.	S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği	76
Şekil 4.92.	S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği	77
Şekil 4.93.	S8 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	77
Şekil 4.94.	S8 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği	78
Şekil 4.95.	S8 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	78
Şekil 4.96.	S8 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.97.	Çarpma deneyinde veri serilerinin değişim oranları (%).....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Betonarme numunelerin üretilmesinde kullanılan beton karışım oranları...	8
Çizelge 3.2. CFRP ve epoksi teknik özellikleri (Sika, 2006)	9
Çizelge 3.3. Konsol kiriş numune detayları	12
Çizelge 3.4. Güçlendirilen numunelere ait detaylar.....	16
Çizelge 4.1. Beton basınç dayanım değerleri.....	24
Çizelge 4.2. Kullanılan donatıların mekanik özellikleri.	24
Çizelge 4.3. Çarpma deneylerinden elde edilen sonuçlar	80



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
dB	Desibel
g	Yerçekimi ivmesi
gr	Gram
Hz	Hertz
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
kN	Kilonewton
MHz	Megahertz
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
mV	Milivolt
N	Newton
ns	Nanosaniye
s	Saniye
V	Volt
Ø	Çap
Ω	Ohm

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
CFRP	Karbon lif takviyeli polimer
GFRP	Cam lif takviyeli polimer
FRP	Lif takviyeli polimerler

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar deprem, artan kesit zorları ve çevresel etkiler altında hasara uğramaktadır. Yeterli dayanım, rijitlik ve sünekliliği sağlamayan yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. FRP sargılama ile basınç ve eğilme dayanımlarının artırılması, son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte sıkça başvurulan yöntemler arasına girmiştir. Bu yöntemle, kiriş sünekliliğinin ve kesme dayanımının artırılmasında, FRP ile sargı kullanılmaktadır. Lifli Polimer dokumalar kesmeye karşı yaygın olarak kullanılırken, lifli şeritler halinde, kirişin alt bölgesine uygulanarak, kirişin eğilme kapasitelerinin artırılması için tercih edilmektedir. Literatürde konu ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır.

Deprem mühendisliğinde, betonarme yapıların dinamik etkiler altında tasarımı güncel bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapısal elemanlarda güvenli bir şekilde dinamik değerlendirme yapılabilmesi için dinamik etkiler altında deneysel çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Günümüzde sıklıkla tercih edilen betonarme yapılar, proje aşamasında genellikle statik, hareketli ve deprem/rüzgâr gibi dinamik yükler dikkate alınarak projelendirilmektedir. Yapısal hesaplamalara, ani dinamik çarpma yüklerinin meydana getireceği etkiler katılmamaktadır. Yapı emniyetinin birinci sırada olduğu betonarme yapılar, statik ve dinamik yükleme senaryolarının yanı sıra endüstriyel veya ulaşım kazaları ya da askeri veya terör olayları nedeni ile kazara veya kasti olarak darbe veya patlatma yüklerine karşıda detaylandırılması gerekmektedir. Ayrıca betonarme taşıyıcı yapı elemanlarına ağırlık düşmesi, kaya düşmesi veya ani kütleli su-buzul çarpması gibi durumlar darbe yükleme olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılarda çarpma yükü sonrası yapı elemanlarının nasıl bir davranış sergileyeceğinin iyi bilinmesi günümüzde hala önemli bir konudur. Bu sebeple geçmişten günümüze kadar çarpma yüklemesine maruz yapısal elemanların davranışları hakkında hem teorik hem de deneysel birçok çalışma literatürde yerini almıştır ve almaya devam etmektedir.

Patlamanın yapılar üzerinde yarattığı etkilerin incelenmesi ve bu konudaki bilgi birikiminin artırılması giderek önem kazanmaktadır.

Yapıların tasarımında patlatmanın yaratacağı etkilerin azaltılmasına yönelik tasarımların yapılabilmesi için, öncelikle yapılar üzerinde patlama etkisiyle oluşacak dinamik etkilerin karşısında gösterdiği davranışın bilinmesi gerekmektedir.

Patlayıcıların kötü amaçlar ile kullanımı, bu riski ve konudaki bilgi birikiminin artırılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

Çarpma yüklemesi düşük ve hızlı çarpma olarak ikiye gruba ayrılabilir. Düşük hızlı bir çarpma durumuna bir kiriş veya kolon üzerine ağırlık düşmesi, yüksek hızlı çarpma durumuna ise patlama veya askeri yapı elemanları mermi, top vb. isabet etmesi örnek olarak verilebilir.

Planlanan deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenler betonarme kirişlerde yer alan kesme donatısı aralığı, betonarme kirişlerde güçlendirme için yerleştirilen CFRP şeritlerin aralıkları (kiriş boyunca 150 ve 250 mm aralıklarla 50 mm genişliğindeki karbon lif takviyeli polimerlerle güçlendirilmiştir) ve deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi enerjisi düzeyidir (serbest ağırlık 500 ve 750 mm düşü yüksekliklerinden bırakılarak incelenmiştir). Deneysel çalışma kapsamında toplamda 8 adet 1/3 ölçekli betonarme kolon-kiriş birleşimi deney elemanı üretilmiş (200 x 200 x 1200 mm ebatlarında kolon ve kolonların merkezine 100 x 150 mm ve kiriş serbest uzunluğu 1500 mm olmak üzere bir bütün olarak üretilmiştir) ve kiriş uç noktasından uygulanan çarpma yüklemesi etkisi altında test edilmiştir. Deney elemanlarına çarpma yüklemesi tasarımı gerçekleştirilen bir serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak uygulanmıştır. Deney elemanları üzerinden kiriş uç noktasından ivme-zaman, deney elemanına uygulanan çarpma yüklemesi-zaman, kolon ve kiriş üzerinde çeşitli noktalardan deplasman-zaman ve güçlendirme amacıyla kirişe yapıştırılan CFRP şeritler üzerinden birim deformasyon-zaman değerleri ölçülmüştür. Alınan ölçümler yorumlanarak karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

FRP ile güçlendirilmiş beton, FRP ile güçlendirilmiş betonarme, lif katkılı beton ve lif katkılı betonarme yapı elemanlarının çarpma yükü altındaki davranışı ağırlık düşürücü test düzenekleri kullanılarak deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Bazı çalışmalarda deneysel veriler bilgisayar simülasyonları ile karşılaştırılarak uygun sonlu eleman modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu bölümde literatürdeki beton ve betonarme yapı elemanlarının çarpma davranışını konu alan çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) kullanarak yeni güçlendirme yöntemleri geliştirmiş ve eksik detaylandırılmış numuneler üzerinde etkilerini incelemiştir. Test sonuçları, güçlendirilen numunenin yatay yük kapasitesinde ve dolayısıyla enerji tüketme kapasitelerinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir (Kaya, 2010).

Özyüksel yaptığı çalışmada çelik levha ve CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme davranışlarını araştırmış ve bu iki güçlendirme yönteminin sonuçlarını birbiriyle karşılaştırmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre güçlendirme işleminin kirişlerde dayanımı arttırdığı görülmüştür. CFRP ile güçlendirme çelik levha ile güçlendirmeye nazaran daha başarılı olduğu sonucuna varmıştır (Özyüksel, 2012).

Yüksel, yaptığı çalışmada kesmeye karşı dış kelepçeler ve karbon lifli polimerler ile güçlendirilen hasarlı kirişlerin dayanım ve davranışlarının incelenmesi ve güçlendirme yönteminin etkinliği ile oluşan göçme mekanizmalarını araştırmıştır. Çalışma sonucunda, kelepçe kullanılarak güçlendirilen betonarme kirişin yeterli davranış sergilediğini görmüştür (Yüksel, 2014).

Kaya vd. (2017), beton basınç ve eğilme dayanımlarına CFRP'nin etkisini araştırdıkları deneysel çalışmalarında, beton küp numunelerin çevresini ve beton kirişlerin çekme bölgelerine CFRP şeritlerini epoksi yardımı ile uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre; CFRP'nin basınç dayanımını %30, kiriş eğilme dayanımını ise %300'e kadar artışlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Arslan (1995) güçlendirilmiş beton elemanlar üzerinde ağırlık düşürme deneyleri yapmıştır. Deney elemanlarında, çelik (toplam ağırlığın %1, 2 ve 3) ve polipropilen liflerle (%0.1, 0.2, ve 0.3) güçlendirme sonrası çentik durumlarını incelenmiştir. Ağırlık düşürme yüksekliği maksimum 2500 mm olacak şekilde 5, 10, 20,

30 ve 40 N ağırlığındadır. Deneysel çalışmada beton numunelerde göçmeye neden olacak düşü sayısına ve toplam darbe enerjisine ulaşmaya çalışmıştır. Sonuç olarak numunelerde kesme ile çekme kuvvetine bağlı iki farklı çatlak geliştiğine, darbe altındaki kırılma enerjisinin normal betonlar için statik testlere göre 10 kat fazla olduğuna ve kırılma enerjisi artışının güçlendirilmiş betonda normal betondan daha fazla olduğu sonuçlarına varmıştır.

Yang (1998) vd., rijit-plastik malzeme kabulüyle serbest bir kirişin herhangi bir noktasında ani bir yüklemeye maruz kalma durumunu teorik olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda kirişin en zor plastik deformasyon yaptığı durum; orta noktasından $0.6595L_s$ mesafede, ani yükleme durumunda iken en kolay plastik deformasyon yaptığı durum ise kirişin serbest ucundaki yükleme durumu olduğunu göstermişlerdir.

Soroushian ve Elzafraney (2004) hasarlı beton elemanlarını; eğilme dayanımı, darbe direnci, geçirgenlik ve çatlak ilerleyişi bakımından incelemişlerdir. Deney numuneleri normal ve yüksek dayanımlı betonlardan oluşturulmuştur. Darbe etkisi ile mikro çatlakların genişliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Bren vd., (2005) karbon lifle güçlendirilmiş polimer tabakaların, çarpma etkisi altında davranışını; çarpma hızına bağlı olarak hem deneysel hem de sonlu elemanlar programıyla incelemişlerdir. Oluşturulan modelde, gerilme yığılımlarının çarpma hızıyla değiştiği görülmüştür. Yaptıkları çalışmada, dinamik yükleme durumunun yarı statik yükleme durumuna göre %20 daha az gerilmeye maruz kaldığını deneysel ve analitik olarak göstermişlerdir.

Malvar vd., (2007) betonarme ve FRP ile güçlendirilmiş kolonların patlama etkisi altında davranışının belirlenmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. FRP ile güçlendirilen betonarme kolon elemanların performans düzeylerinin arttığını göstermişlerdir.

Kantar vd., (2011) farklı beton basınç dayanımına sahip kirişlerin darbe yükü altında davranışlarını incelemişlerdir. Serbest ağırlık düşürme deneyleri için geliştirdikleri deney düzeneğinde gerçekleştirmişlerdir. Serbest ağırlık düşürme deney düzeneğine, düşüş hızını belirlemek için hız ölçüm aleti eklemişler ve ağırlık kılavuz bölümünü kalibre etmişlerdir. Çalışmada, ivme ölçümleri, ağırlık düşürme sayısı, yutulan enerji ve kırılma şekilleri bakımından değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Beton dayanımının artmasıyla göçmeye neden olacak düşü sayısının da arttığını ifade etmişlerdir. Kirişlerde kırılma yüzeyleri incelendiğinde, normal dayanımlı betonlarda agrega yüzeylerinin matris yüzeylerinden, yüksek dayanımlı betonlarda ise hem agrega hem de matrisin kendisinde meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Kantar ve Anıl (2012), karbon polimer elyaf şeritlerle (CFRP) güçlendirilen betonarme kirişlerde, düşük hızda darbe etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada deney elemanları, beton basınç dayanımları 25–44 MPa arasında değişen, 710x150x150 mm ebatlarında, 10 adet betonarme kirişten oluşmaktadır. Deneylerde düşü yükseklikleri 550-600-650-700-750 mm ve düşü ağırlığı 5.25 kg olarak belirlemişlerdir. Deneylerde ivme ve yutulan enerji kapasitelerini belirlemek için ABAQUS sonlu elemanlar programını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, yüksek dayanımlı betonla üretilen kiriş elemanlarında, göçme için düşü sayısının artması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz vd., (2014) beton kirişlerde monolitik statik yükleme ve düşük hızlı darbe yükü etkisini araştırmışlardır. 6 adet 710x150x150 mm ebatlarında beton kirişler üretmişler ve serbest düşürme deneyleri yapmışlardır. Numunelerin 5 adedine 300-350-400-450-500 mm yüksekliğinde 5.25 kg ağırlık düşürme testi ile dinamik yükleme yapılırken 1 adedine kirişe üç noktalı statik yükleme deneyi yapılmıştır. Serbest ağırlık deneyleri sonucunda, deformasyon, enerji yutma kapasiteleri ve maksimum-minimum ivme değerleri elde edilerek statik yüklemeyle karşılaştırılmıştır. Çalışmayı ANSYS sonlu elemanlar yazılımı ile modelleyerek analitik olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, yükleme tipinin değişmesiyle enerji yutma kapasitesinin, rijitliğin, maksimum-minimum yük kuvvetinin ve göçme modunun değişmesine neden olduğunu görmüşlerdir.

Yazan (2014) yaptığı doktora çalışmasında dairesel beton dolu FRP kolonların statik, dinamik ve patlama sonrası davranışlarını incelemiştir. Oluşturduğu dinamik yükleme deney düzeneğinde düşü sayısına göre göçme mekanizmalarının nasıl olduğunu araştırmıştır. Numune ortasının çok yakın bölgelerine yerleştirilen LVDT ve gerinim pullarıyla elde ettiği deney verilerini bilgisayar ortamında kaydetmiş ve literatürde yapılan diğer deneysel çalışmalarla karşılaştırılarak kolon şeklinin performans artışına neden olduğu belirtmiştir.

Barmaki (2018), betonarme kolonlarda dinamik çarpma davranışını hem deneysel hem de analitik olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada 1/3 geometrik ölçekli ve kare kesitli olarak üretilen betonarme kolonlarda tasarlanan deney düzeneğinde serbest ağırlık düşürme deneyleri yapmıştır. Test edilen numuneleri ANSYS Autodyna Explicit STR yazılımı kullanarak modellemiştir.

Yapılan literatür taraması betonarme kiriş, kolon ve döşemelerin ani dinamik çarpma etkisi altındaki davranışlarının incelendiği deneysel araştırmaların olduğunu göstermiştir (Breen vd., 2005; Arros ve Doumbalski, 2007; Bambacha vd., 2008; Saatci ve Vecchio, 2009; Shekarchi, 2010; Kantar ve Anıl, 2012; Yılmaz vd., 2014; Kantar vd., 2011; Anıl vd., 2015a; Anıl vd., 2015b; Yılmaz vd., 2015; Anıl vd., 2016). Literatürde betonarme döşemelerin çarpma davranışının incelendiği çalışmalarda döşemelerin donatı oranları, mesnetlenme şartları ve CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme döşemelerin davranışlarının incelendiği araştırmalara rastlanmıştır (Anıl vd., 2015; Yılmaz vd., 2018).

Yapılan detaylı literatür taramasında betonarme yapıları oluşturan yapısal elemanlar olan kolonlar, kirişler ve döşemelerin ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altında davranışlarının incelendiği araştırmaların literatürde yer aldığı görülmüştür. Ancak yapılan incelemede betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip yapıların kolon-kiriş birleşim bölgelerinin ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışları ve performanslarını inceleyen her hangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Kolon - kiriş birleşim bölgelerinin ani dinamik çarpma davranışı ile ilgili olarak yapılan incelemede sadece çelik kolon - kiriş birleşim bölgeleri ile ilgili Al-Rifaie vd., 2017'nin yürüttükleri bir araştırmaya rastlanmıştır. Al-Rifaie vd., 2017 çalışmalarında farklı çelik sınıflarından oluşturulmuş alüminyum levhalı kiriş - kolon birleşimleri için statik ve ani dinamik çarpma davranışını hem deneysel hem de analitik olarak incelemişlerdir. Oluşturulan 8 farklı çelik kiriş-kolon birleşimli deney elemanı 4 adet statik ve 4 adet ani dinamik çarpma yüklemesine farklı noktalardan maruz bırakılmışlardır. Çalışmadan elde edilen bulgulardan birisi çelik kolon - kiriş birleşimlerinin ani dinamik çarpma yüklemesi durumunda statik yükleme durumuna göre daha yüksek enerji yutma kapasitesi sergilemesidir. Yanal çarpma davranışının (i) pik evresi, (ii) plato evresi ve (iii) sıçrama evresinden oluştuğunu kabul etmişler ve en kritik evrenin plastik deformasyonların %60'nın gerçekleştiği plato evresi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Çalışma sonucunda statik ve ani dinamik çarpma davranışlarını karşılaştırmışlar ve ani dinamik çarpma etkilerinin tahminine yardımcı olması için dinamik artırım faktörleri önermişlerdir. Dinamik artırım faktörlerinin deneylerde 1.25 ile 1.38 arasında, sonlu elemanlar modelinde ise 1.19 ile 1.34 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Çelik kolon kiriş birleşimleri ile ilgili olarak yürütülen bu çalışma haricinde betonarme kolon - kiriş birleşimlerinin ani dinamik çarpma davranışlarının incelendiği veya CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme kolon - kiriş birleşimlerinin incelendiği herhangi bir çalışmaya yapılan literatür taramasında rastlanmamıştır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

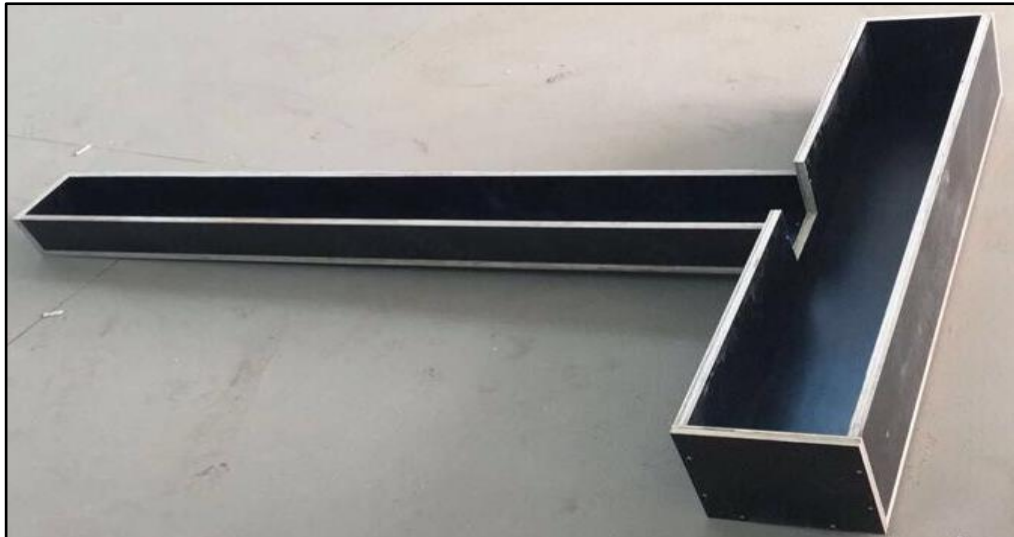
3.1. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Betonarme elamanların üretilmesinde S420 nervürlü betonarme donatısı, maksimum dane çapı 22 mm olan kırma taş agrega, PÇ 42.5 R çimento ve BASF 130 kimyasal katkı kullanılmıştır. Karakteristik basınç dayanım değeri C25 olan ve hazır beton tesisinden temin edilen betonlara ait karışım oranları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Betonarme numunelerin üretilmesinde kullanılan beton karışım oranları.

Malzemeler		kg
Agrega	0-4 mm	1060
	4-11 mm	260
	11-22 mm	530
Kül		50
Çimento		270
Su		185
Katkı (%0.8 kg)		3.3

Betonarme kolon - kiriş elemanlarının dinamik özelliklerine CFRP’nin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla kullanılmak istenen numunelerin üretilmesinde 18 mm’lik plywood malzemeden Şekil 3.1’de verilen kalıptan 8 adet üretilmiştir.



Şekil 3.1. Kalıp örneği.

Deneysel çalışmada numunelerin güçlendirilmesinde yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi Şekil 3.2’de verilmiştir.

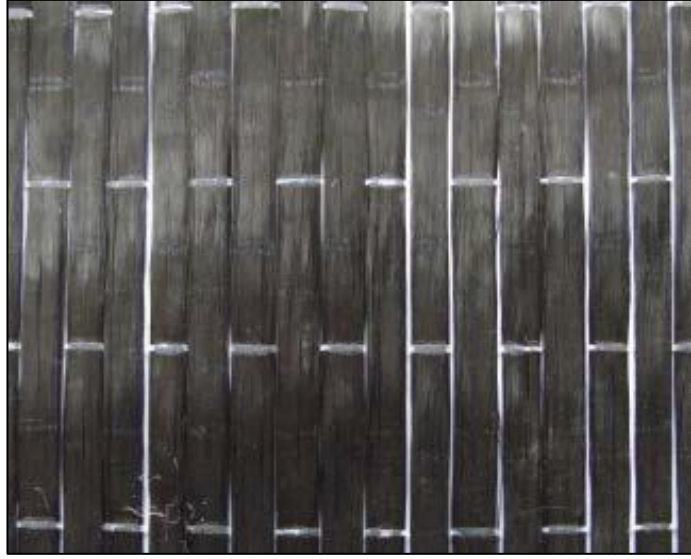


Şekil 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan çift bileşenli epoksi.

Bu tez çalışmasında numunelerin güçlendirilmesinde Sika Wrap 230C CFRP malzemesi kullanılmış olup, CFRP ve yapıştırıcıya ait teknik özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. CFRP şerit malzemesine ait örnek Şekil 3.3’te görülmektedir.

Çizelge 3.2. CFRP ve epoksi teknik özellikleri (Sika, 2006).

	CFRP Özellikleri	Sikadur 330
Birim Ağırlık	230 ±10 gr/m ²	1.31 kg/l (+23 °C'de)
Kopmadaki Uzama	%1.8	%0.9 (+23 °C'de 7 Günlük)
Lif Yapısı	%99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif	İki bileşenli epoksi reçinesi
Çekme Dayanımı	4300 MPa	30 MPa (+23 °C' de 7 günlük)
Elastisite Modülü	234000 MPa	Eğilme: 3800 N/mm ² Çekme: 4500 N/mm ²
Kalınlık		0.131 mm
Karışım		A : B Bileşeni = 4 : 1 ağırlıkça



Şekil 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan CFRP.

3.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan Yöntemler

3.2.1. Beton basınç dayanımı

Bu deneysel çalışmada betonarme elemanların üretilmesinde kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Betonların dayanım değerlerinin belirlenmesinde 6 adet 150 x 150 x 150 mm'lik küp numune kullanılmıştır. Beton harcı önceden ince makine yağı ile yağlanmış kalıplara üç kademeyle doldurulmuştur. Her kademeyle 25 defa 16 mm çapında ucu yuvarlatılmış 60 cm uzunluğundaki şişleme çubuğu ile sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Kalıp doldurulduktan sonra yüzeyi bir mala yardımı ile düzeltilip etiketleme işlemi ile sonlandırılmıştır. Betonların priz süresini tamamlaması amacıyla laboratuvar ortamında 24 saat tutulmuştur. 24 saat sonra kalıplardan alınan beton numuneleri standart kür havuzunda 28 gün küre tabii tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler Şekil 3.4'te verilen 2000 kN kapasiteli tek eksenli beton basınç presinde TS 12390-3, (2010)'e uygun olarak deneye tabii tutulmuştur (Kaya, vd. 2017).



Şekil 3.4. Beton basınç presi.

3.2.2. Betonarme donatılarının mekanik dayanımları

Betonarme numunelerin üretilmesinde kullanılan S420 sınıfındaki donatıların akma ve çekme dayanımlarının belirlenmesinde Şekil 3.5'te verilen donatı çekme cihazı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada 6 ve 8 mm çaplarında iki farklı donatı kullanılmıştır. Her donatı çapından 3 adet 500 mm uzunluğunda toplamda 6 adet numune donatı çekme cihazında test edilmiştir.



Şekil 3.5. Donatı çekme cihazı.

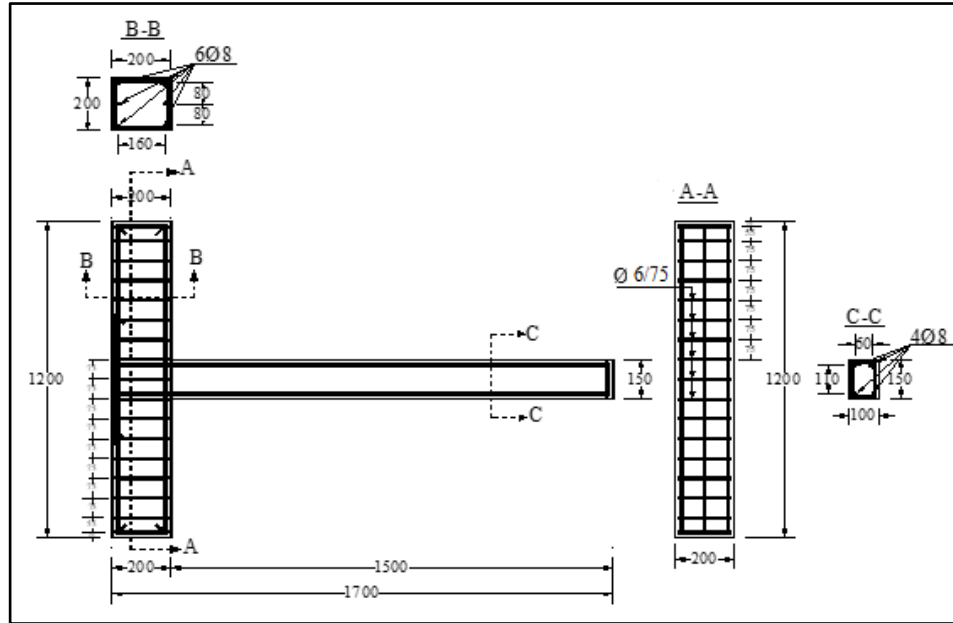
3.2.3. Betonarme numunelerinin hazırlanması

Bu tez çalışması kapsamında C25 beton sınıfı ve iki ayrı çapa sahip betonarme donatısı ile etriyesiz ve 300 mm etriye aralığında numuneler Çizelge 3.3'te verildiği gibi hazırlanmıştır.

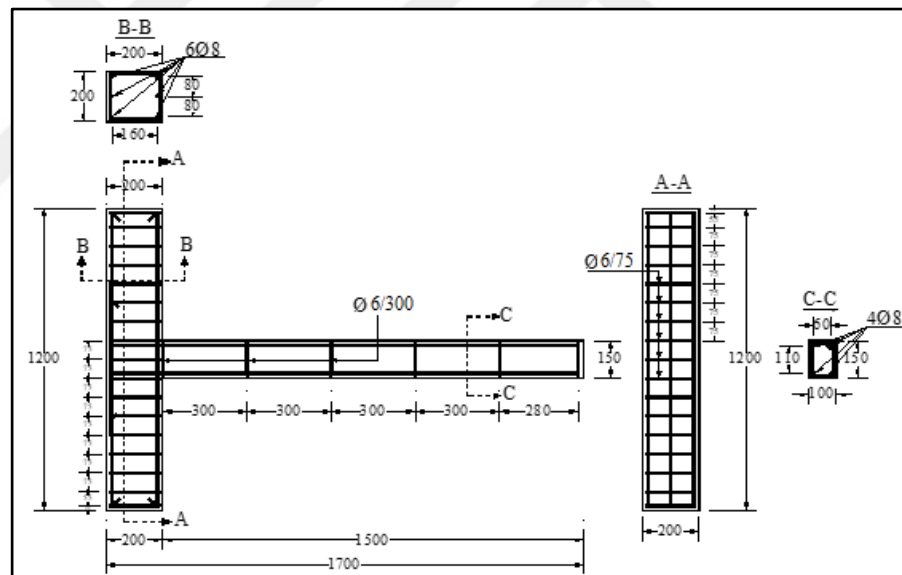
Çizelge 3.3. Konsol kiriş numune detayları.

Numune No	Beton Basınç Dayanımları (MPa)	Kiriş Etriye Aralıkları (mm)
S1	25	300
S2		----
S3		----
S4		300
S5		----
S6		----
S7		----
S8		----

Kolon ve kiriş numunelerinde Şekil 3.6-3.8'de verilen donatı planlarına uygun 6 ve 8 mm çaplarında S420 donatılar kullanılmıştır. Numunelerde net beton örtüsü 20 mm belirlenmiş olup 4 adet etriyesiz ve 4 adet 300 mm etriye aralıklı olmak üzere toplam 8 adet numune hazırlanmıştır.

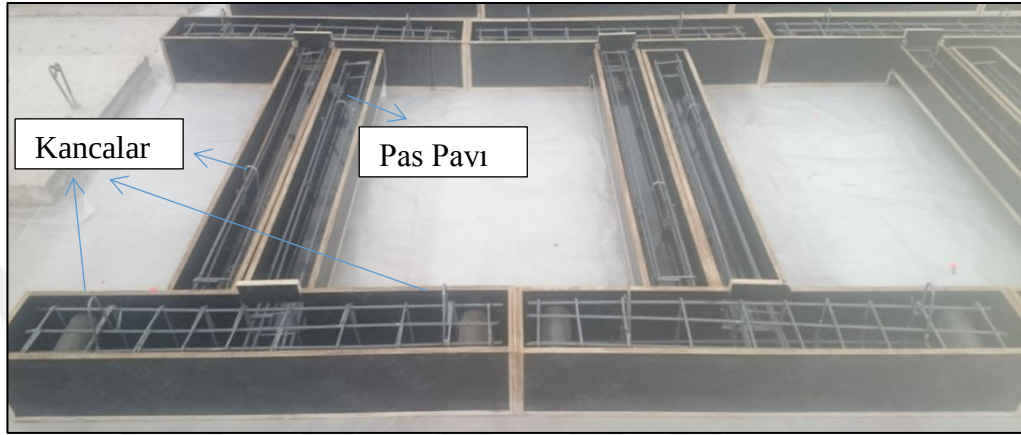


Şekil 3.6. Etriyesiz betonarme kiriş numunesi.



Şekil 3.7. Etriyeli betonarme kiriş numunesi.

Kullanılan metal borunun beton dökme işlemi sırasında hareket etmemesi için elektrot kaynağı yardımı ile sabitlenmiştir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi ince makine yağı ile yağlanan kalıplara hazırlanan donatılar plastik pas payları takılıp kalıplara yerleştirilmiştir. Beton dökümünden sonra numunelerin rijit duvara taşınması ve montajı için kiriş kısmında bir kolon kısmında iki adet kanca takılmıştır.



Şekil 3.10. Betona hazır hale getirilen numune örneği.

Hazırlanan donatılar kalıplara yerleştirildikten sonra hazır beton tesisinden mikser ile gelen betonlar iki kademedede kalıplara yerleştirilmiştir. Segregasyon problemlerinin yaşanmasını önlemek amacı ile daldırma tipi vibratör kullanılmıştır. Beton dökümünden 24 saat sonra numuneler kalıplardan fabrika tipi kumandalı ve halatlı vinç yardımı ile çıkarılmıştır. Beton kürü için numuneler 7 gün boyunca günde 2 defa sulanmıştır. Şekil 3.11'de görüldüğü gibi 28 gün boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir.



Şekil 3.11. Beton ve betonarme numuneler.

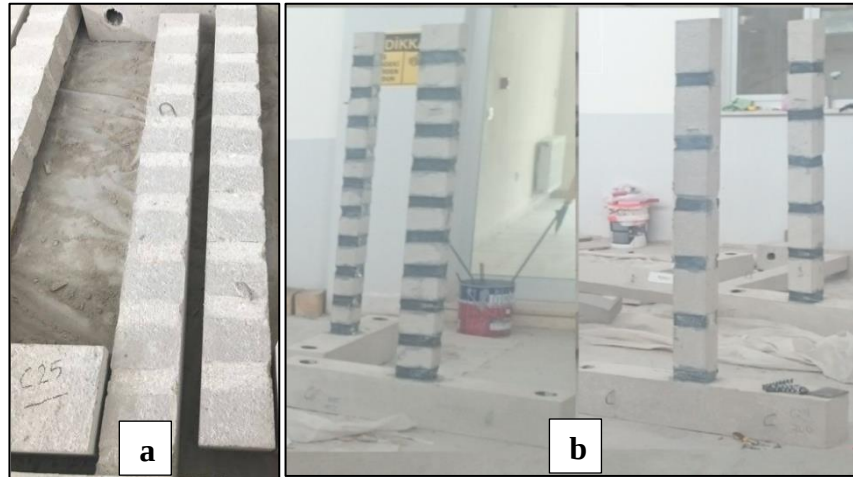
3.2.4. Betonarme numunelerin CFRP ile güçlendirilmesi

Çarpma deneyine tabii tutulan numuneler kür yaşını tamamladıktan sonra Çizelge 3.4'te verilen detay listesine uygun olarak CFRP şeritlerinin yapıştırılacağı alanlar işaretlenmiştir.

Çizelge 3.4. Güçlendirilen numunelere ait detaylar.

Numune No	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Kiriş Etriye Aralıkları (mm)	Düşü Yüksekliği (mm)	CFRP Şerit Aralığı (mm)	CFRP Şerit Genişliği (mm)
S1	25	300	500	150	50
S2				250	
S3				150	
S4				250	
S5		300	750	150	
S6				250	
S7				150	
S8				250	

Kiriş numunelerin alt ve iki yan yüzeylerine 50 mm genişliğinde, Çizelge 4'te verilen detay listesine uygun olarak hilti yardımı ile CFRP şeritlerinin yapıştırılacağı yüzeyler Şekil 3.12-a'da görüldüğü gibi pürüzlendirilmiştir.



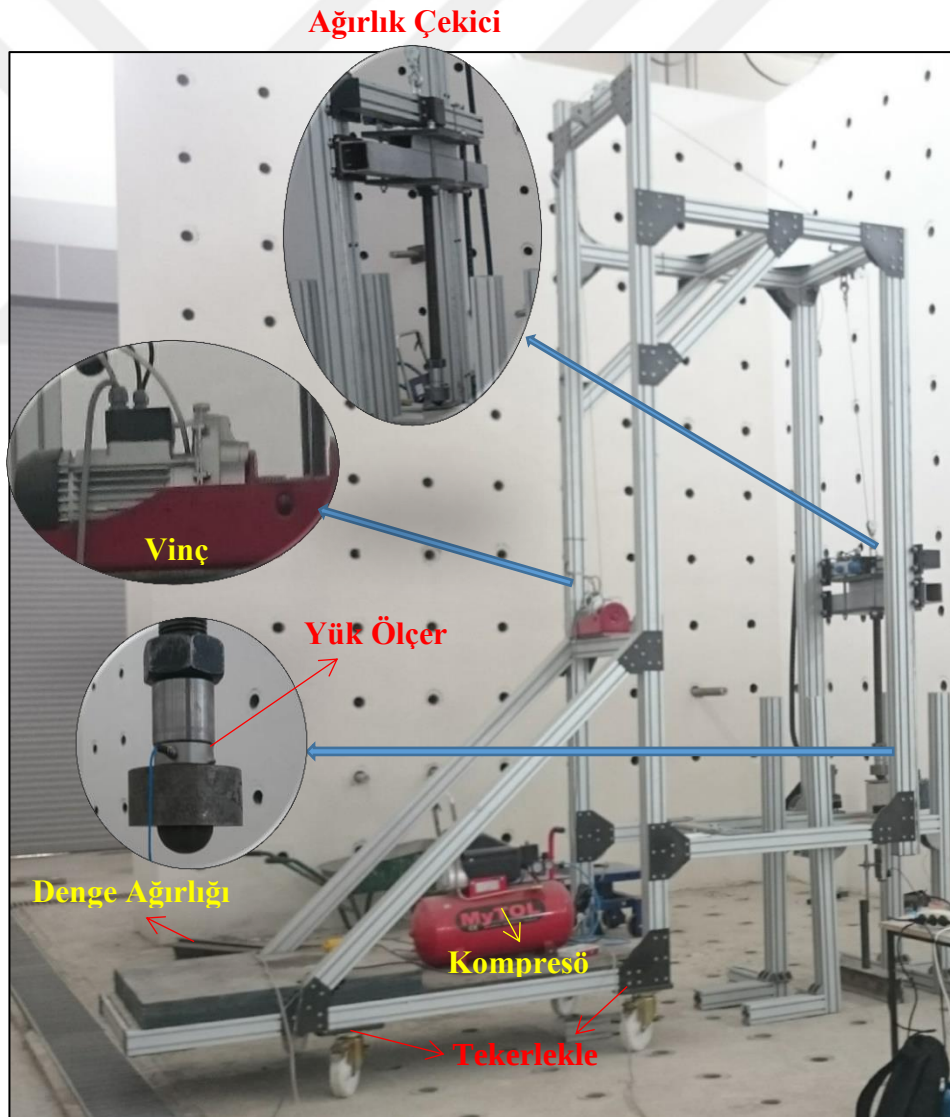
Şekil 3.12. Pürüzlendirilen ve güçlendirilen betonarme örnekler.

Güçlendirilmeye hazır hale getirilen kirişlerin yüzeyleri nemli bir bez ile toz vb. maddelerden arındırılmıştır. CFRP şeritleri 50 mm genişliğinde ve 400 mm uzunluğunda kirişin yan yüzeyleri ve alt kısmını kapsayacak şekilde hazırlanmıştır.

Hazırlanan şeritler belirlenen alanlara %20 A ve %80 B oranlarında karıştırılan çift bileşenli epoksi ile “U” şeklinde yapıştırılmıştır. Şekil 3.12-b’de güçlendirilen kiriş örnekleri verilmiştir.

3.2.5. Çarpma deney düzeneği

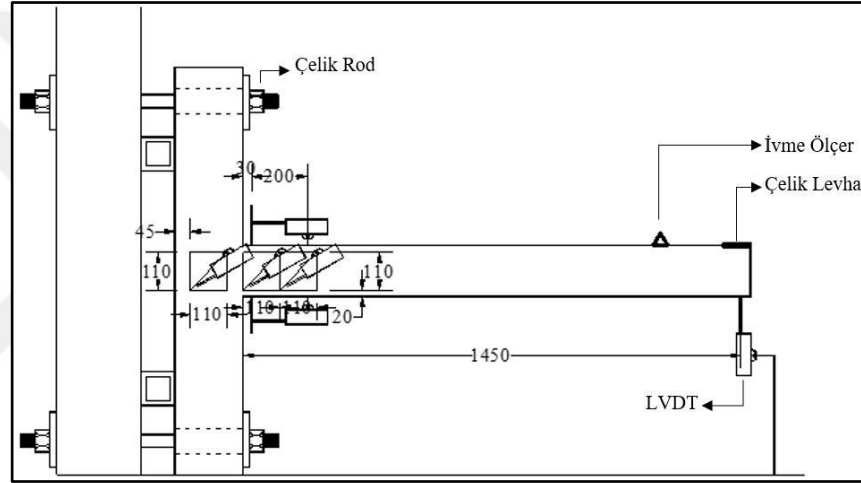
Bu deneysel çalışmada üretilen numunelerin çarpma deneyleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yapı Laboratuvarında bulunan ve Şekil 3.13’te verilen cihazda gerçekleştirilmiştir. Cihaz üzerinde; iki adet düşey ray mekanizmasında sürtünmesiz olarak hareket eden ve mıknatısla birleştirilen ağırlık çekici, şase altında 4 adet tekerlek (yatayda hareket amaçlı), elektrikli vinç (ağırlığı istenilen yüksekliğe çıkarmak) ve hava kompresörü (ağırlığı mıknatıstan ayırmak için) bulunmaktadır.



Şekil 3.13. Çarpma deney düzeneği.

3.2.6. Numunelerin çarpma deneyine hazırlanması

Hazırlanan deney numuneleri CFRP ve epoksi ile güçlendirilip 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Epoksi kür yaşını tamamlayan numunelere deneysel ekipmanlar Şekil 3.14'te verilen plana uygun olarak montaj edilmiştir. Her numuneye 1 adet ivmeölçer, 150 mm CFRP aralıklı numunelerde 3 adet, 250 mm CFRP aralıklı numunelerde 2 adet strain gauge, 6 adet LVDT, serbest olarak bırakılan ağırlığın düşürüldüğü noktaya 150 x 100 x 10 mm ebatlarında metal aparat ve beton ile metal arasına kauçuk malzeme yerleştirilmiştir. Deney ekipmanlarının sabitlenmesinde çelik dübel ve cıvatalardan faydalanılmıştır.



Şekil 3.14. Deney numunesinde ölçüm sistemi.

Şekil 3.14'te görüldüğü gibi deney elemanı üzerinden alınan altı adet deplasman ölçümünün hepsi farklı amaçlar ile alınmıştır. Deplasman ölçümlerinden biri çarpma yüklemesinin uygulandığı kiriş serbest ucunun düşey yöndeki deplasman değerinin ölçülmesi için kullanılmıştır. Üç adet deplasman ölçer 45° açı ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelebilecek kesme çatlağı genişliklerinin ölçülmesi için sırasıyla tam olarak kolon-kiriş birleşim noktasına ve kiriş üzerine yerleştirilmiştir. Diğer iki deplasman ölçer ise kiriş üzerine kiriş çekme ve basınç yüzeyine kolon - kiriş birleşim bölgesine mümkün olabilecek en yakın mesafede yerleştirilerek, kirişte meydana gelebilecek eğilme çatlaklarının ölçülmesi için yerleştirilmiştir. Alınan bu deplasman ölçümleri ile uygulanan çarpma yüklemesi etkisinde kolon - kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelebilecek kiriş uç deplasmanı, kesme çatlağı genişliği ve eğilme çatlağı genişliği gibi tüm deplasman türlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.

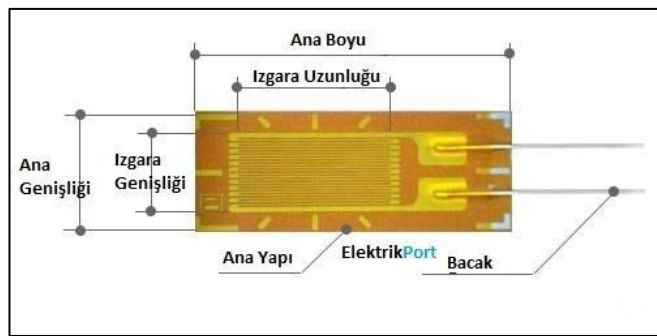
Serbest ağırlık testinde 84 kg kütle 500 mm ve 750 mm yükseklikten numunelere uygulanmıştır. Bu şekilde numunelere iki farklı enerji seviyesinde ($9.81 \times 84 \times 0.5 = 0.4120$ kJoule ve $9.81 \times 84 \times 0.75 = 0.6190$ kJoule) darbe yükü uygulanmıştır.

Numunelerin deneye hazırlık aşamasında matkap ile delme işlemi tamamlandıktan sonra çelik dübelleri montaj edilmiştir. Potansiyometrik cetvellerin sabit durması için Şekil 3.15-a'da verilen metal aparatlardan yararlanılmıştır. Şekil 3.15-b'de potansiyometrik cetvellerin betonarme numuneye uygulanması verilmiştir.



Şekil 3.15. Metal kanca ve potansiyometrik cetvellerin numuneye uygulanması.

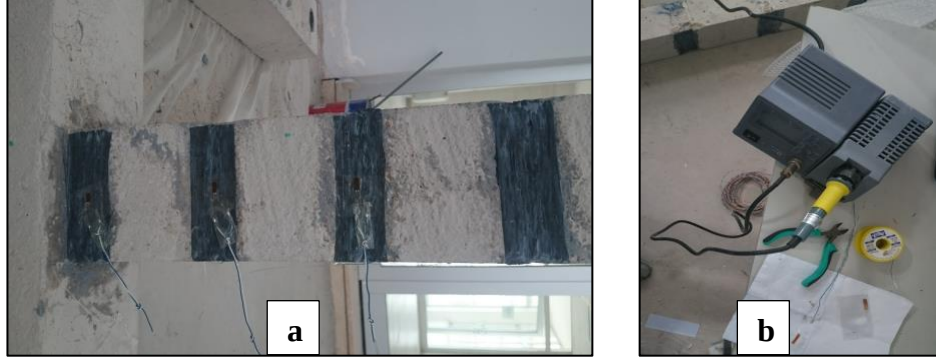
Strain gauge, üzerine bağlandığı malzemenin genişmesi sonucu oluşan birim deformasyonu ölçmek için kullanılan bir tür dirençtir. Deneylerde CFRP şeritlerdeki birim deformasyonu ölçmek için kullanılan Strain gauge'lerin yapısı Şekil 3.16'da verilmiştir (Sezer, 2018).



Şekil 3.16. Strain-gauge yapısı.

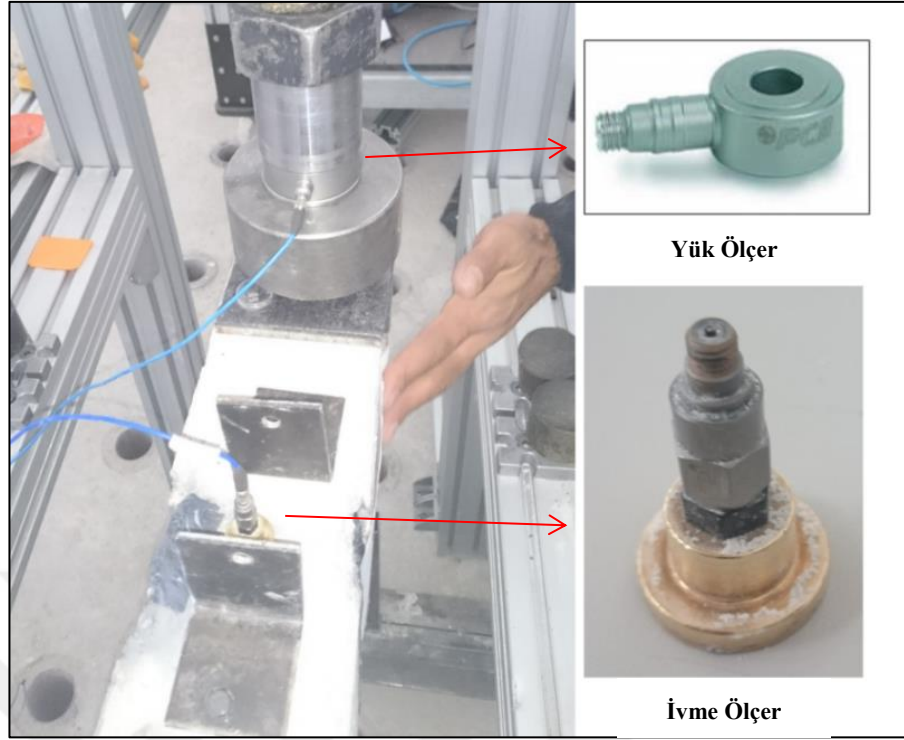
Birim deformasyonların ölçülmesinde numunelere Şekil 3.17-a'da görüldüğü gibi CFRP üzerine düşey yönde ortalanarak sıcak silikon ile yapıştırılmıştır. Strain

gauge'lerin bacaklarına uzatma kabloları Şekil 3.17-b'de verilen lehim cihazı ile birleştirilmiştir.



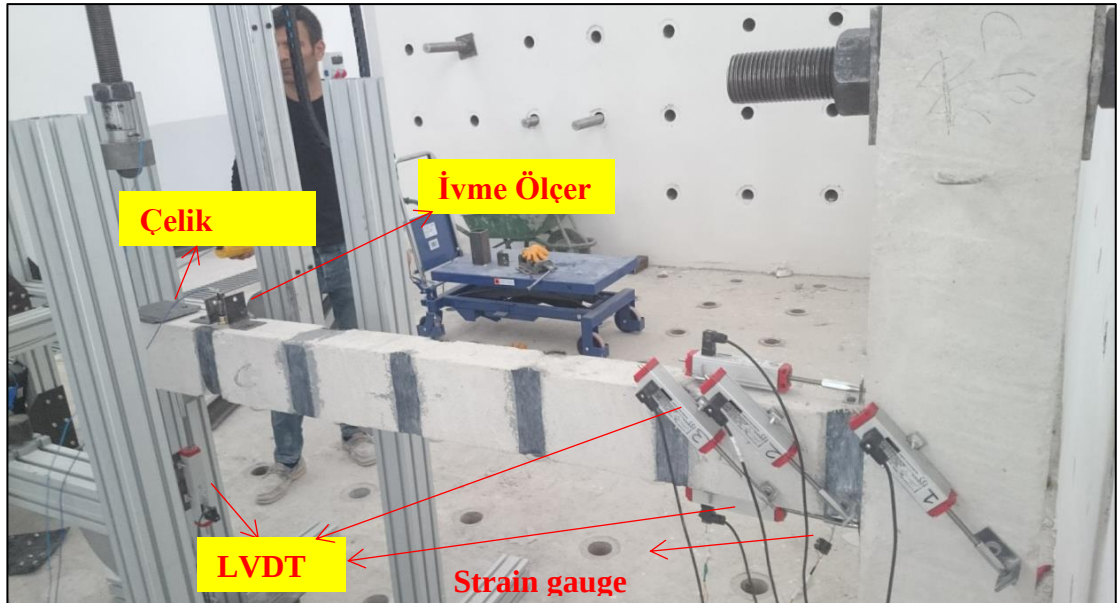
Şekil 3.17. Strain-gauge'lerin numuneye uygulanması örneği.

Numunelerin çarpma deneyinde ($\pm 15\%$) 2248 mV/kN hassasiyete ve 2.224 kN ölçüm aralığına (basınç kuvveti) sahip 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı (yük ölçer) kullanılmıştır. Yük ölçer ağırlık çekici başlığına montaj edilmiştir. Dinamik davranışların belirlenmesinde ivmeölçerler büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada 353B02 model ICP tipi piezoelektrik ivmeölçerden yararlanılmıştır. Kullanılan ivmeölçer 2,04 mV/(m/s²) hassasiyette, ± 2453 m/s² ölçüm aralığına ve ≥ 38 kHz rezonans frekansı sahiptir. Deney numunesi üzerine montaj edilen yük ve ivmeölçer Şekil 3.18'de görülmektedir.



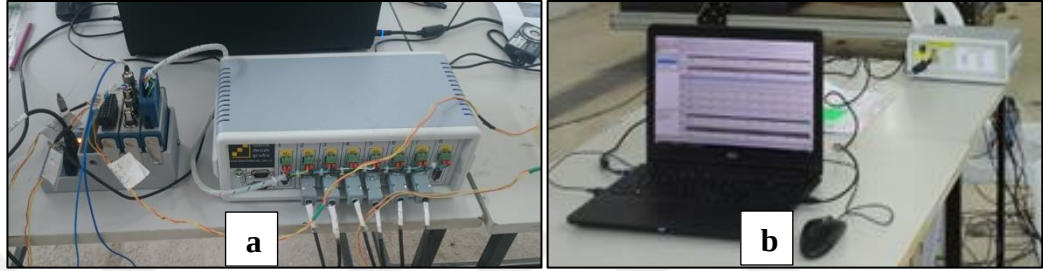
Şekil 3.18. Kullanılan yük ve ivmeölçer.

Çarpma deneyine hazır hale getirilen numune örneği şekil 3.19’da verilmiştir. Kirişin yan yüzeylerinin bir tarafında LVTD, diğer tarafına ise strain gauge’ler uygulanmıştır.



Şekil 3.19. Çarpma deneyine hazır numune örneği.

Betonarme elemanlarının çarpma deneylerinde hazırlanan numune rijit duvara sabitlendikten sonra ekipmanlar bağlanmış ve deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.20-a’da verilen National Instruments firmasının ürettiği NI 9233-USB-9162 modeli veri toplama cihazı ile alınan sinyaller Şekil 3.20-b’de verilen bilgisayarda bulunan özel olarak yazılmış program yardımıyla veriler kaydedilmiştir.



Şekil 3.20. Kullanılan veri toplama cihazları ve diz üstü bilgisayar.

Şekil 3.21’de deneye hazır hale getirilen düzenek örneği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi deney elemanları gerçekte olduğı gibi kolon bölümü dik bir şekilde rijit laboratuvar yükleme duvarına yüksek dayanımlı gijon saplamalar ile mesnetlenmiş ve kiriş bölümü yatay bir şekilde serbest ağırlık deney düzeneğine doğru yerleştirilmiştir. Bütün veri, bağlantı elemanları ve dijital ekipmanlar kontrol edildikten sonra deney başlatılmıştır.



Şekil 3.21. Deneye hazır hale getirilen düzenek örneği.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Beton Basınç Dayanım Bulguları

Bu deneysel çalışmada üretilen betonarme deney elemanlarının beton basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Beton küp numunelerinden elde edilen basınç dayanım değerleri Çizelge 4.1’de görülmektedir. C25/30 sınıfına uygun ortalama küp numune basınç dayanım değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton basınç dayanım değerleri.

C25			
28. gün	kN	MPa	Ortalama
1.Deney	729.7	32.43	30.44
2.Deney	622.5	27.67	
3.Deney	702.3	31.21	

4.2. Kullanılan Donatıların Mekanik Dayanım Bulguları

Betonarme konsol kirişlerin hazırlanmasında 6 ve 8 mm çaplarında nervürlü S420 sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır. Her çaptan üçer numune donatı çekme cihazında test edilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kullanılan donatıların mekanik özellikleri.

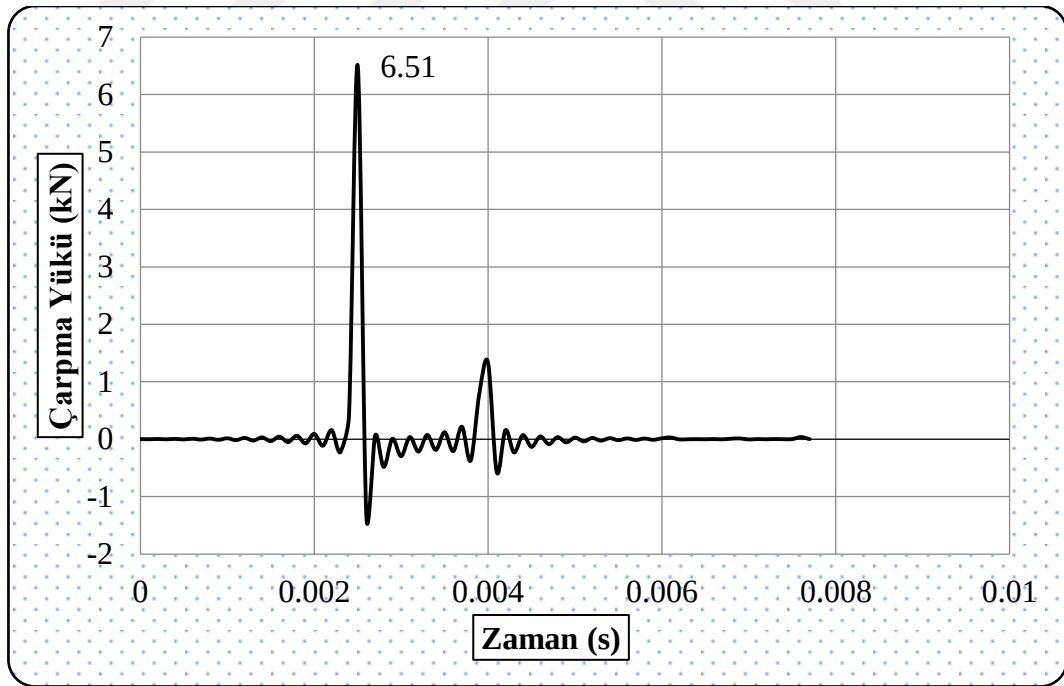
TS 708 Standart Sınır Değerleri				
Min. Akma Dayanımı (N/mm ²)			Çekme Dayanım (N/mm ²)	
420			500	
Deney Sonucu Bulunan Değerler				
Çap (mm)	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Çekme Dayanımı (N/mm ²)
6	485	492	645	692
6	498		728	
6	492		704	
8	482	475	633	620
8	478		622	
8	465		607	

4.3. Betonarme Numunelerin Dinamik Dayanım Bulguları

Deneyisel çalışma sonucunda, farklı kesme donatılarına sahip betonarme kolon kiriş deney elemanların dinamik davranışları çarpma yüklemesi altında incelenmiştir. Bu tez çalışmasında, betonarme kolon - kiriş birleşim elemanlarının çarpma yüklemesi sonrası ivme, çarpma yükü, kiriş uç deplasmanı, kesme çatlakları, kiriş alt-üst deplasmanları zaman tanım alanında değişimi her deney elemanı için ayrı ayrı sunulmuştur. Deney elemanlarında meydana gelen çatlak dağılımları incelenmiştir.

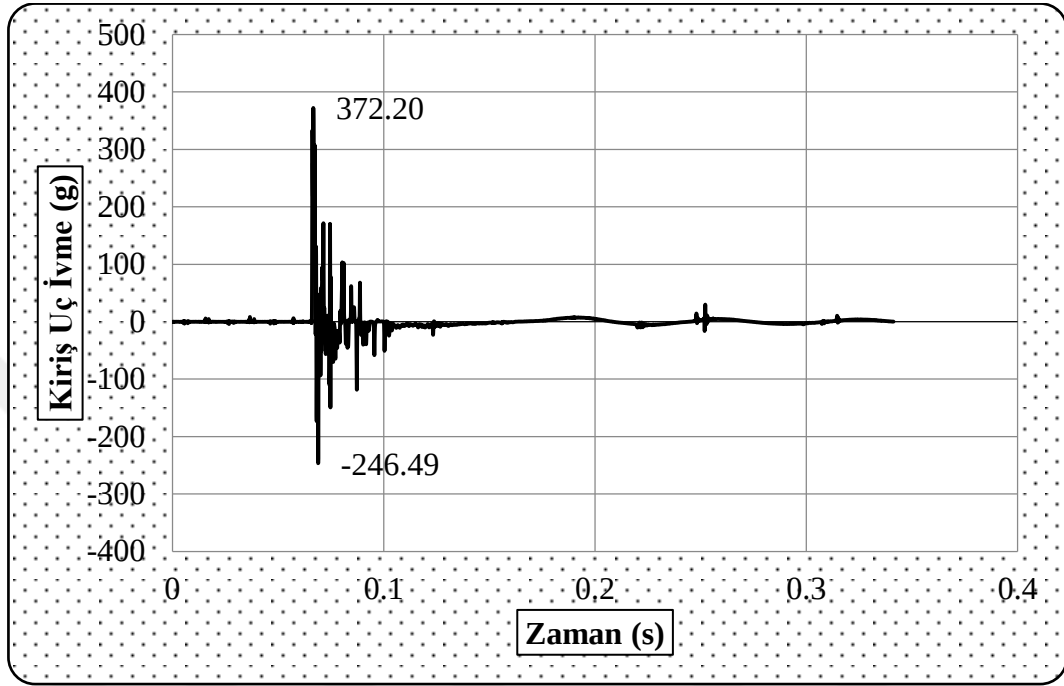
4.3.1. S1 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S1 deney numunesi 300 mm etriye aralıklı olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 150 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 500 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.1'de verilen S1 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 6.51 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



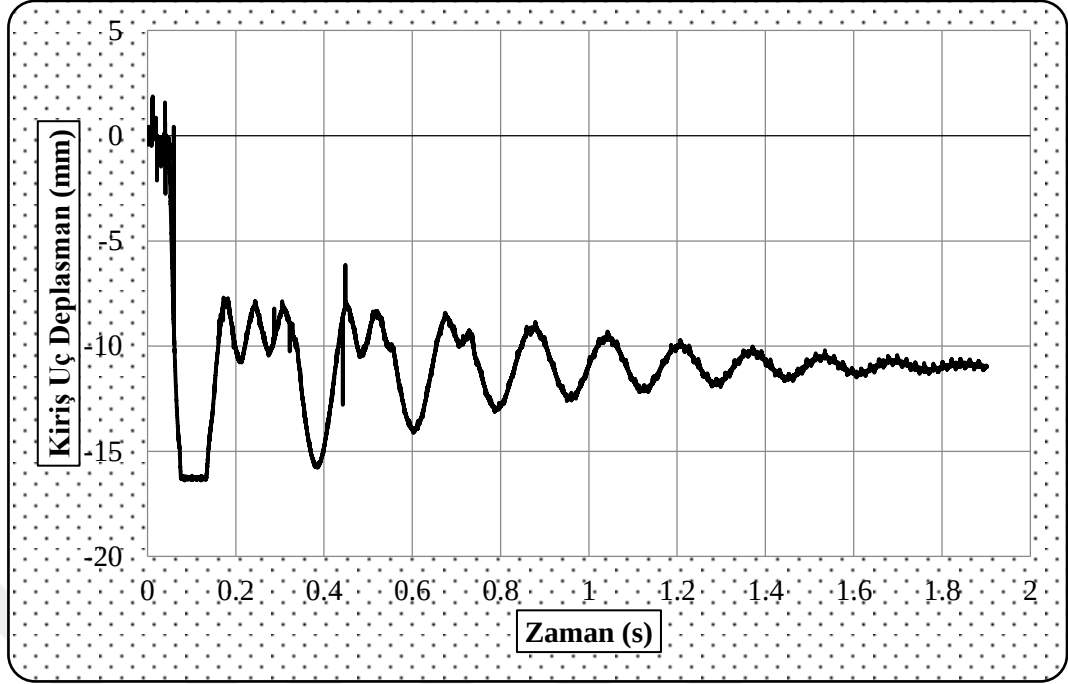
Şekil 4.1. S1 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.2’de verilen S1 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 372.20 g, minimum değeri -246,49 g olarak ölçülmüştür.



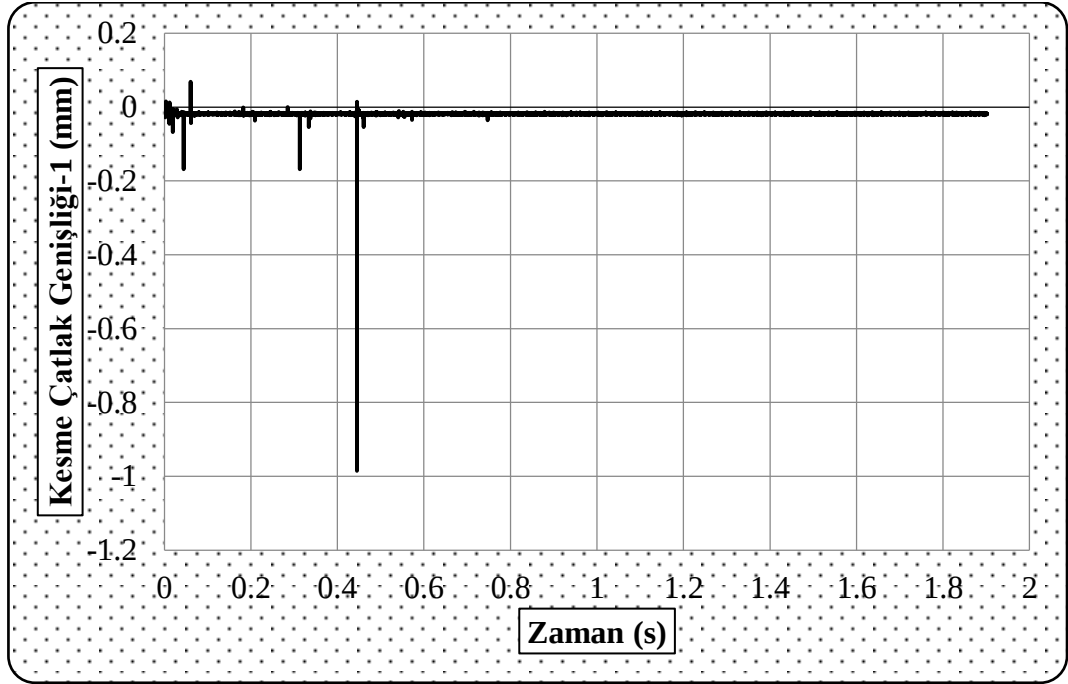
Şekil 4.2. S1 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.3’te S1 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman maksimum ve minimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla 18.26 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 10.97 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. S1 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

S1 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.05 mm olarak hesaplanmıştır.

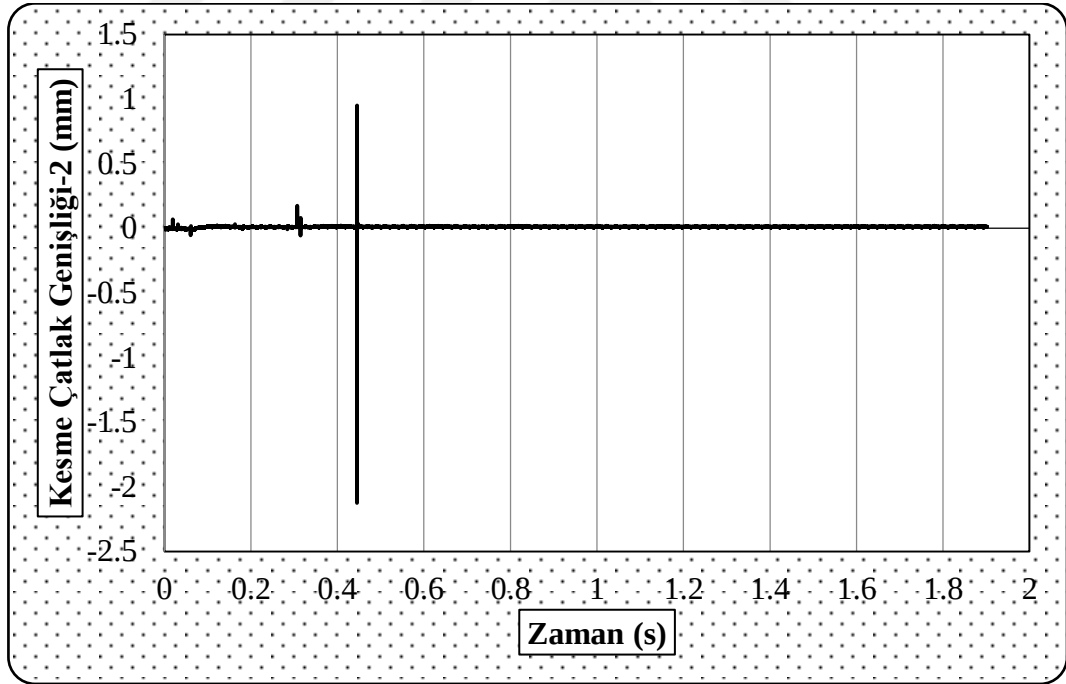


Şekil 4.4. S1 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde mesnette yakın olan ve Şekil 4.5'te görülen 2 numaralı potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 3.08 mm olarak hesaplanmıştır.



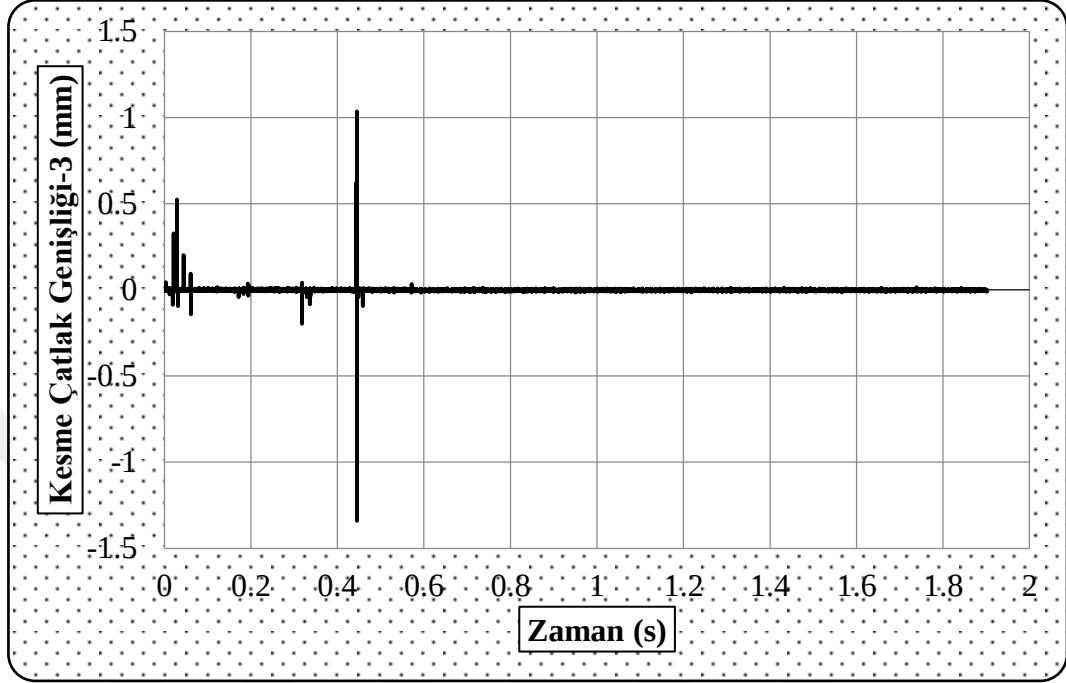
Şekil 4.5. S1 deney elemanına ait potansiyometrik cetveller.



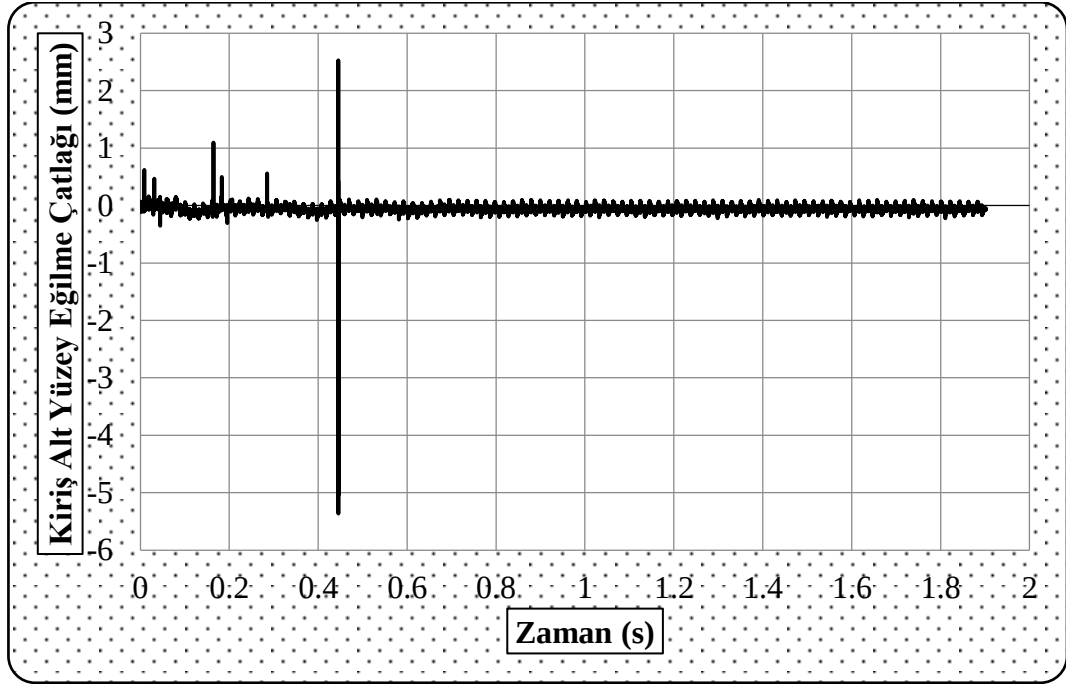
Şekil 4.6. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde ve Şekil 4.5'te görülen 3 numaralı potansiyometrik cetveldən ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 2.38 mm olarak hesaplanmıştır.

S1 deney elemanında kolon - kiriş birleşimine ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği Şekil 4.8’de verilen grafikten deplasman 7.89 mm olarak hesaplanmıştır.

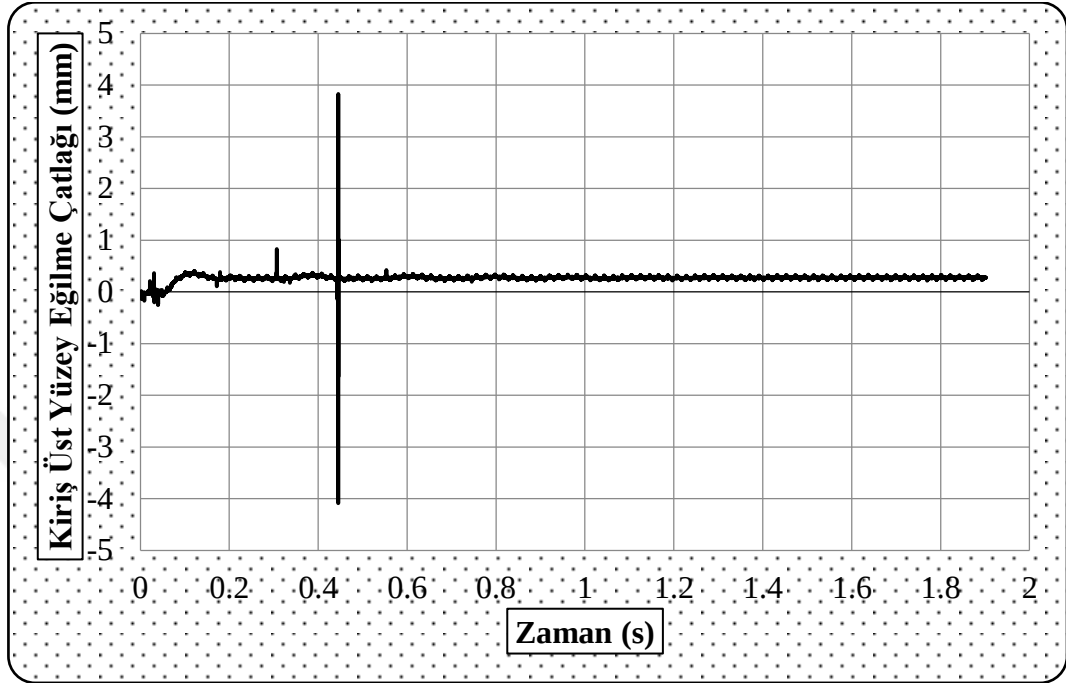


Şekil 4.7. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.



Şekil 4.8. S1 deney elemanına ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.

Kolon - kiriş birleşiminin üst bölgesindeki eğilme değeri Şekil 4.9'da verilen grafikten 7.92 mm olarak elde edilmiştir.



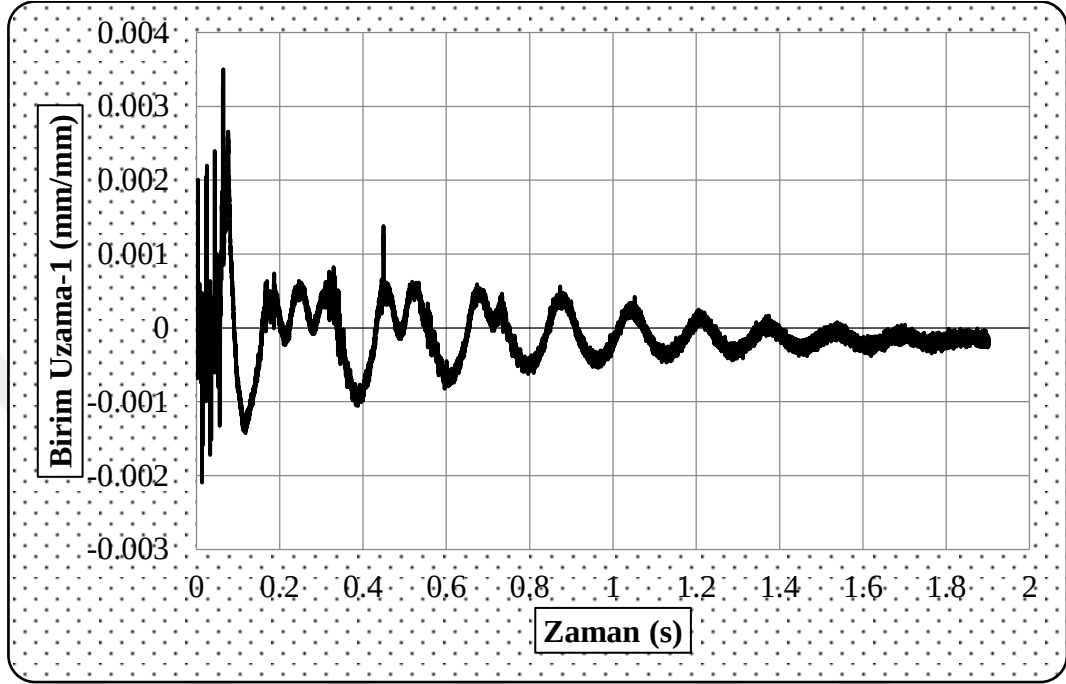
Şekil 4.9. S1 deney elemanına ait kiriş üst yüzeyi eğilme çatlakları-zaman grafiği.

S1 numunesine ait deney sonrası fotoğraf Şekil 4.10'da görülmektedir. Numune üzerinde gözle görülen kılcal çatlak dağılımları kırmızı kalemle daha belirgin hale getirilmiştir.

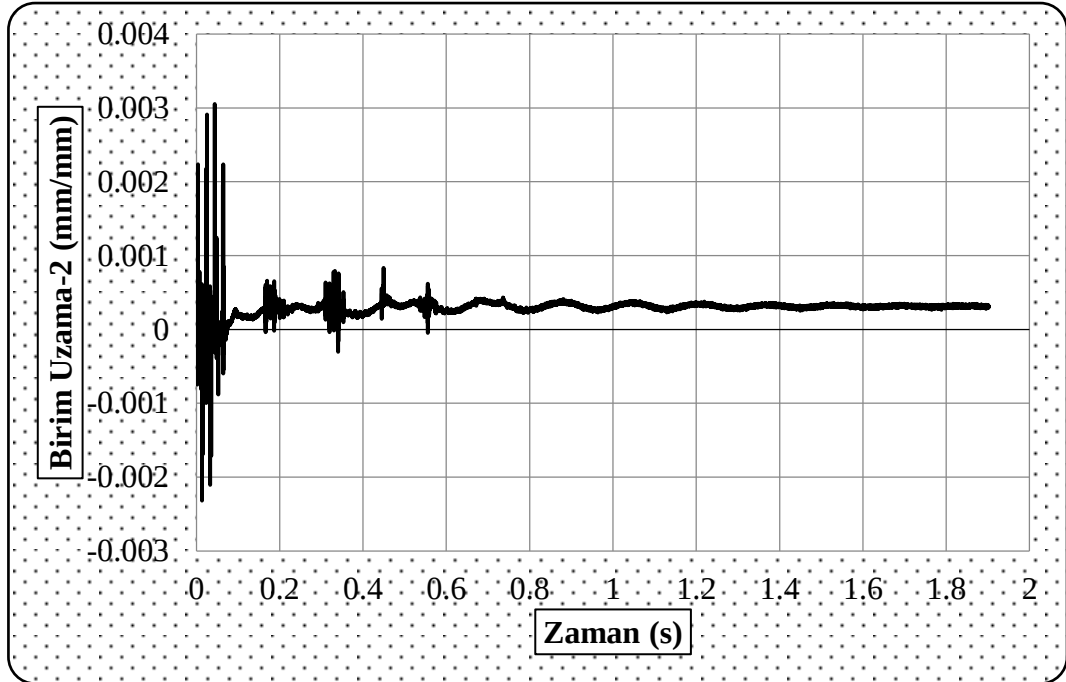


Şekil 4.10. S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S1 deney elemanına 150 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.10'da görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 3 adet strain gauge'ten elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.11-4.13'te verilmiştir.



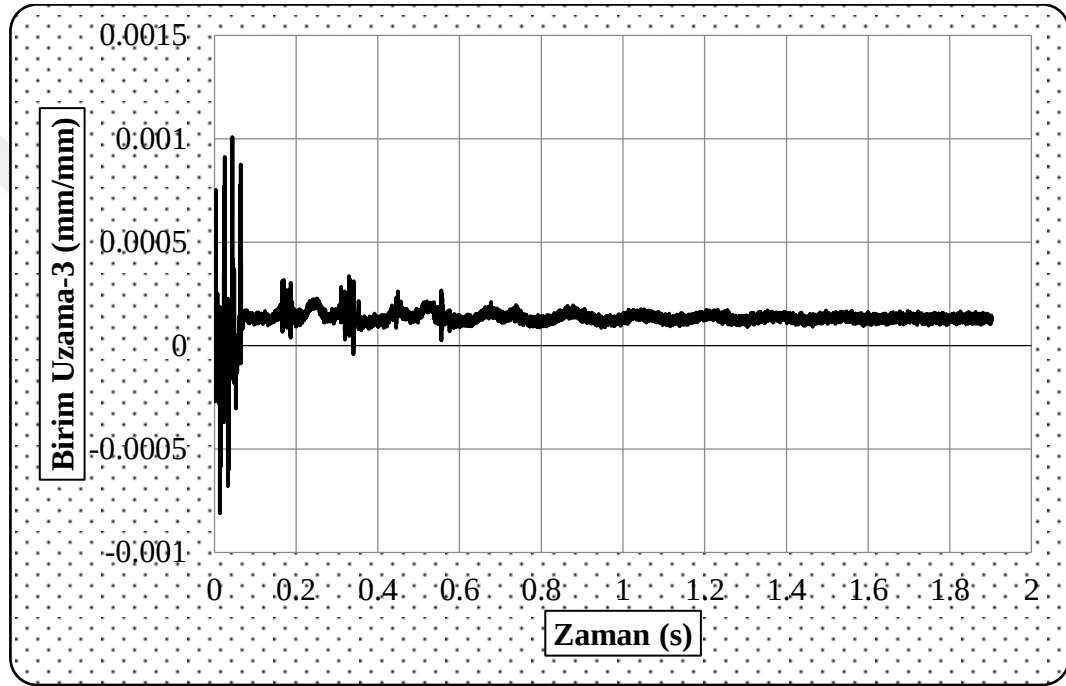
Şekil 4.11. S1 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.



Şekil 4.12. S1 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.

Numuneye ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen birim uzama değerleri sırasıyla 0.005598, 0.005372 ve 0.001820 olarak bulunmuştur. Maksimum birim uzama değeri Şekil 4.11’de verilen ve mesnette en yakın birim uzama1-zaman grafiğinden yaklaşık binde altı olarak elde edilmiştir.

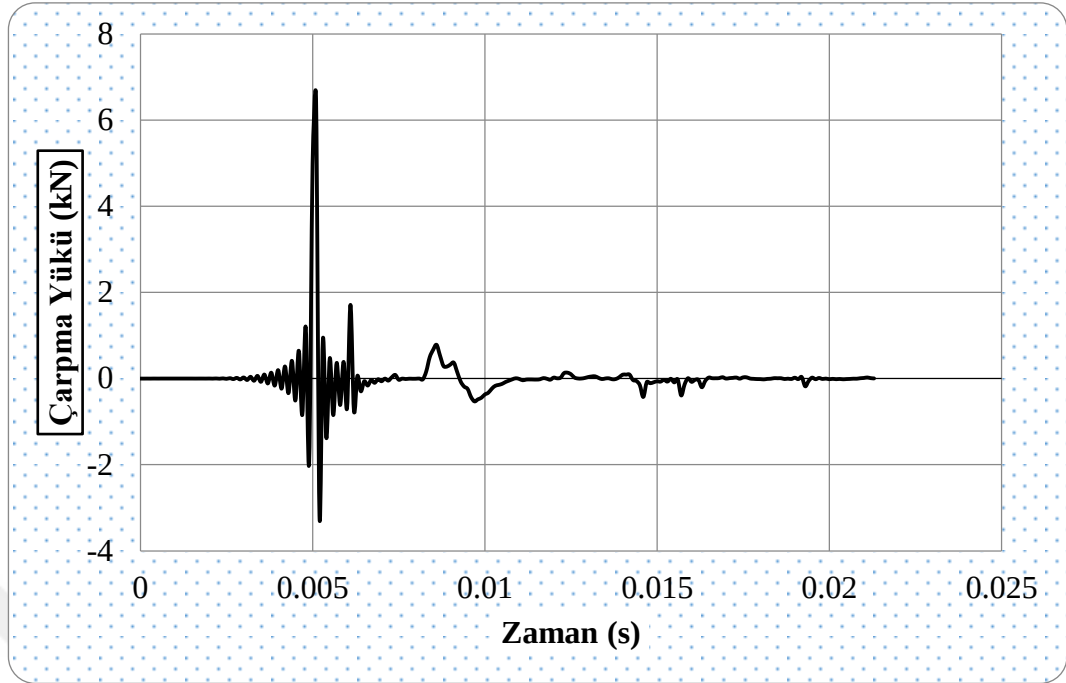
Bu duruma benzer olarak maksimum kesme çatlağı genişliği de mesnette yakın olan cetvelden elde edilmiştir.



Şekil 4.13. S1 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.

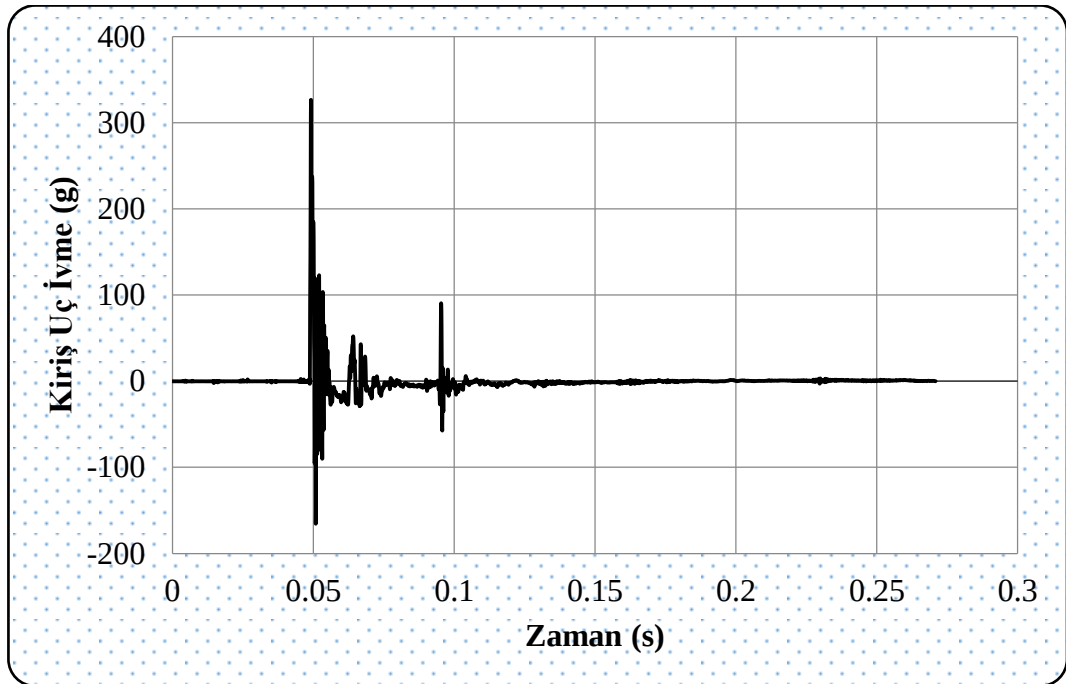
4.3.2. S2 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S2 deney numunesi 300 mm etriye aralıklı olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 250 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 500 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg’lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.14’te verilen S2 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 6.50 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



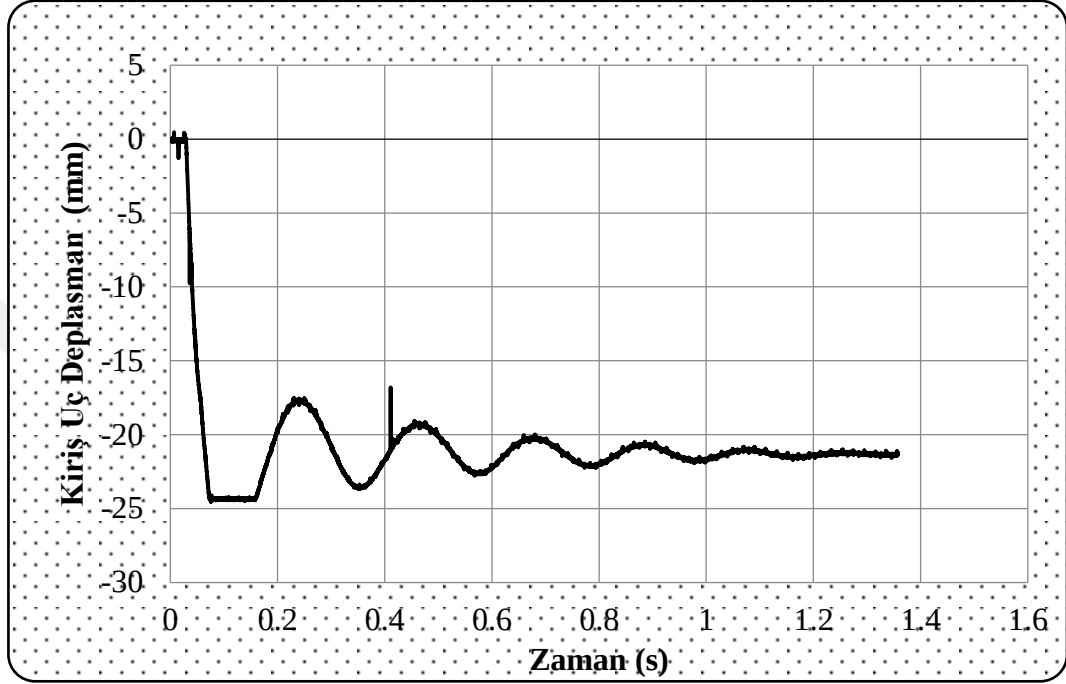
Şekil 4.14. S2 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yükleme sonucunda Şekil 4.15'te verilen S2 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 326.60 g, minimum değeri -165.51 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.15. S2 deney elemanına ivme-zaman grafiği.

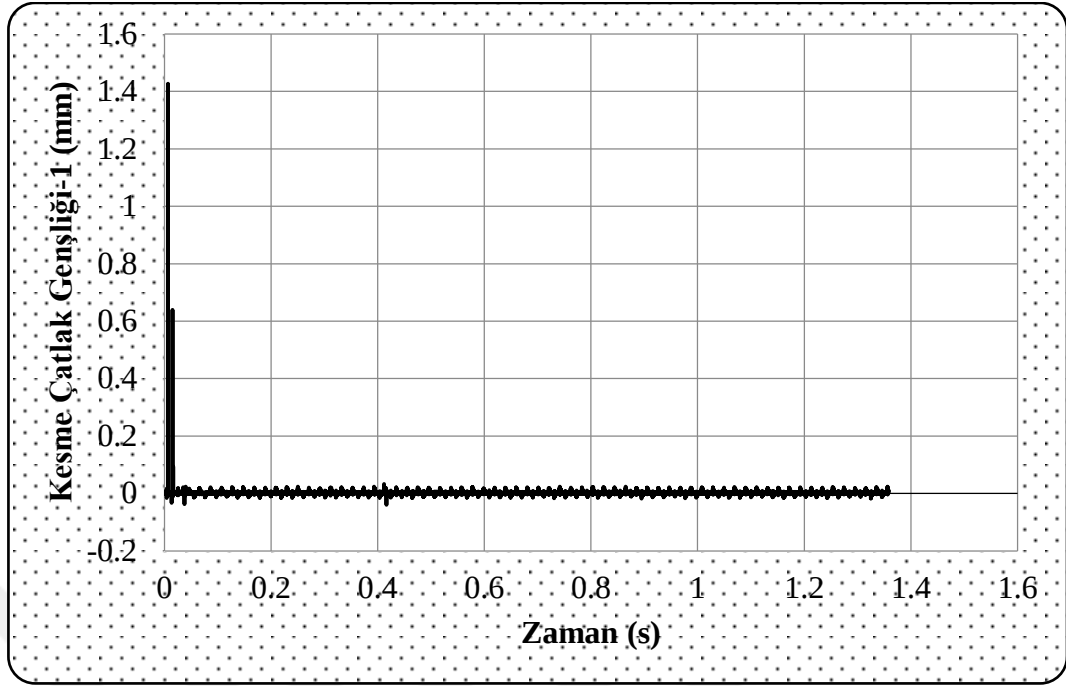
Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.16'da S2 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman maksimum ve minimum değerlerinin mutlak değerce toplanmasıyla 25.04 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 21.31 mm olarak belirlenmiştir.



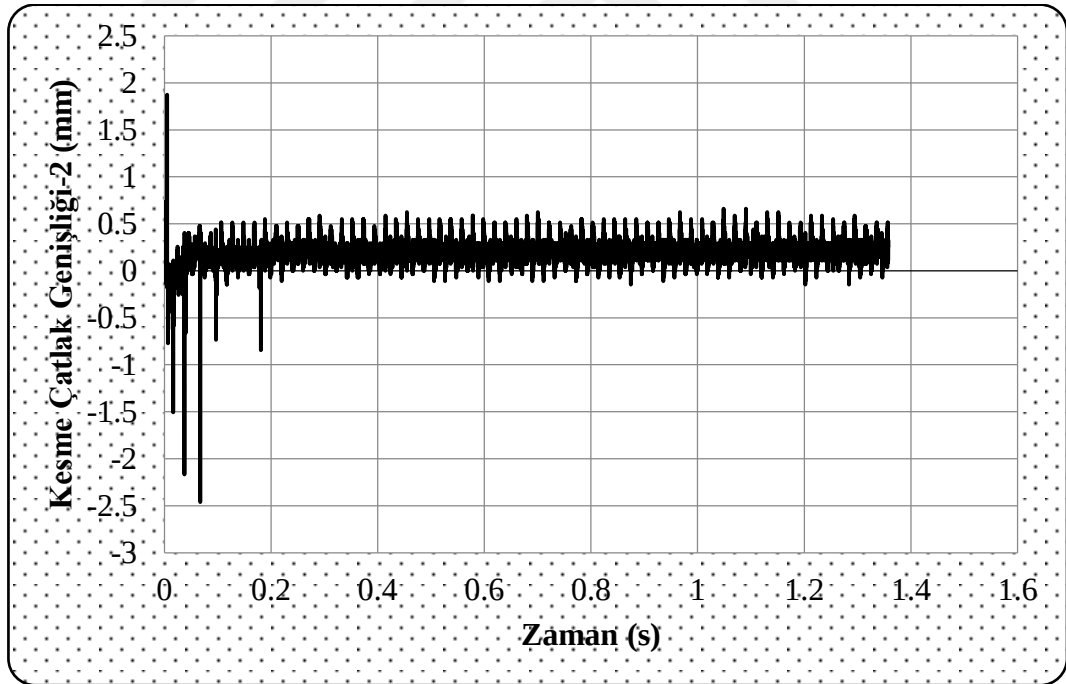
Şekil 4.16. S2 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

S2 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.47 mm olarak hesaplanmıştır.

Kiriş bölgesinde mesnette yakın olan potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 4.33 mm olarak hesaplanmıştır.

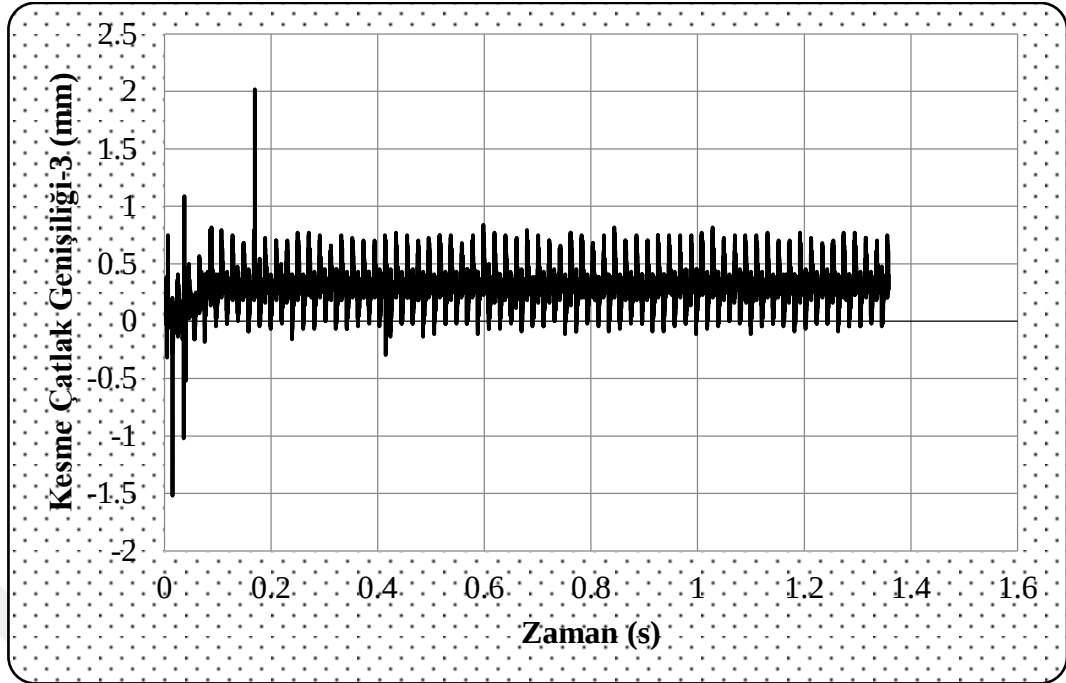


Şekil 4.17. S2 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği.



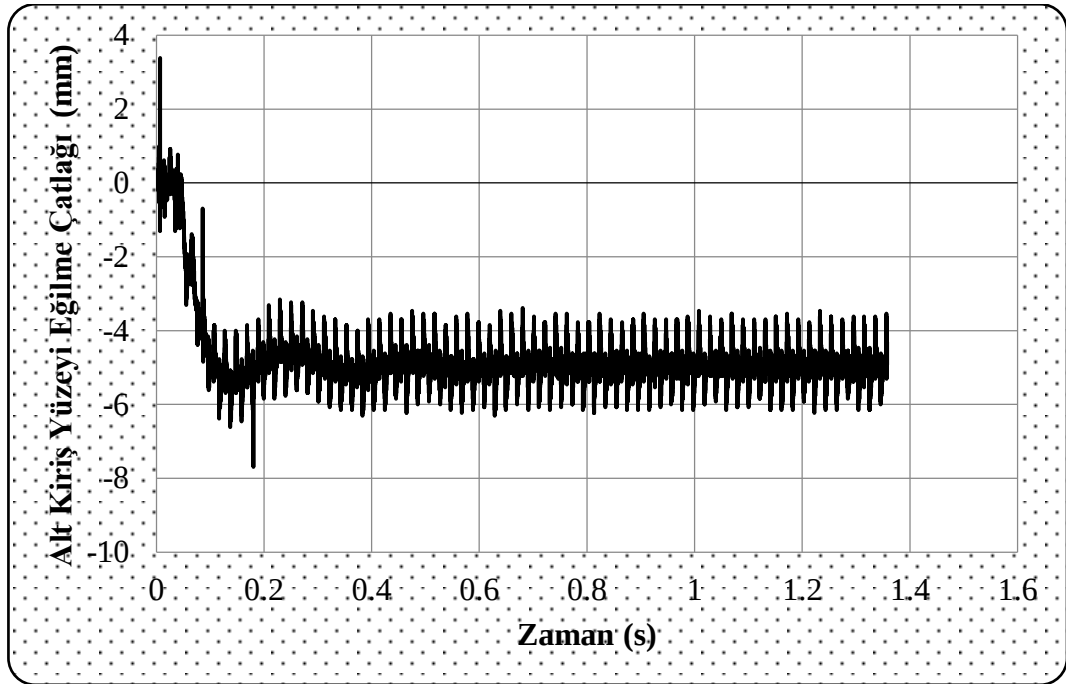
Şekil 4.18. S2 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 3.54 mm olarak hesaplanmıştır.



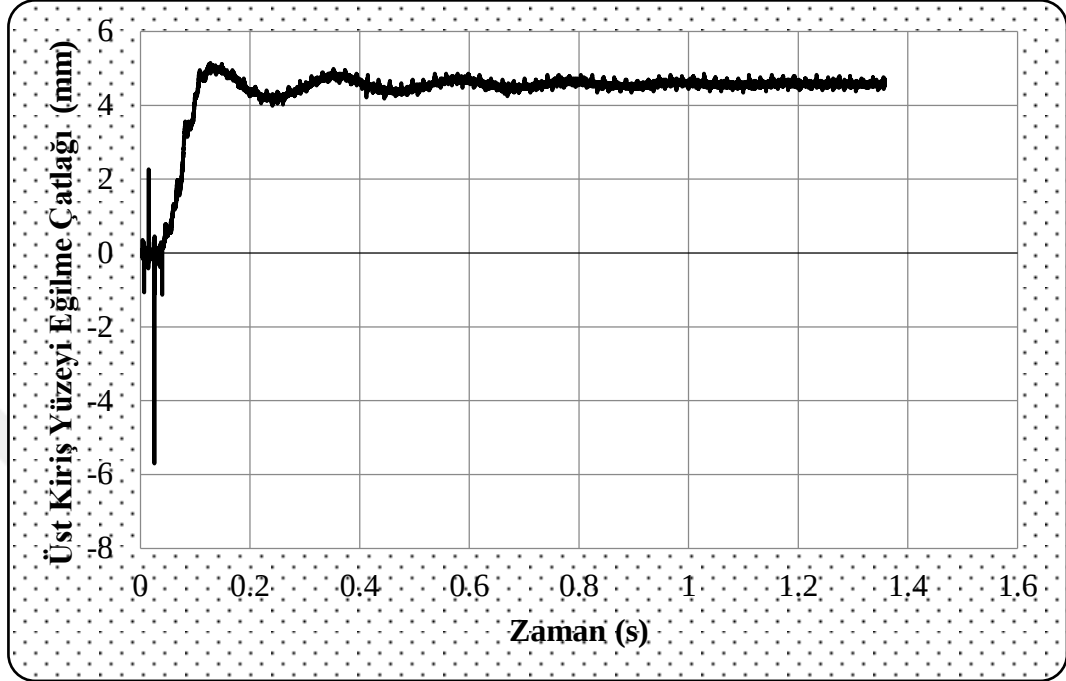
Şekil 4.19. S2 deney elemanına ait kiriş üst yüzey kesme çatlağı-3- zaman grafiği.

S2 deney elemanına ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği Şekil 4.20’de verilen grafikten 11.08 mm olarak hesaplanmıştır.



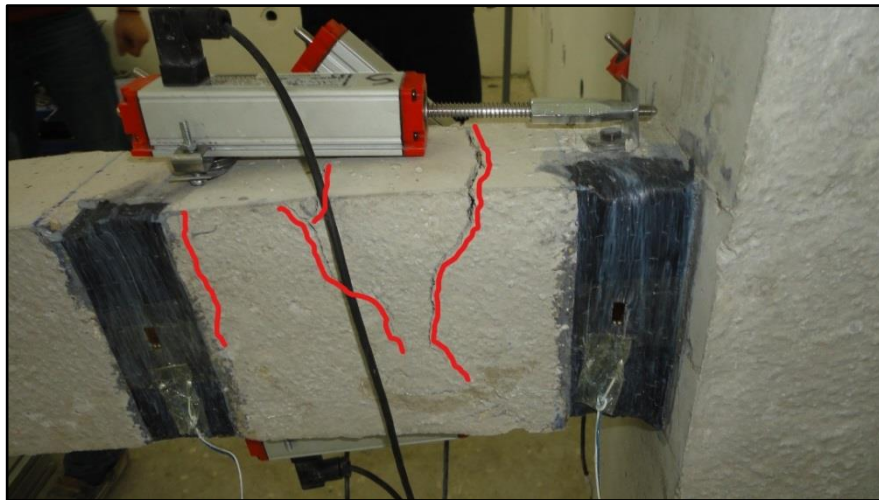
Şekil 4.20. S2 deney elemanına ait alt kiriş yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.

Kolon - kiriş birleşiminin üst bölgesindeki eğilme çatlağı değeri Şekil 4.21’de verilen grafikten 7.92 mm olarak elde edilmiştir.



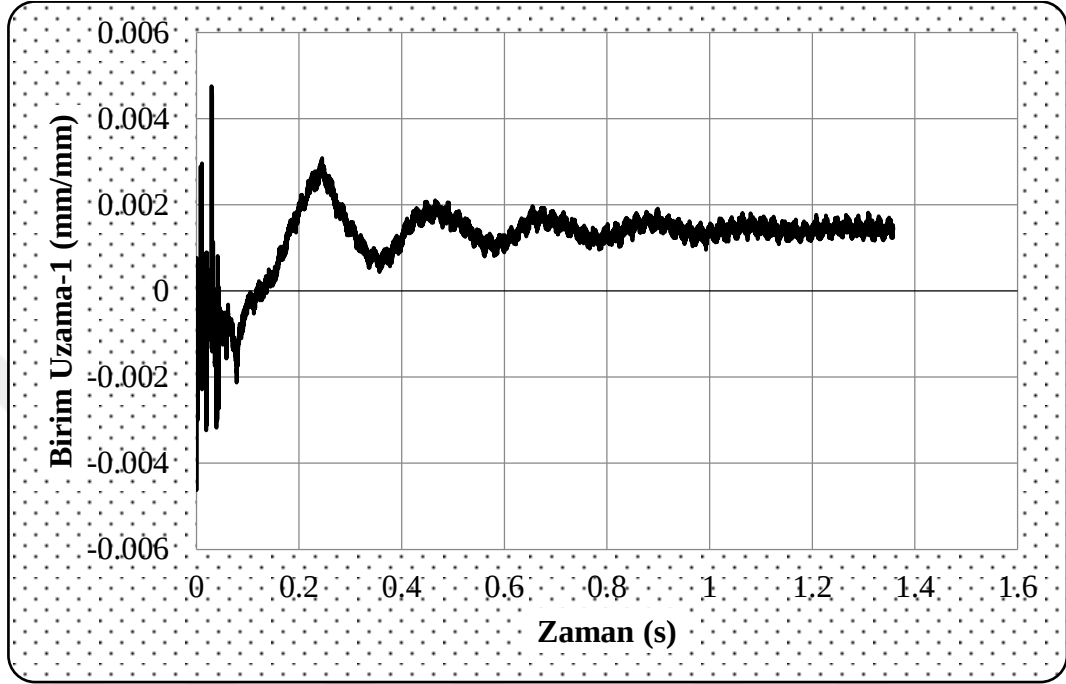
Şekil 4.21. S2 deney elemanına ait kiriş üst yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S2 numunesine ait deney sonrası fotoğraf Şekil 4.22’de görülmektedir. Numune üzerinde gözle görülen çatlak dağılımları kırmızı kalemle daha belirgin hale getirilmiştir.

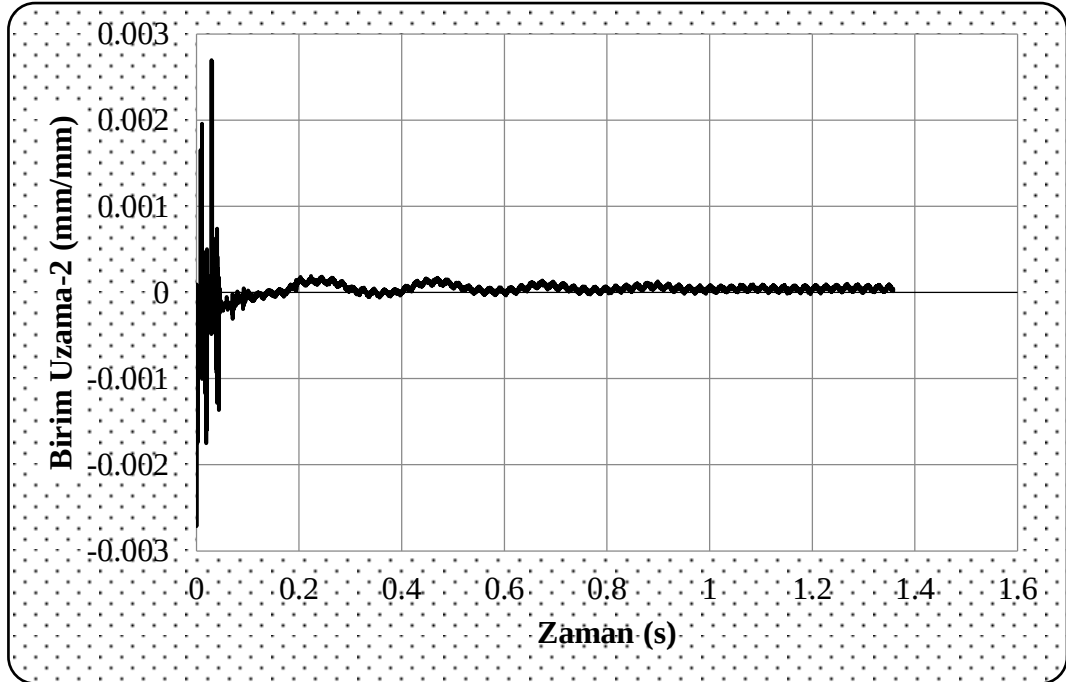


Şekil 4.22. S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S2 deney elemanına 250 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.22’de görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 2 adet strain gauge’ten elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.23 ve 4.24’te verilmiştir.



Şekil 4.23. S2 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.

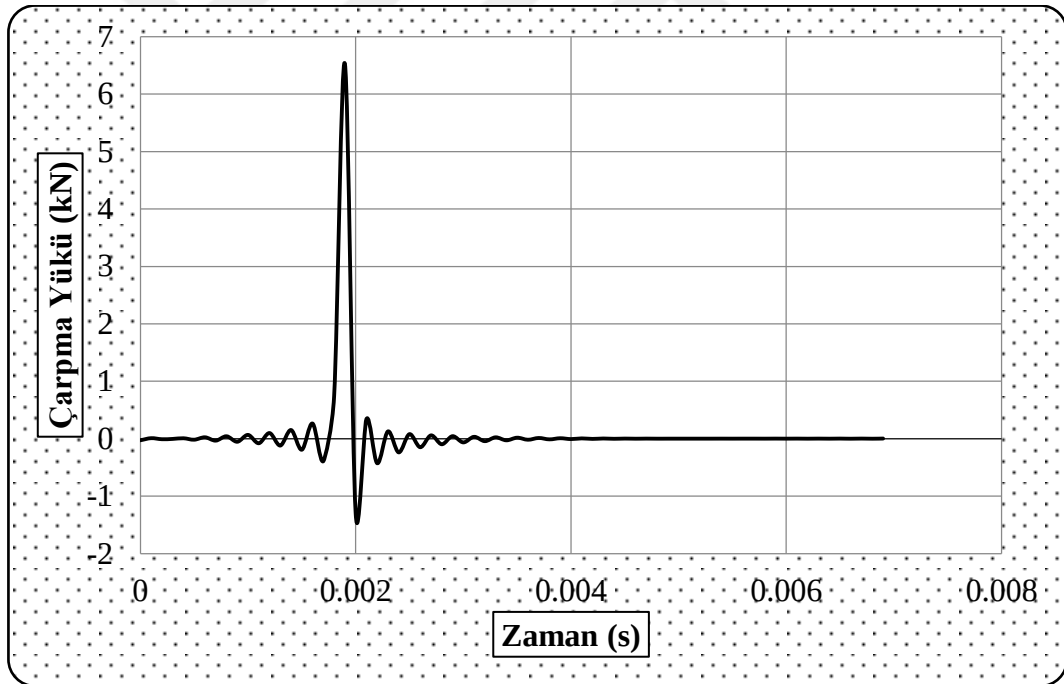


Şekil 4.24. S2 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.

Numuneye ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen birim uzama değerleri sırasıyla 0.009380 ve 0.005411 olarak bulunmuştur. Maksimum birim uzama değeri Şekil 4.23'te verilen ve mesnette en yakın birim uzama-zaman grafiğinden yaklaşık binde dokuz olarak elde edilmiştir.

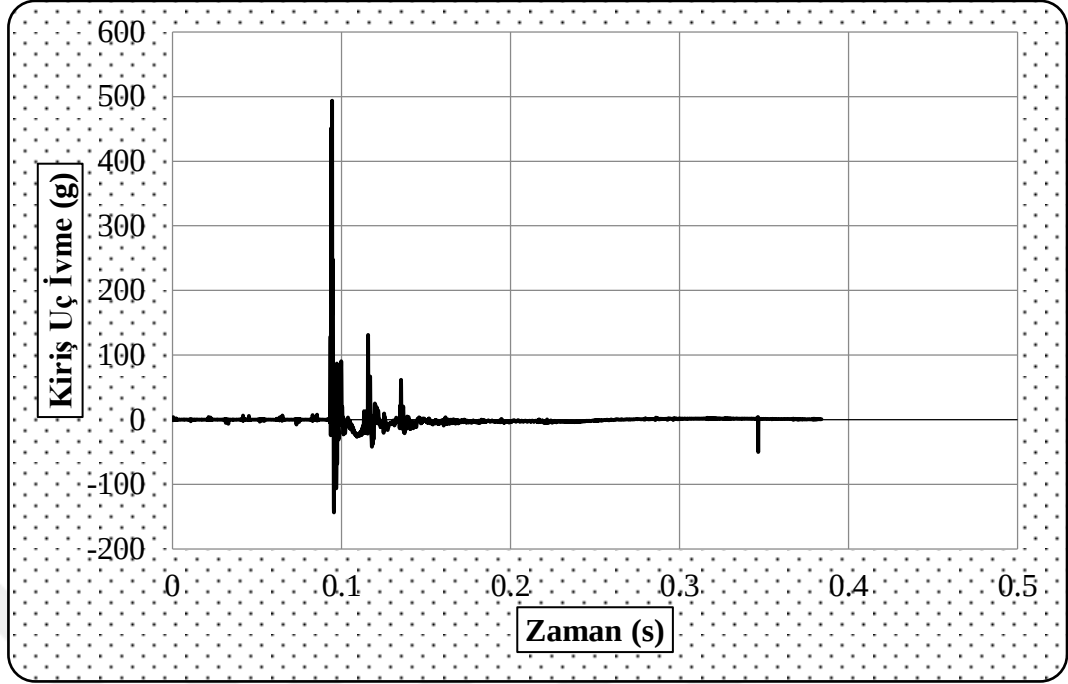
4.3.3. S3 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S3 deney numunesi etriyesiz olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 150 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 500 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.25'te verilen S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 6.53 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



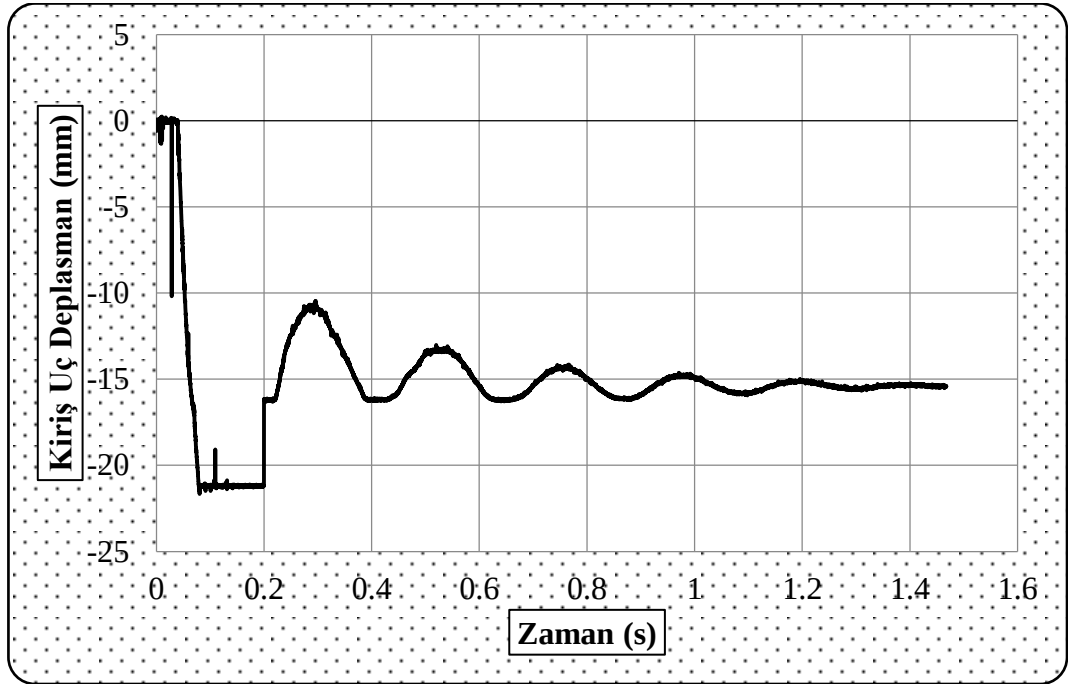
Şekil 4.25. S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.26'da verilen S3 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 493.73 g, minimum değeri -143.62 g olarak ölçülmüştür.



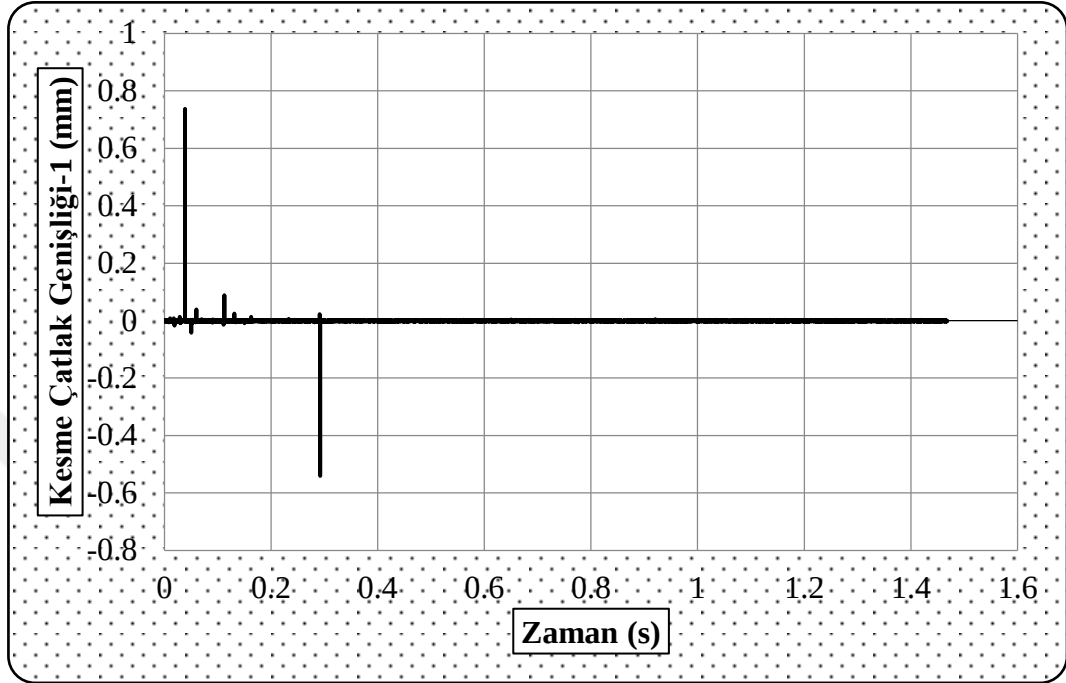
Şekil 4.26. S3 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

Şekil 4.27’de S3 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 21.91 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 15.42 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27. S3 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

S3 deney elemanına ait kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.28 mm olarak hesaplanmıştır.



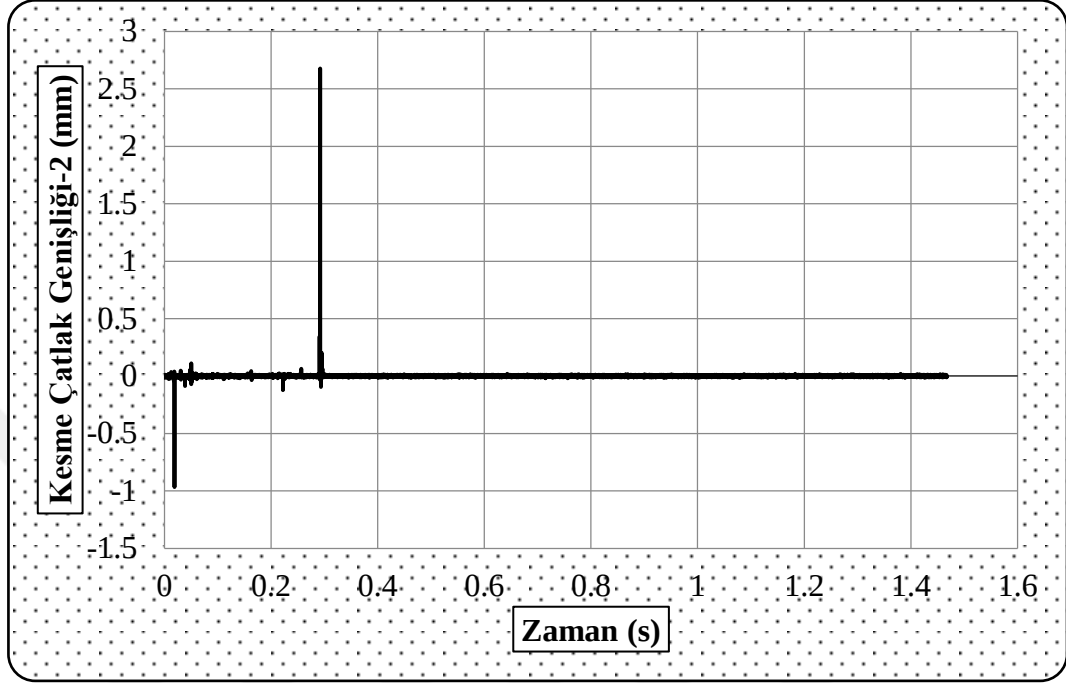
Şekil 4.28. S3 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde Şekil 4.29’da görülen mesnette yakın olan 2 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.30’da verilmiştir. Grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen kesme çatlağı genişliği 3.64 mm olarak hesaplanmıştır.

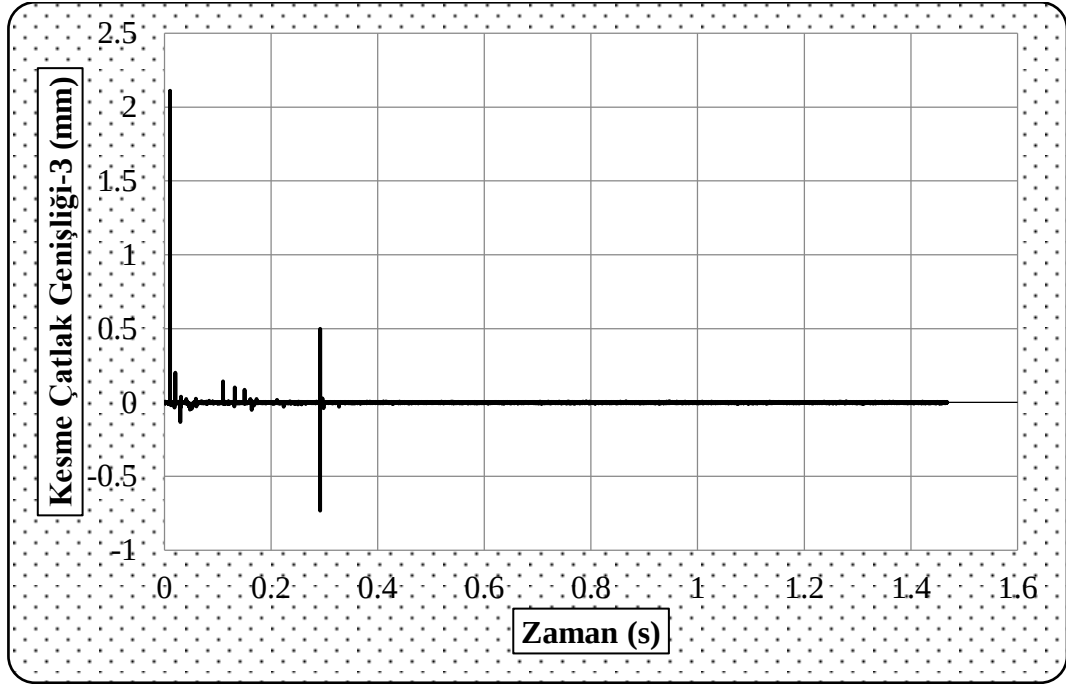


Şekil 4.29. S3 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği.

Kiriş bölgesinde ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 2.84 mm olarak hesaplanmıştır.

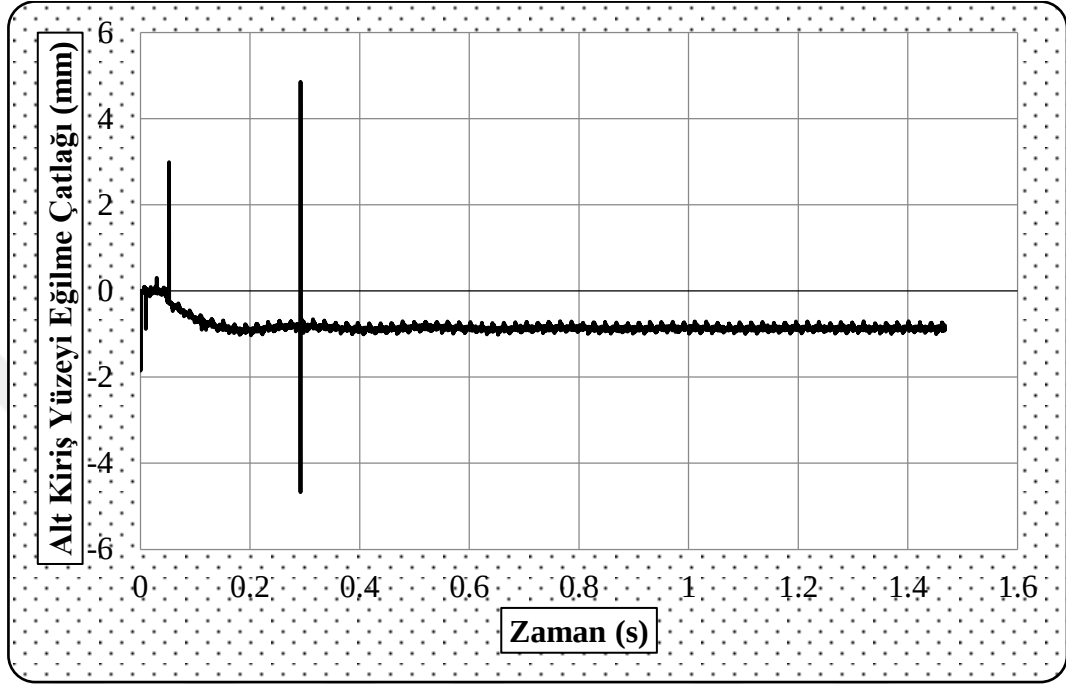


Şekil 4.30. S3 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

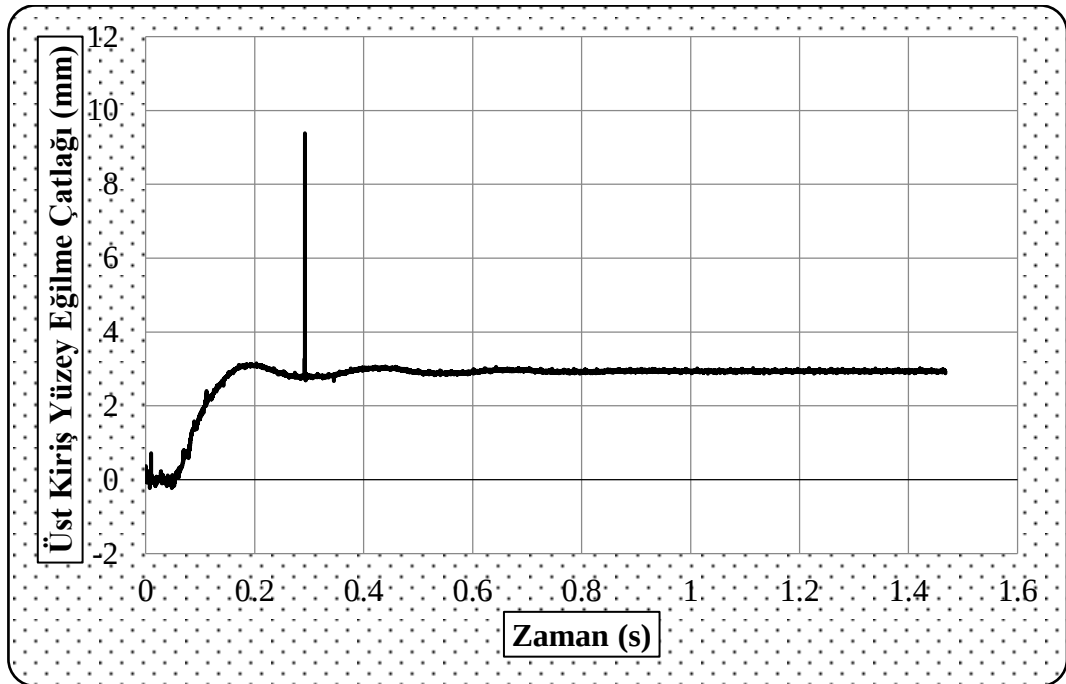


Şekil 4.31. S3 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.

S3 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği Şekil 4.32’de verilen grafikten 9.53 mm olarak, üst yüzey eğilme çatlağı değeri ise Şekil 4.33’te verilen grafikten 9.63 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.32. S3 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.



Şekil 4.33. S3 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S3 numunesine ait deney sonrası çatlak görünümü Şekil 4.34'te verilmiştir. Numune üzerinde yapılan görsel muayenede üst kısımlarda çatlakların yanında birde betondan kopmalar olduğu görülmüştür.



Şekil 4.34. S3 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

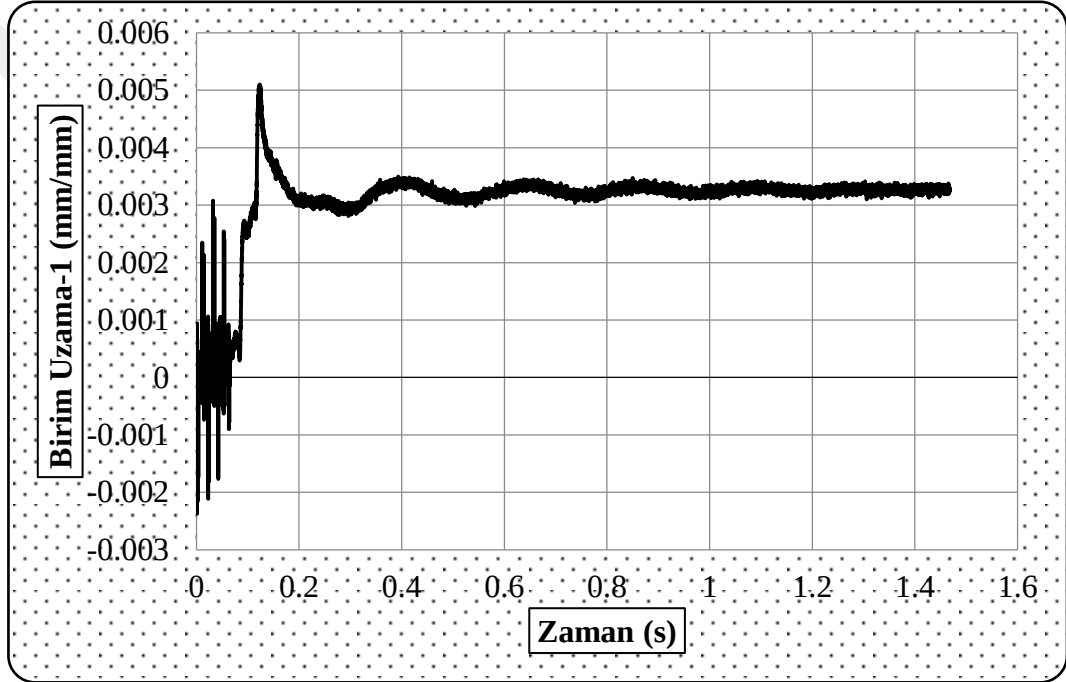
S1 deney elemanına 150 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.35'te görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 3 adet strain gauge'ten elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.36-4.38'de verilmiştir.



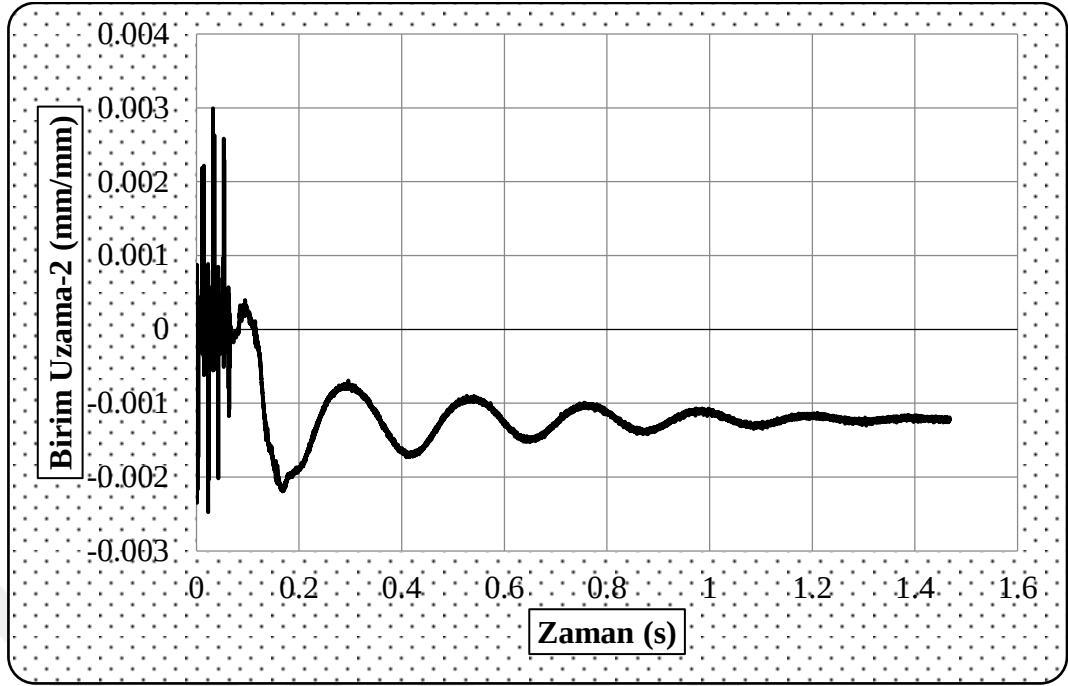
Şekil 4.35. S3 deney elemanına yapıştırılan strain gauge'ler.

S3 deney numunesine ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen birim uzama değerleri sırasıyla birim uzama1-zaman grafiğinden 0.007478, birim uzama2-zaman grafiği 0.005471 ve birim uzama3-zaman grafiğinden ise 0.002686 olarak hesaplanmıştır. Maksimum birim uzama değeri Şekil 4.36'da verilen birim uzama1-zaman grafiğinden 0.007478 mm olarak elde edilmiştir.

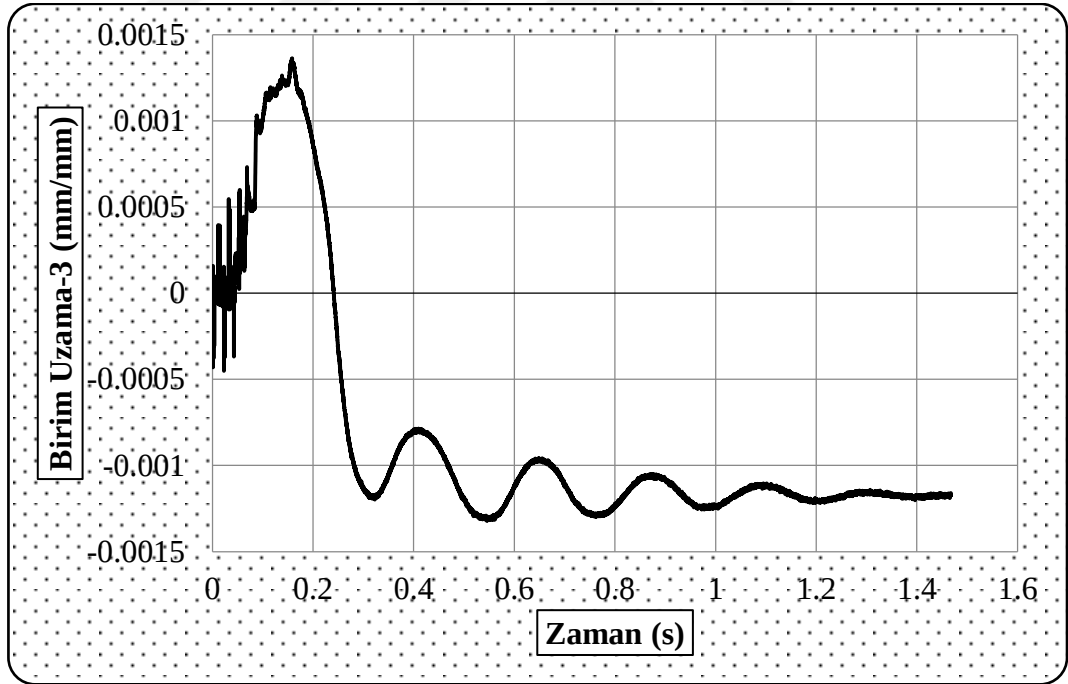
S3 numunesine ait birim uzama – zaman değerleri S1 ve S2 numunelerinde olduğu gibi çarpma noktasına en uzak ve mesnette en yakın uygulanan CFRP şeridi üzerinden elde edilmiştir.



Şekil 4.36. S3 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.



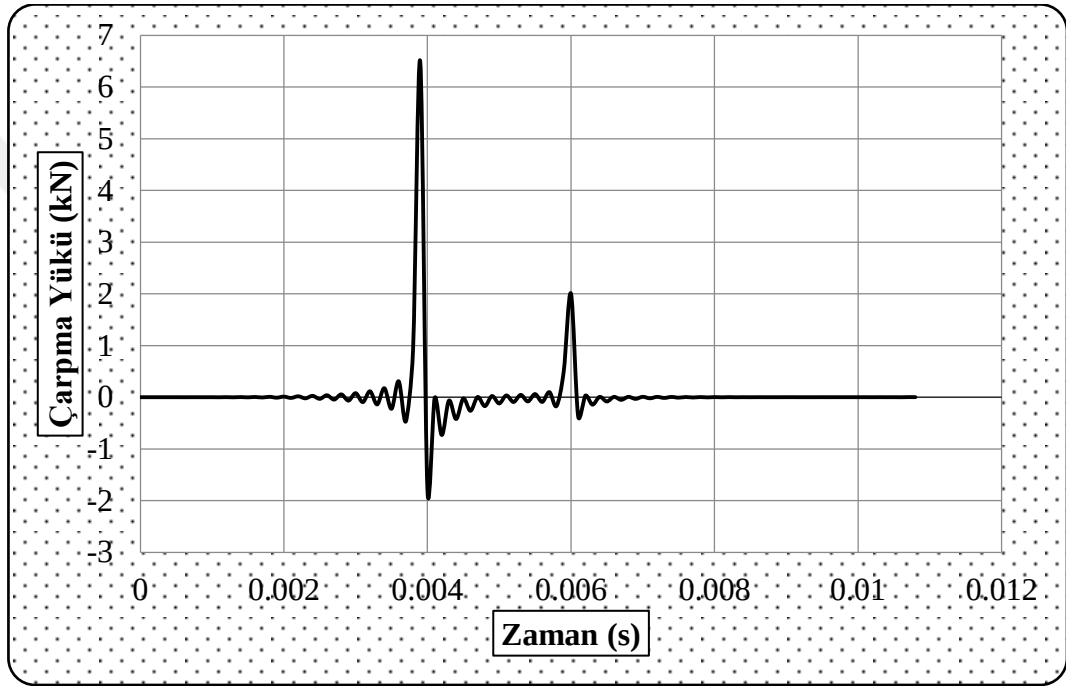
Şekil 4.37. S3 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.



Şekil 4.38. S3 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.

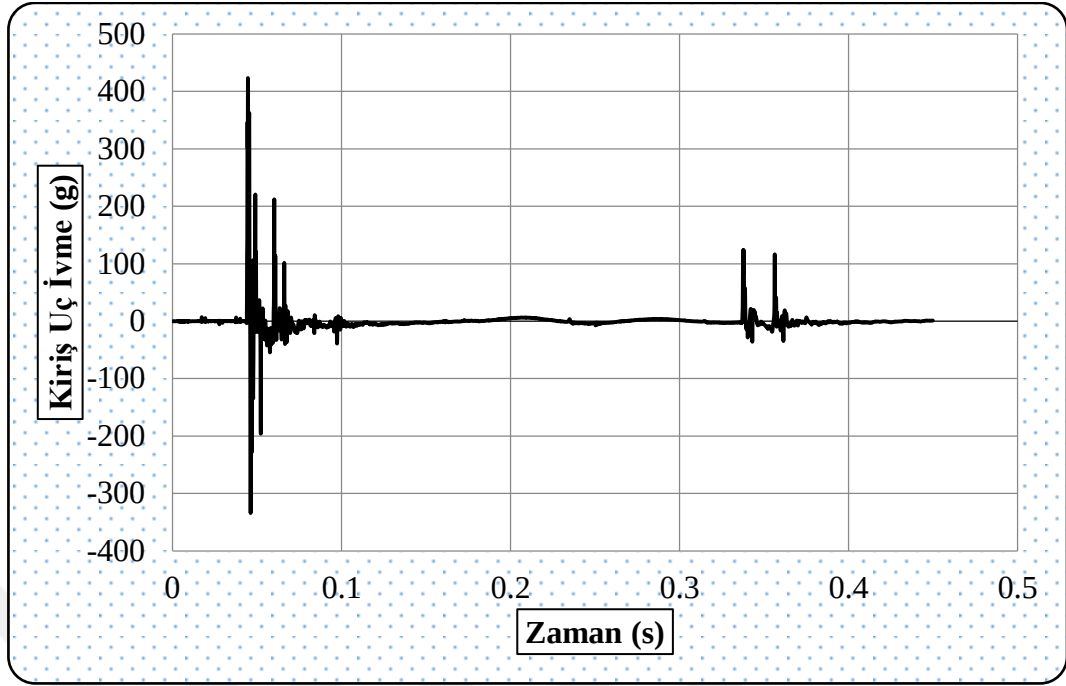
4.3.4. S4 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S4 deney numunesi etriyesiz olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 250 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 500 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.39'da verilen S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 6.49 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



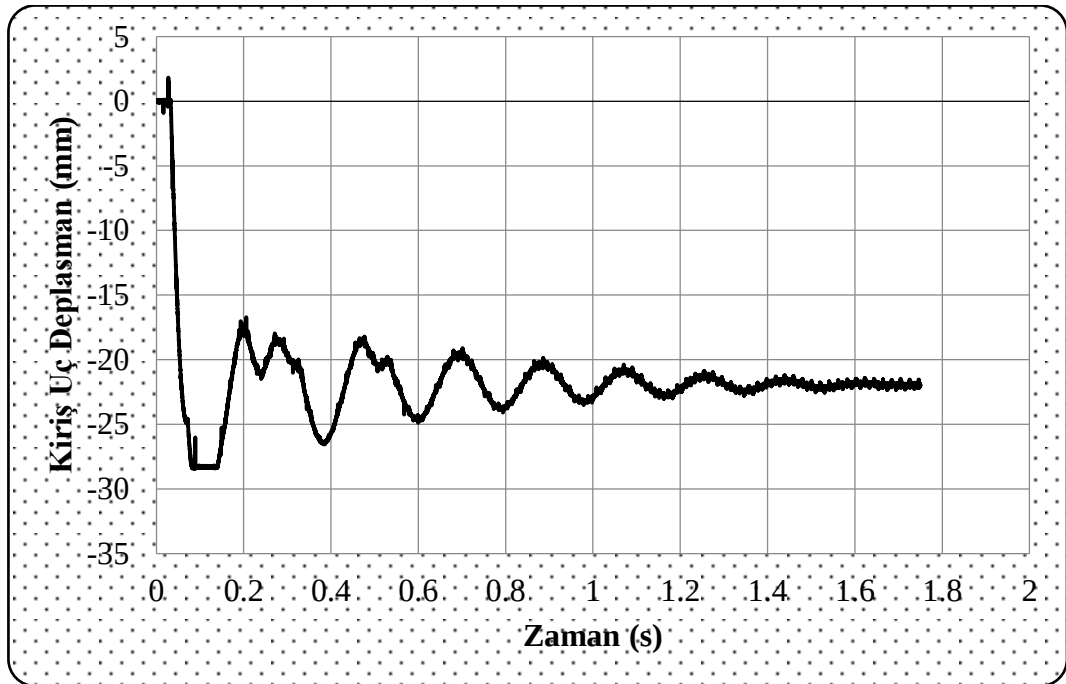
Şekil 4.39. S4 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.40'ta verilen S4 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 423.39 g, minimum değeri -334.14 g olarak ölçülmüştür.



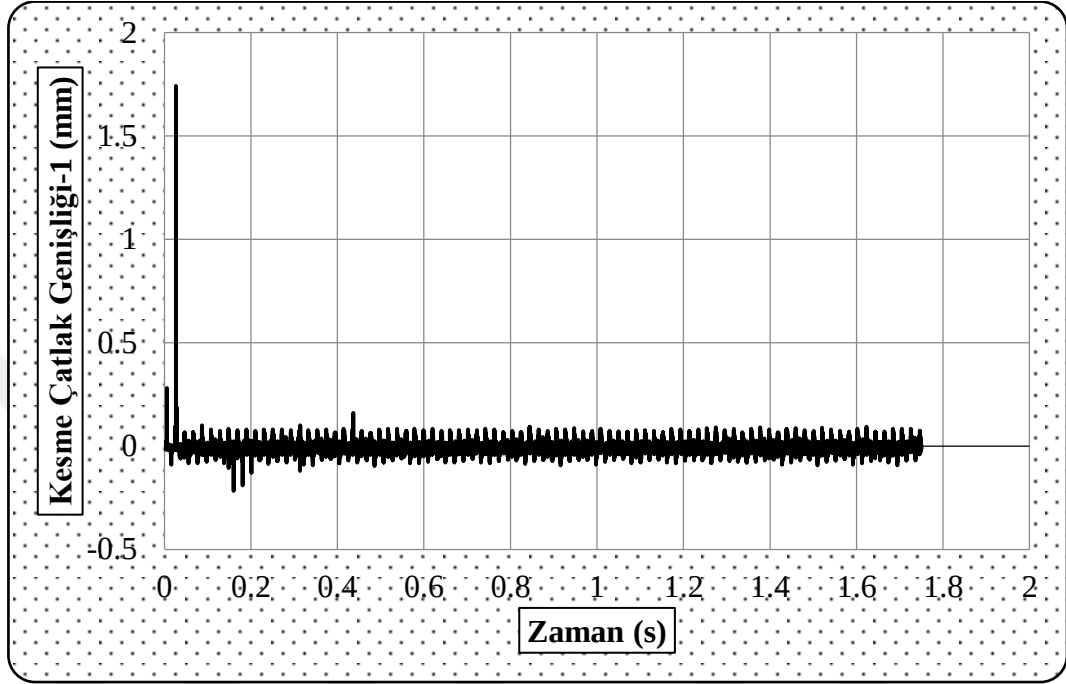
Şekil 4.40. S4 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

S4 deney elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği Şekil 4.41’de verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 30.29 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 22.02 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.41. S4 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

Kolon bölgesinde Şekil 4.43'te görülen 1 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.96 mm olarak hesaplanmıştır.



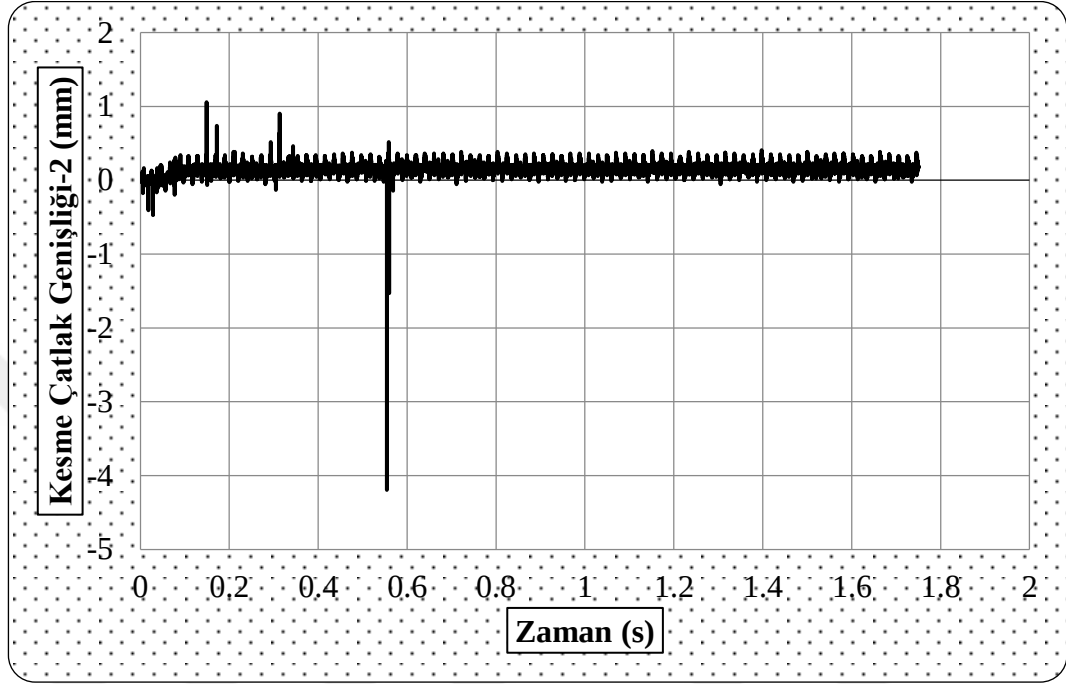
Şekil 4.42. S4 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde Şekil 4.43'te görülen mesnette yakın olan 2 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.44'te verilmiştir. Grafikten okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen kesme çatlağı genişliği 5.25 mm olarak hesaplanmıştır.

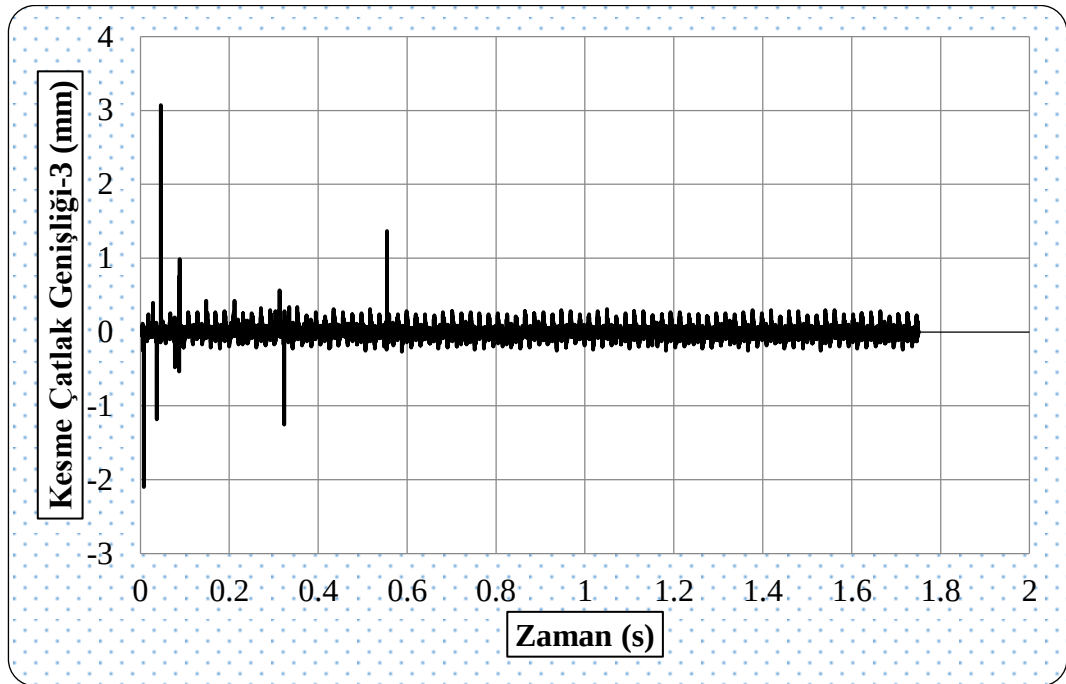


Şekil 4.43. S3 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği.

Kiriş bölgesinde 3 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı3-zaman grafiği Şekil 4.45'te verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 5.17 mm olarak belirlenmiştir.

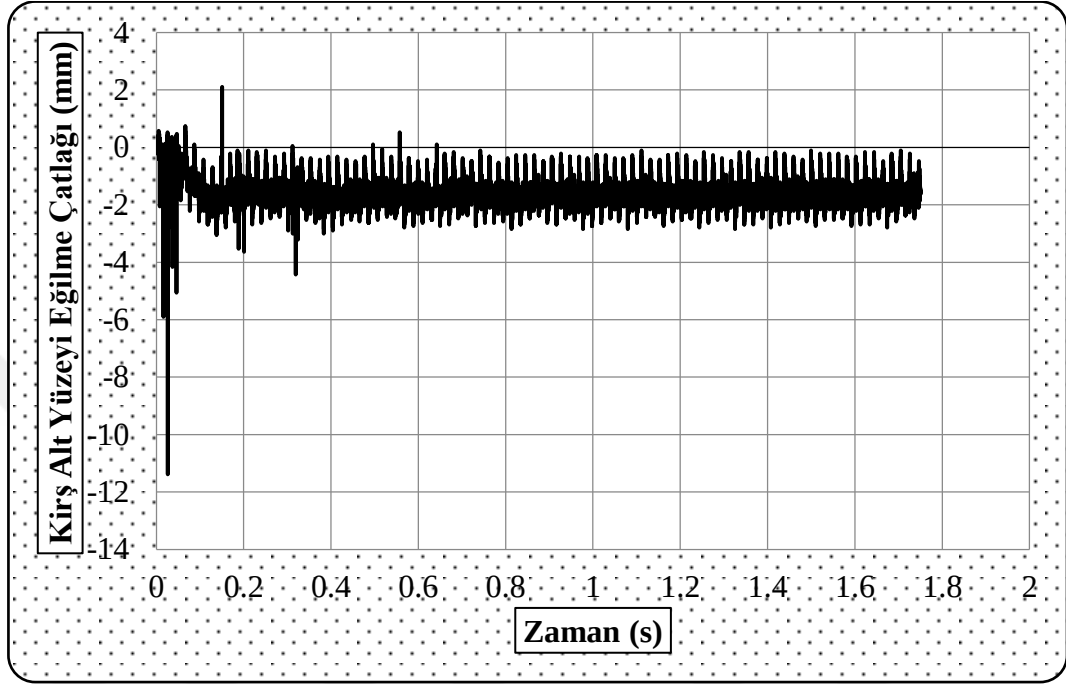


Şekil 4.44. S4 deney elemanına ait kiriş yüzey çatlağı2-zaman grafiği.

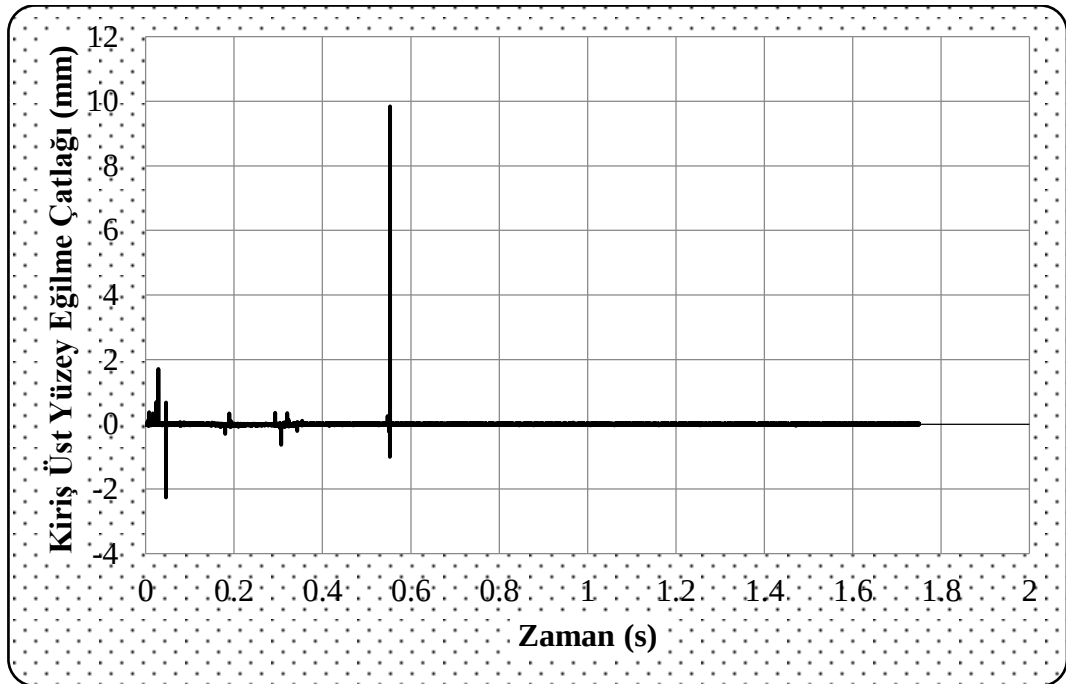


Şekil 4.45. S4 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.

S4 deney elemanına ait Şekil 4.46 ve 4.47’de verilen kiriş alt – üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiklerinden elde edilen değerler sırasıyla 13.50 mm ve 12.11 mm olarak elde edilmiştir.

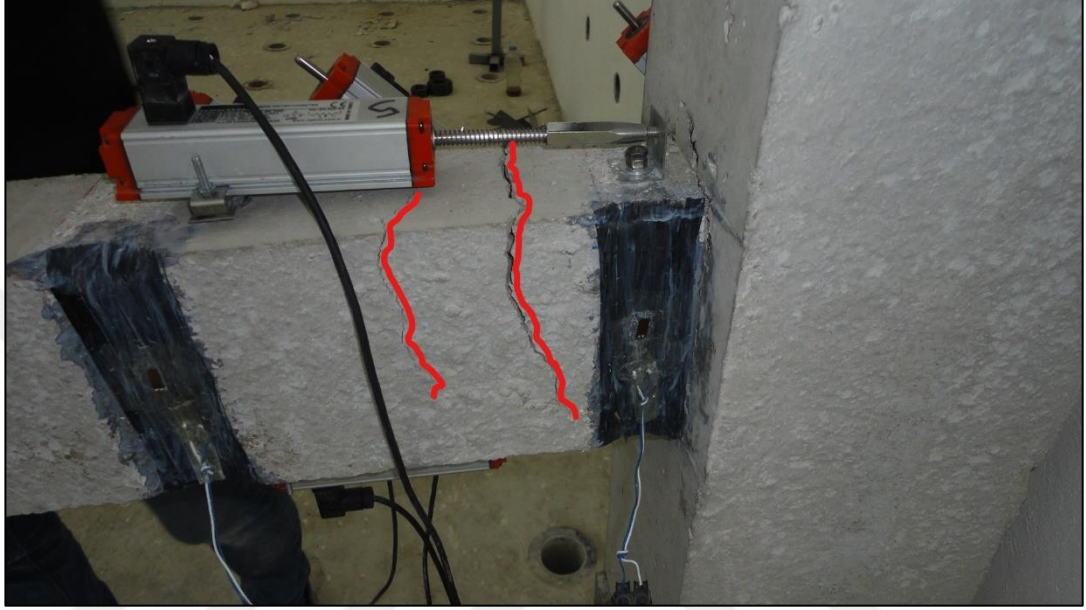


Şekil 4.46. S4 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.



Şekil 4.47. S4 deney elemanına ait üst kiriş yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.

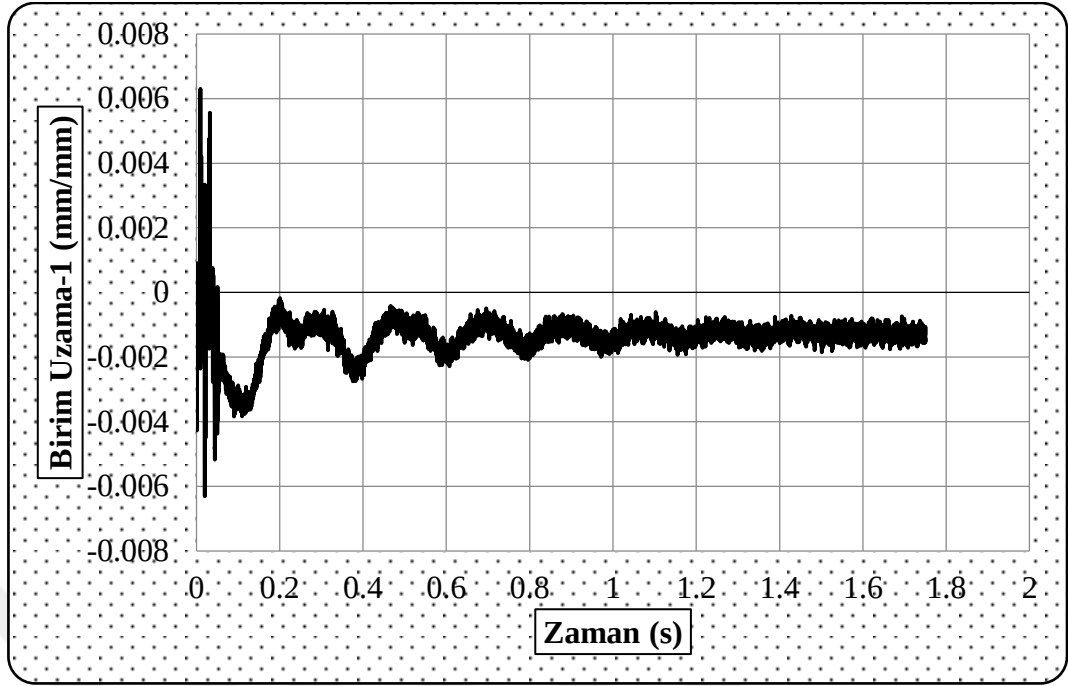
S4 numunesine ait deney sonrası çatlak görünüşleri Şekil 4.48’de verilmiştir. Numune üzerinde yapılan görsel muayenede çatlak dağılımları kırmızı kalemle belirlenmiştir. Mesnette yakın çatlakta genişliğin daha fazla olduğu görülmektedir.



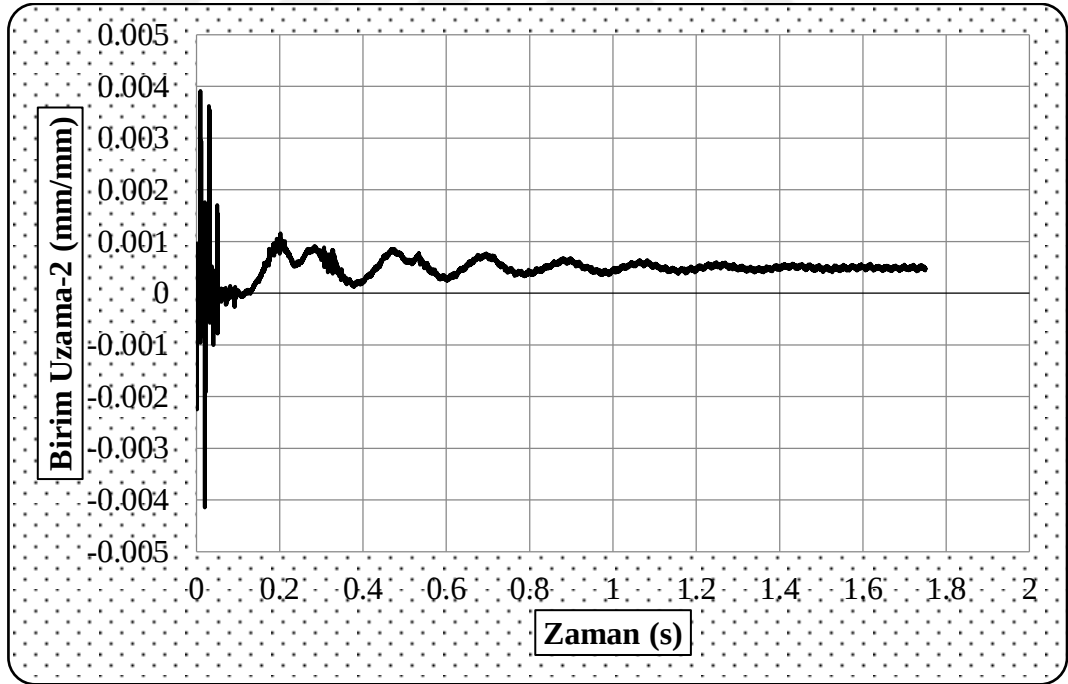
Şekil 4.48. S4 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S4 deney elemanına 250 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.48’de görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 2 adet strain gauge’ten elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.49 ve 4.50’de verilmiştir.

S4 deney numunesine ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilen birim uzama değerleri sırasıyla birim uzama1-zaman grafiğinden 0.01261, birim uzama2-zaman grafiği 0.00805 olarak hesaplanmıştır. Maksimum birim uzama değeri Şekil 4.36’da verilen birim uzama1-zaman grafiğinden 0.01261 mm olarak elde edilmiştir.



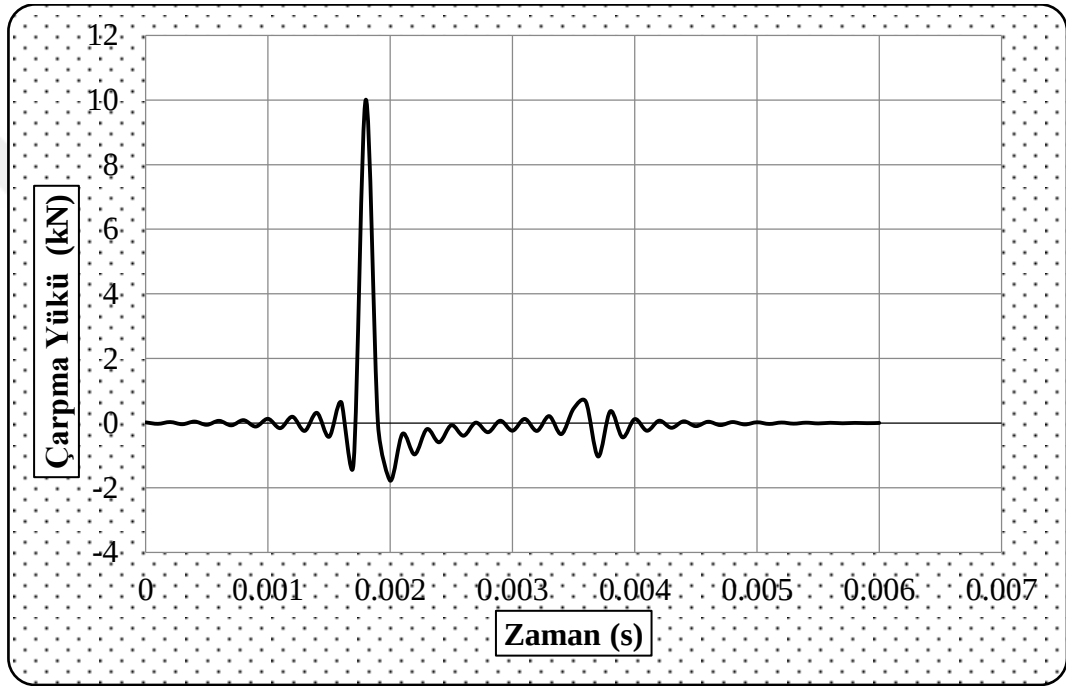
Şekil 4.49. S4 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.



Şekil 4.50. S4 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.

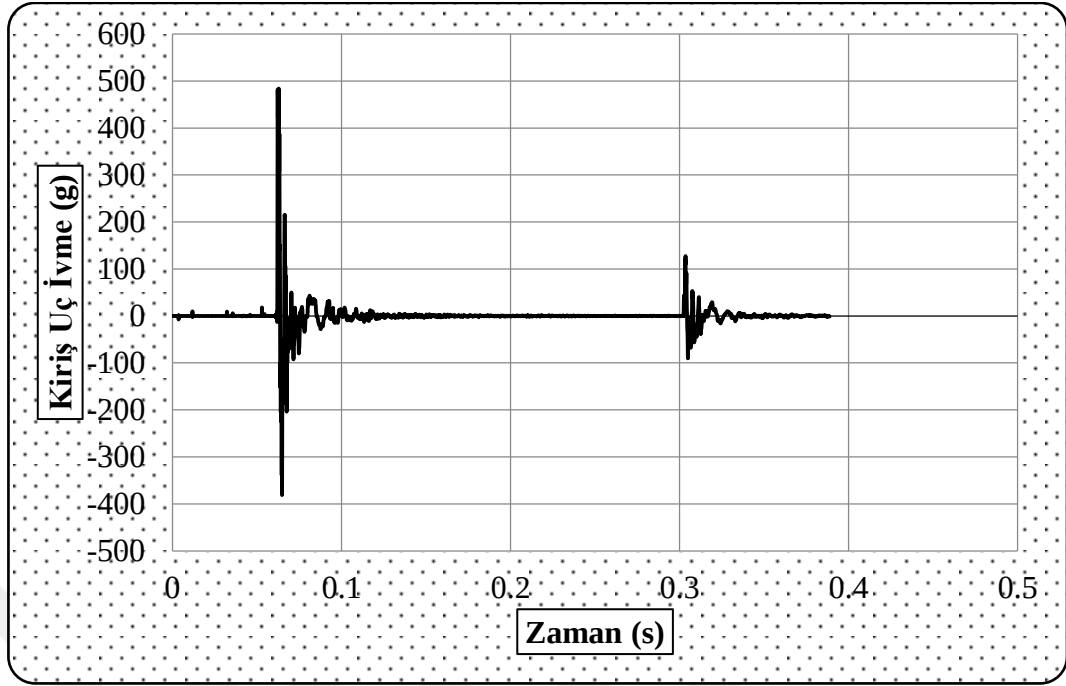
4.3.5. S5 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S5 deney numunesi 300 mm etriyeli olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 150 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 750 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.51'de verilen S5 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 10.01 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



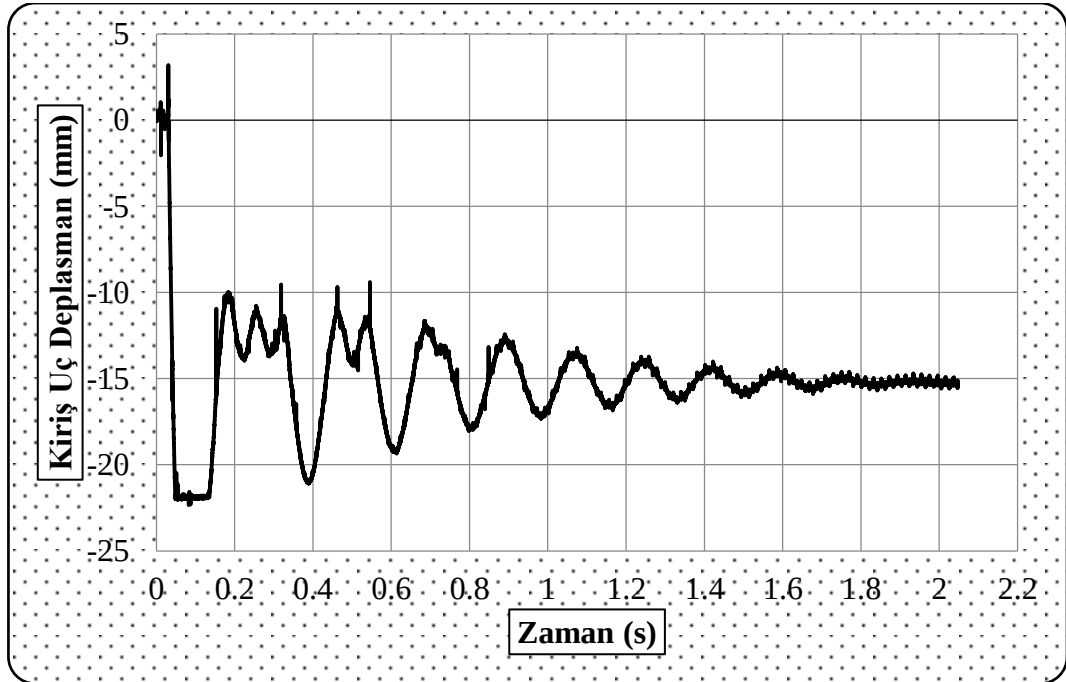
Şekil 4.51. S5 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.52'de verilen S5 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 483.99 g, minimum değeri -381.19 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.52 S5 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

S5 deney elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği Şekil 4.53'te verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 25.54 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 15.45 mm olarak belirlenmiştir.

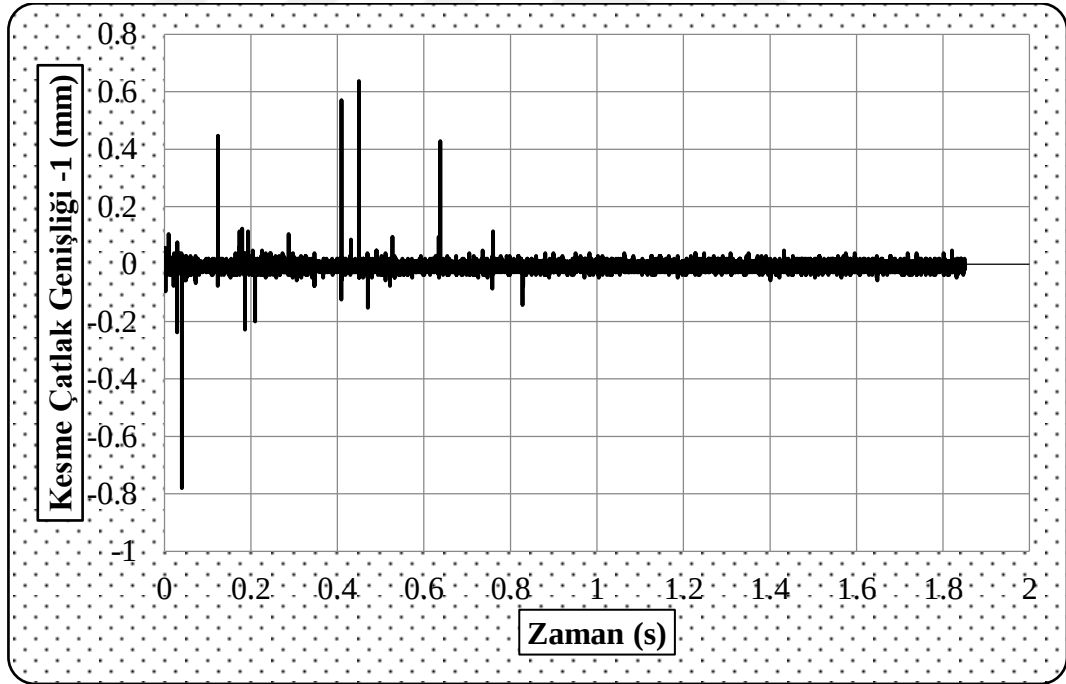


Şekil 4.53. S5 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

Kolon bölgesinde Şekil 4.54'te görülen 1 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.55'te verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.42 mm olarak hesaplanmıştır.



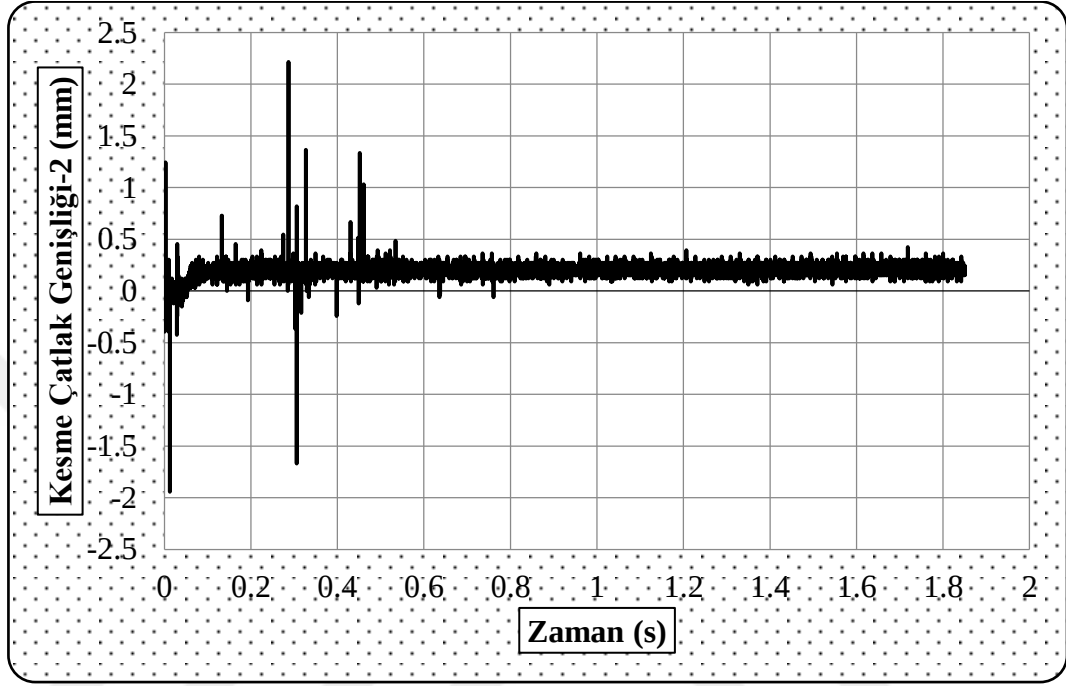
Şekil 4.54. S5 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği.



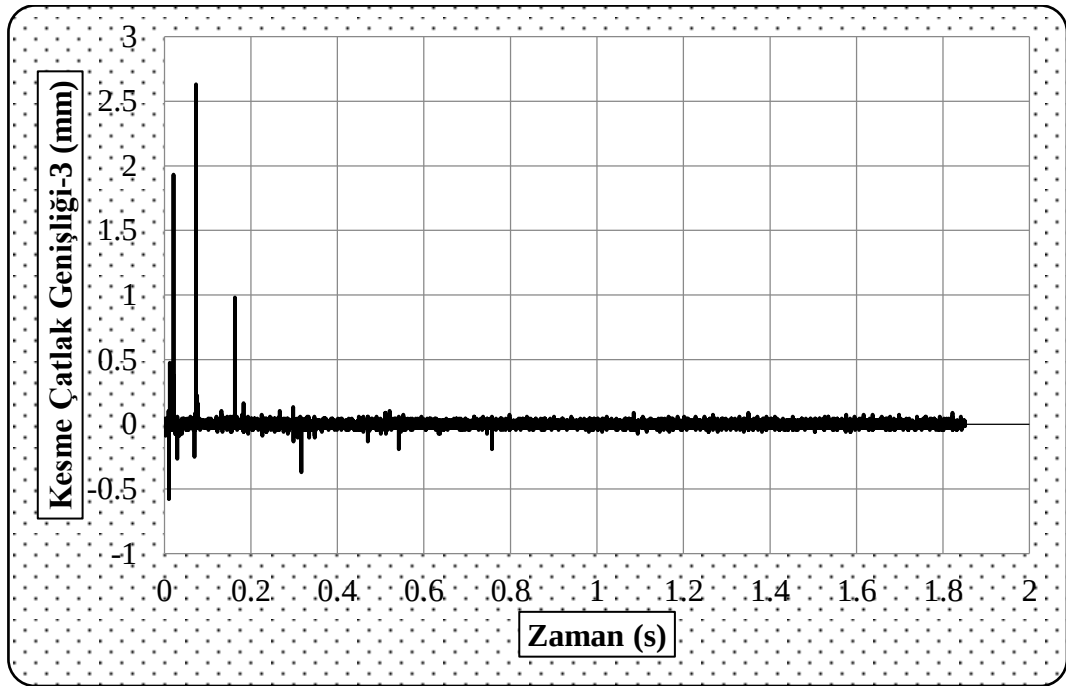
Şekil 4.55. S5 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde Şekil 4.54'te görülen mesnette yakın olan 2 nolu potansiyometrik cetveldən ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.56'da verilmiştir. Grafikten okunan kesme çatlağı genişliği 4.16 mm olarak hesaplanmıştır.

Kiriş bölgesinde 3 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.57’de verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 3.21 mm olarak belirlenmiştir.

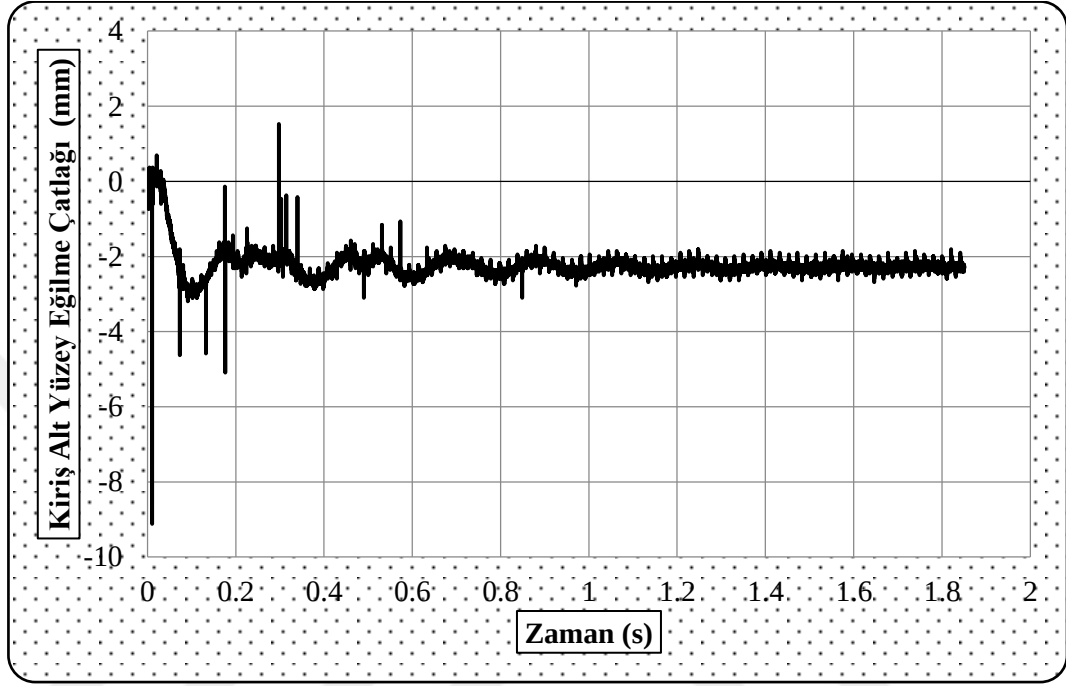


Şekil 4.56. S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

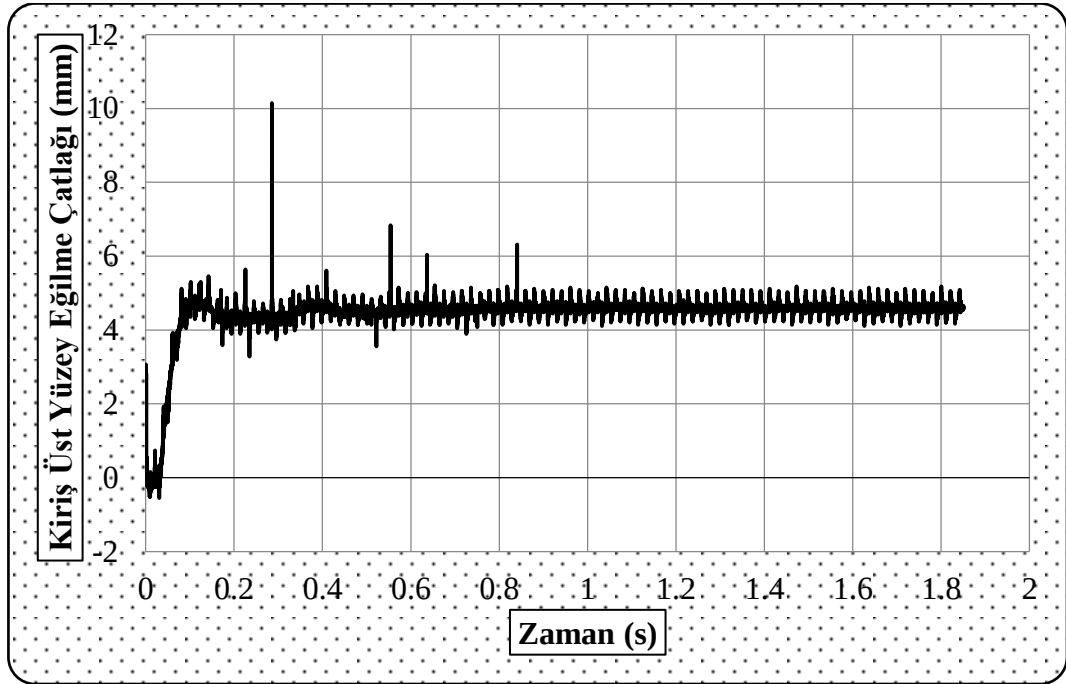


Şekil 4.57. S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.

S5 deney elemanında 4 - 5 nolu potansiyometrik cetvellerden ölçülen ve Şekil 4.58 - 4.59'de verilen kiriş alt – üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiklerinden elde edilen değerler sırasıyla 10.65 mm ve 10.70 mm olarak elde edilmiştir.

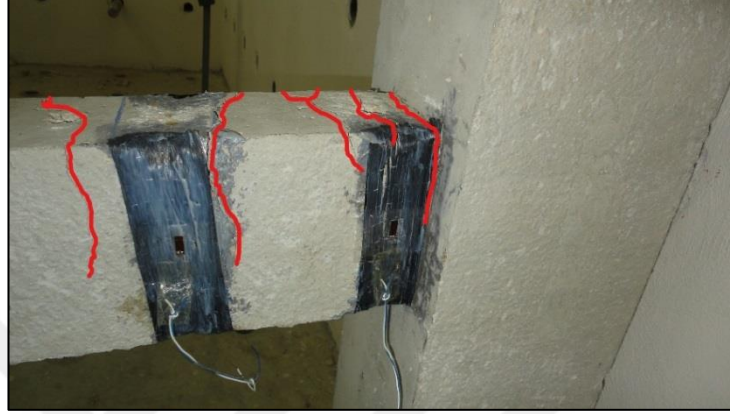


Şekil 4.58. S5 deney elemanına ait kiriş alt yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.



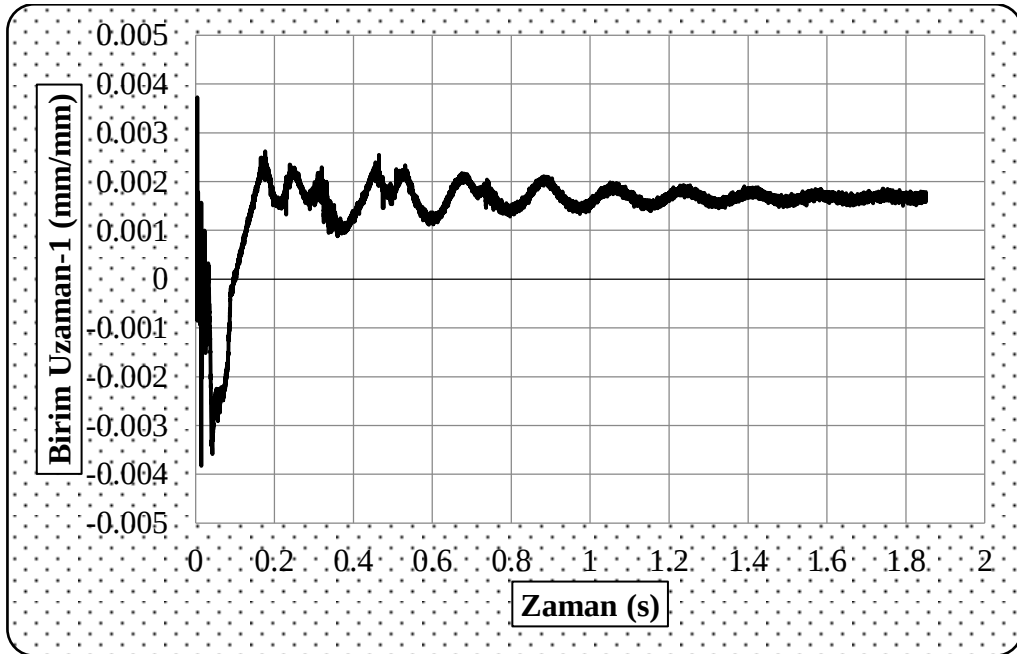
Şekil 4.59. S5 deney elemanına ait kiriş üst yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S5 numunesine ait deney sonrası çatlak görünümü Şekil 4.60'ta verilmiştir. S5 deney elemanına 150 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.60'ta görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 3 adet strain gauge'ten elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.61-63'te verilmiştir.



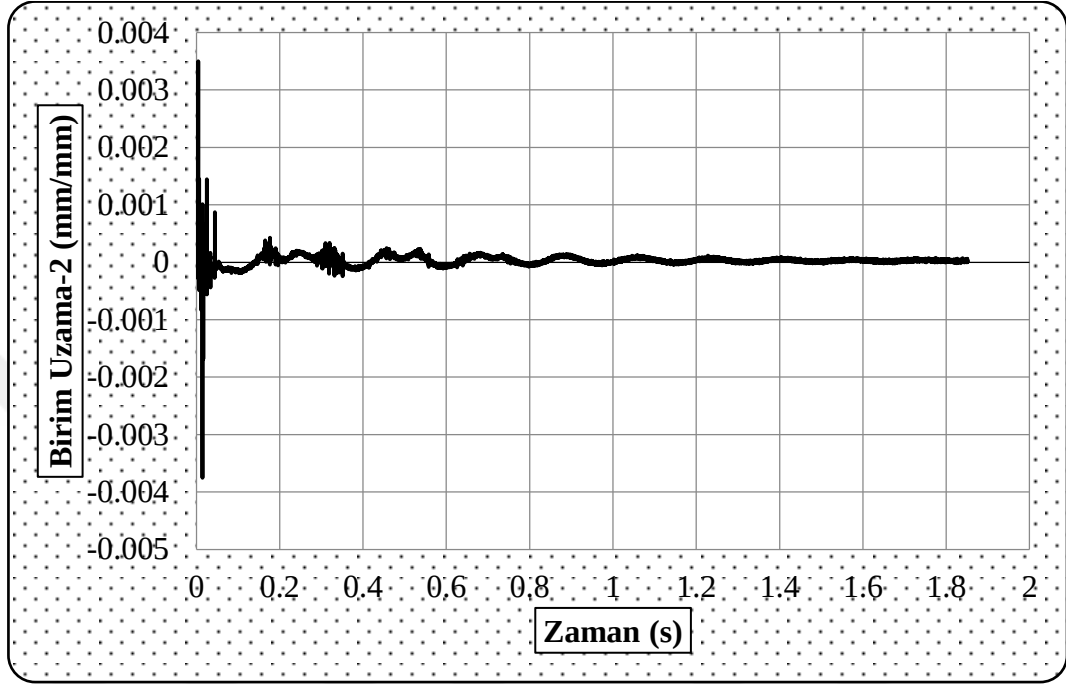
Şekil 4.60. S5 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S5 deney numunesine ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilmiştir.

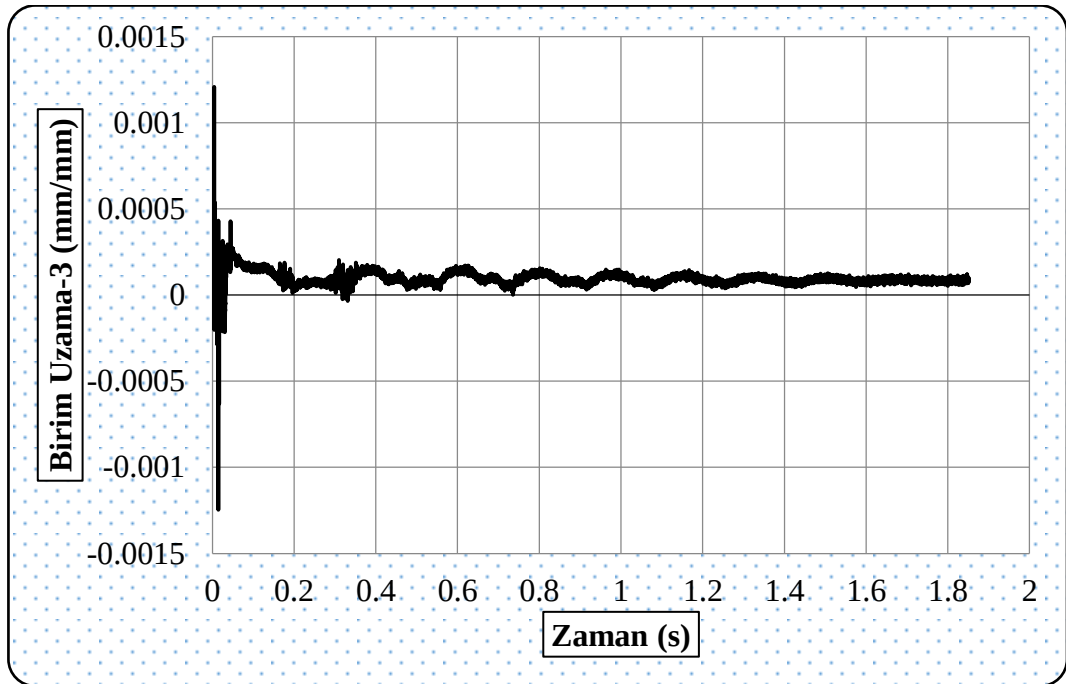


Şekil 4.61. S5 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.

Birim uzama değerleri sırasıyla Şekil 4.61'den 0.007558, Şekil 4.62'den 0.007253 ve Şekil 4.63'ten 0.002455 olarak hesaplanmıştır. Maksimum birim uzama değeri birim uzama1-zaman grafiğinden 0.007558 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.62. S5 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.



Şekil 4.63. S5 deney elemanına ait birim uzama3-zaman grafiği.

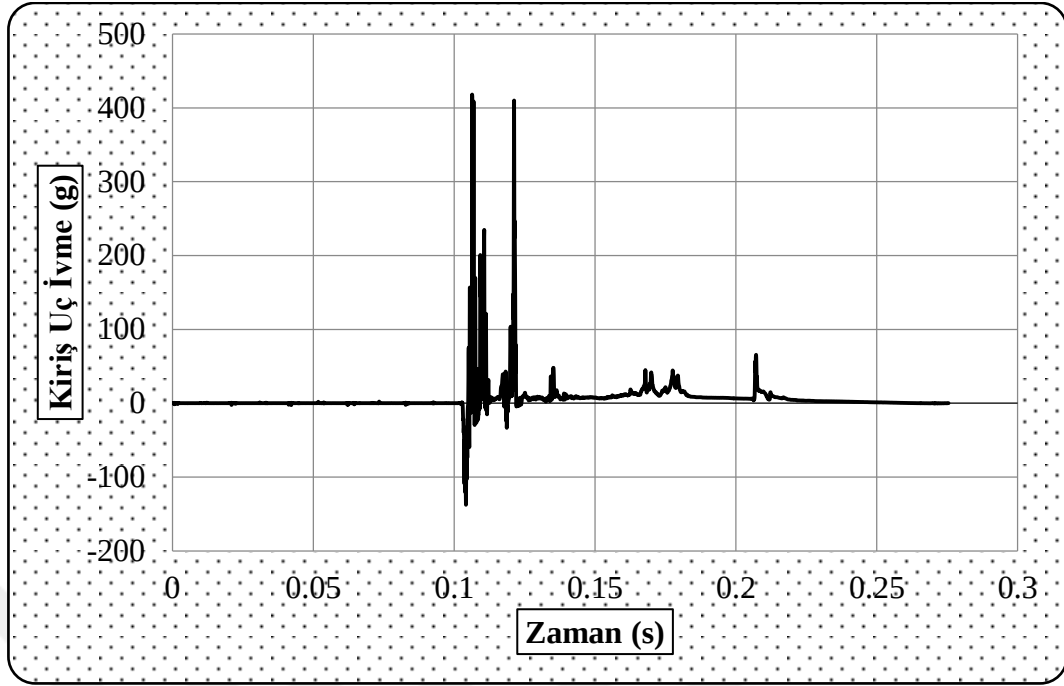
4.3.6. S6 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S6 deney numunesi 300 mm etriyeli olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 250 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 750 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.64'te verilen S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 10.00 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



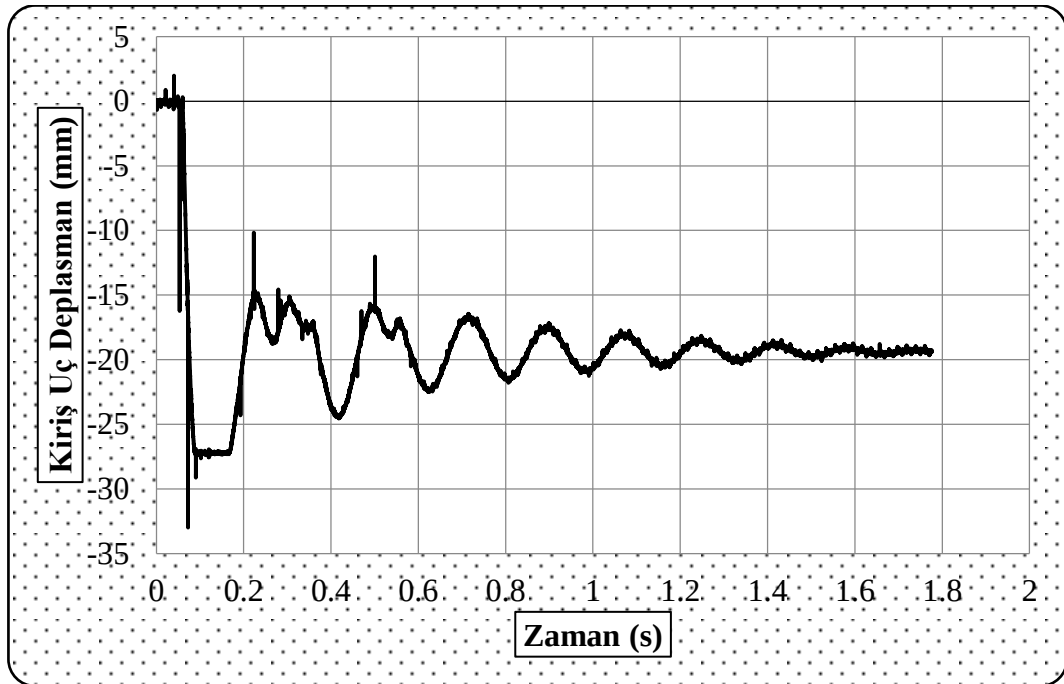
Şekil 4.64. S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yükleme sonucunda Şekil 4.65'te verilen S6 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 418,04 g, minimum değeri -137.60 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.65. S6 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

S6 deney elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği Şekil 4.66’da verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 34.98 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 19.28 mm olarak belirlenmiştir.

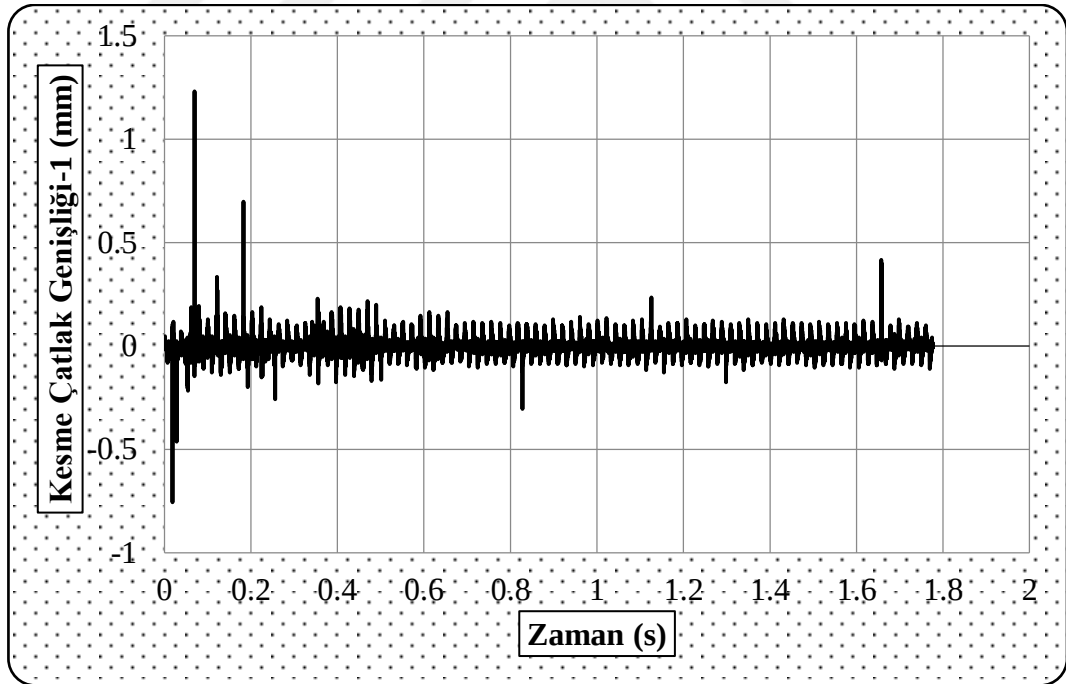


Şekil 4.66. S6 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

Kolon bölgesinde Şekil 4.67’te görülen 1 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.68’te verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.99 mm olarak hesaplanmıştır.



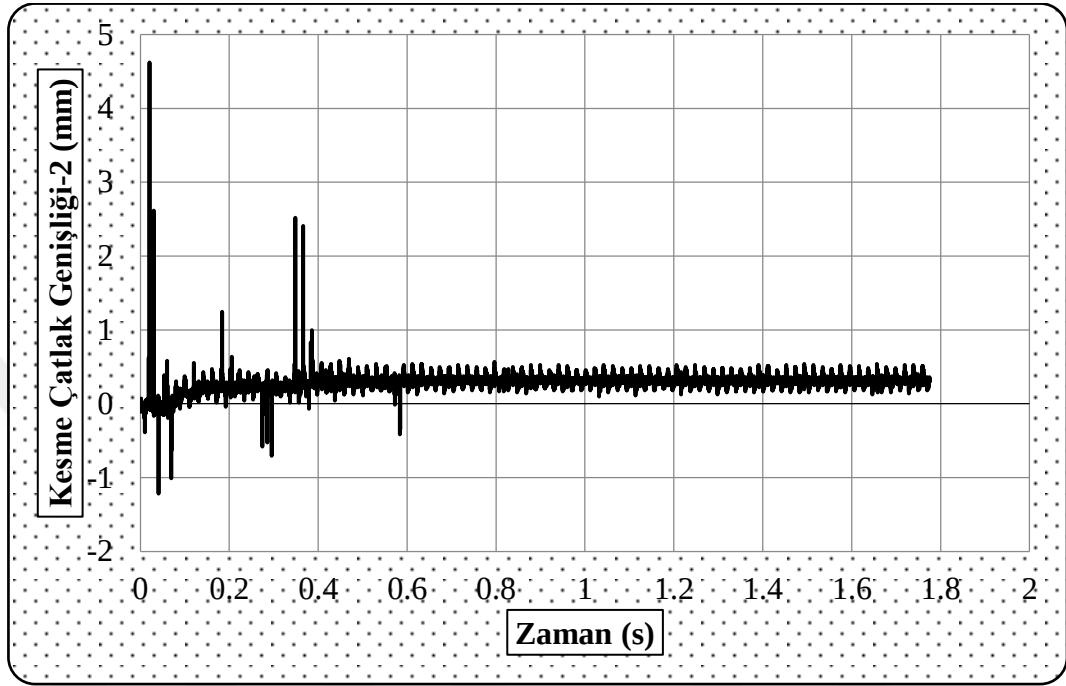
Şekil 4.67. S6 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği.



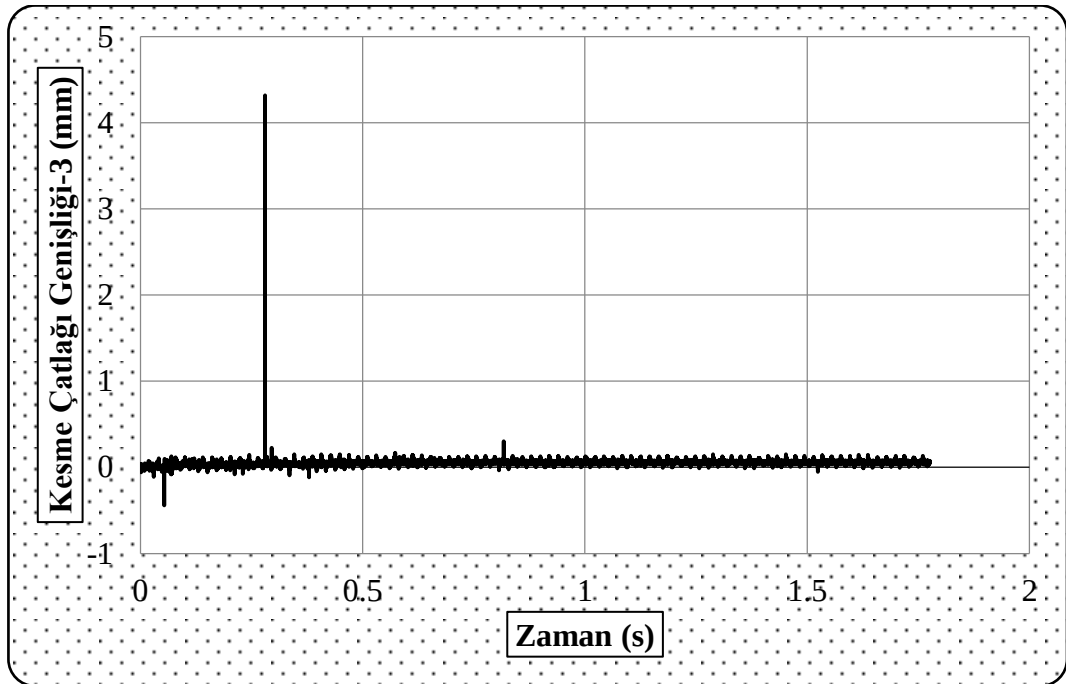
Şekil 4.68. S6 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde Şekil 4.67’de görülen ve mesnette yakın olan 2 nolu potansiyometrik cetveldен ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.69’da verilmiştir. Grafikten okunan kesme çatlağı genişliği 5.84 mm olarak hesaplanmıştır.

Kiriş bölgesinde 3 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.70’te verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 4.76 mm olarak belirlenmiştir.

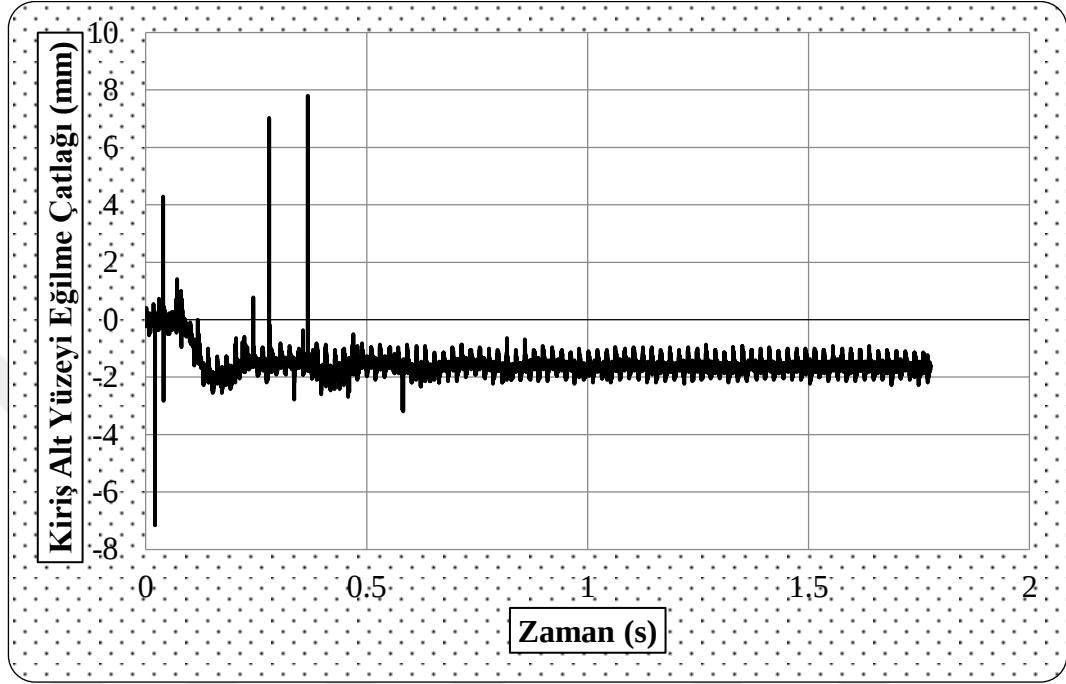


Şekil 4.69. S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

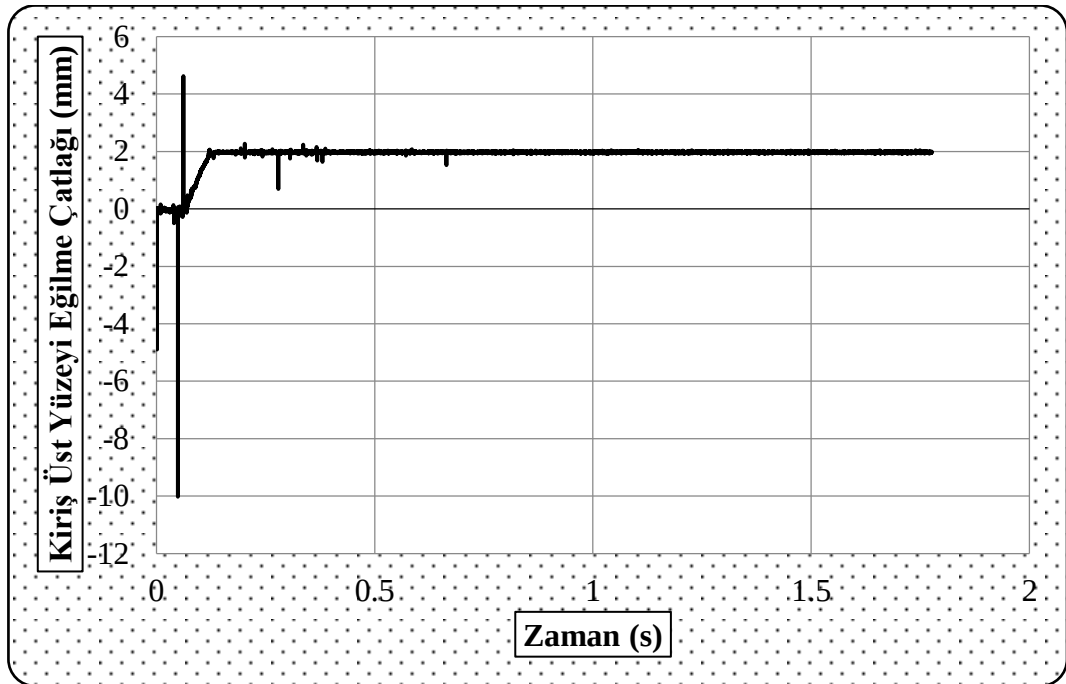


Şekil 4.70. S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

S6 deney elemanında 4 - 5 nolu potansiyometrik cetvellerden ölçülen ve Şekil 4.71 – 4.72’de verilen kiriş alt – üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiklerinden elde edilen değerler sırasıyla 14.96 mm ve 14.65 mm olarak elde edilmiştir.

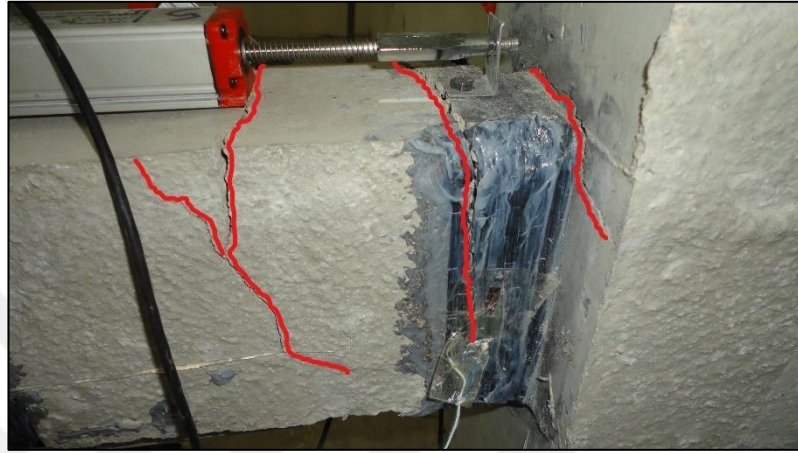


Şekil 4.71. S6 deney elemanına ait alt kiriş yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.



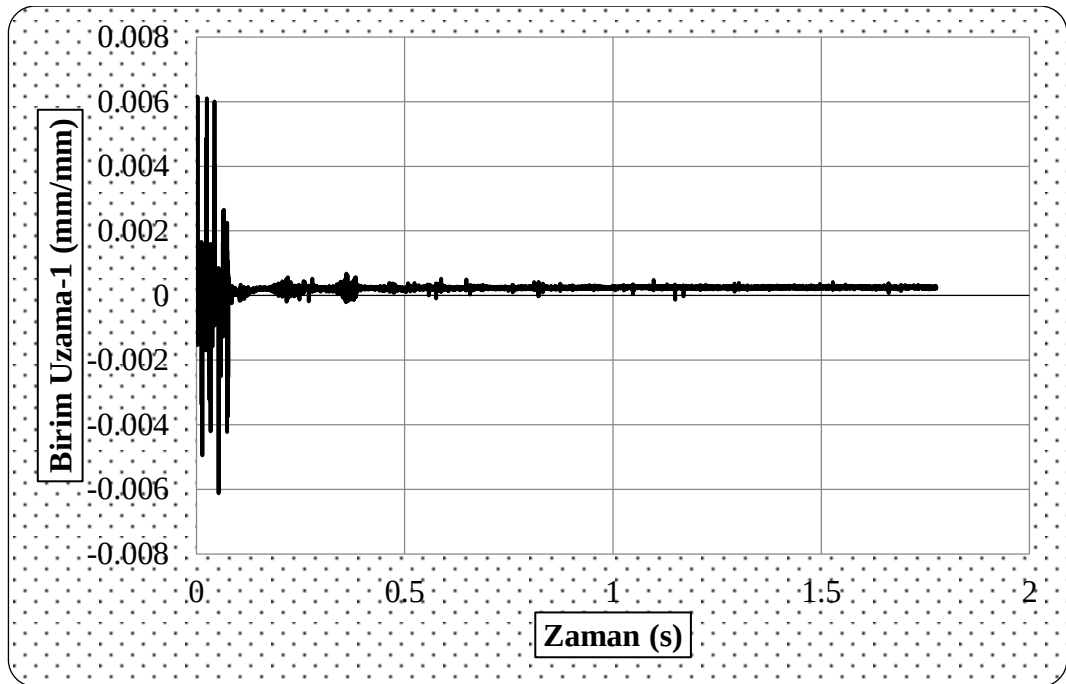
Şekil 4.72. S6 deney elemanına ait üst kiriş yüzeyi eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S6 numunesine ait deney sonrası çatlak görünüşleri Şekil 4.73'te verilmiştir. S6 deney elemanına 250 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.73'te görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 2 adet strain gauge'ten sadece birinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.74 verilmiştir.



Şekil 4.73. S6 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

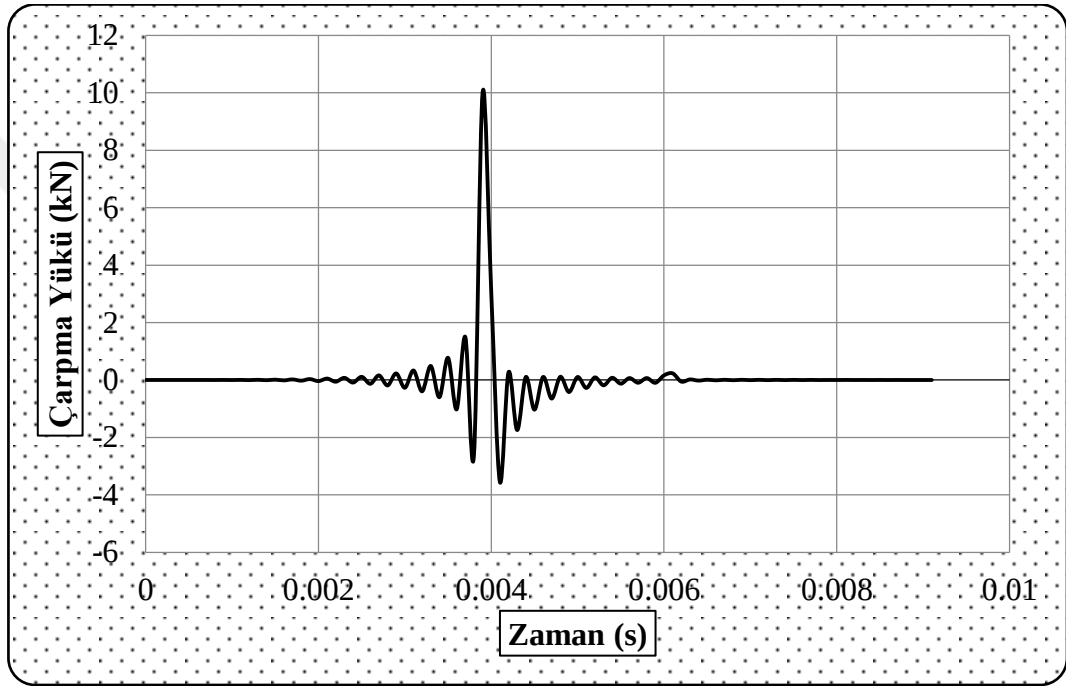
Grafikten okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla maksimum birim uzama 0.01228 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.74. S6 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.

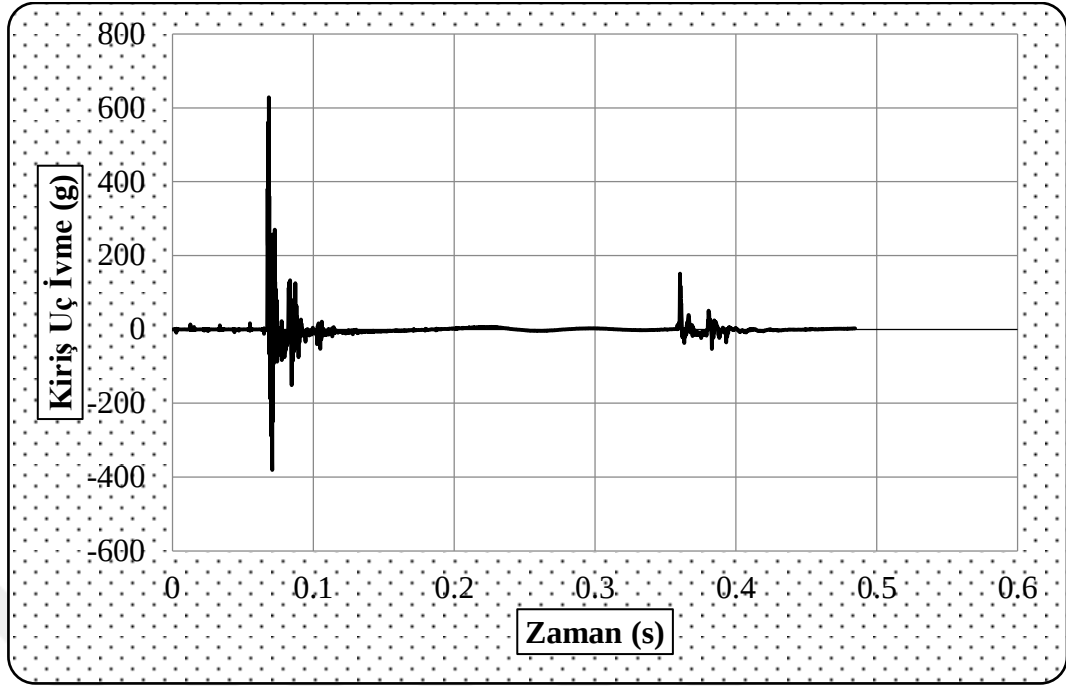
4.3.7. S7 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S7 deney numunesi etriyesiz olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 150 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 750 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.75' te verilen S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 10.01 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



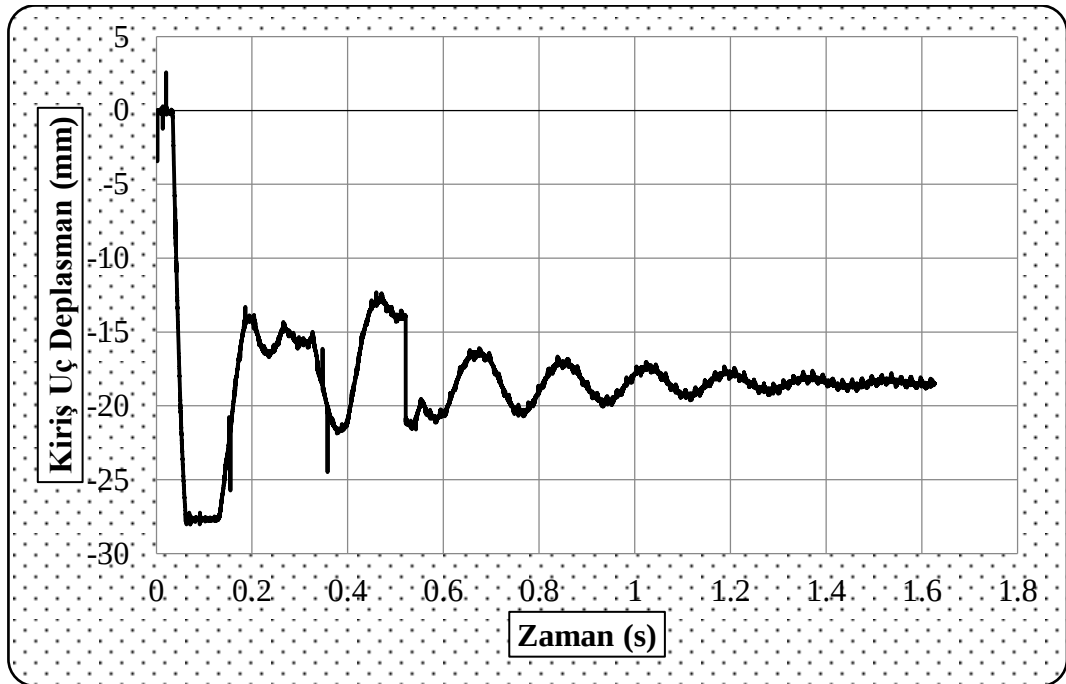
Şekil 4.75. S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yükleme sonucunda Şekil 4.76'da verilen S7 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 628.60 g, minimum değeri -380.89 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.76. S7 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

S7 deney elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği Şekil 4.77’de verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 30.61 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 18.48 mm olarak belirlenmiştir.

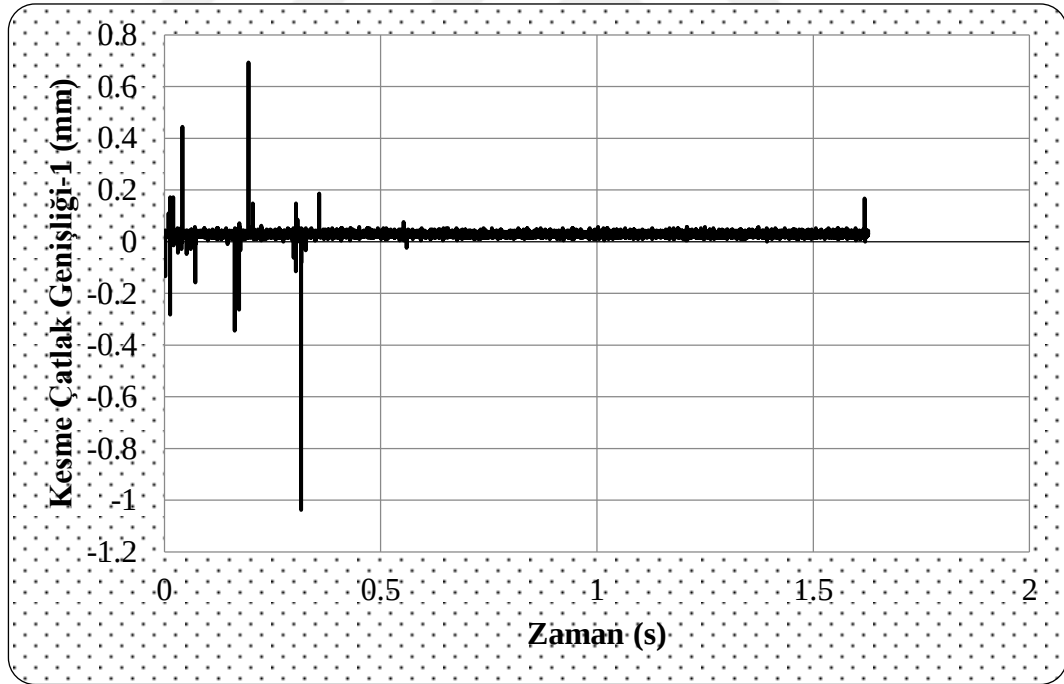


Şekil 4.77. S7 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

Kolon bölgesinde Şekil 4.78’te görülen 1 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.79’da verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 1.73 mm olarak hesaplanmıştır.



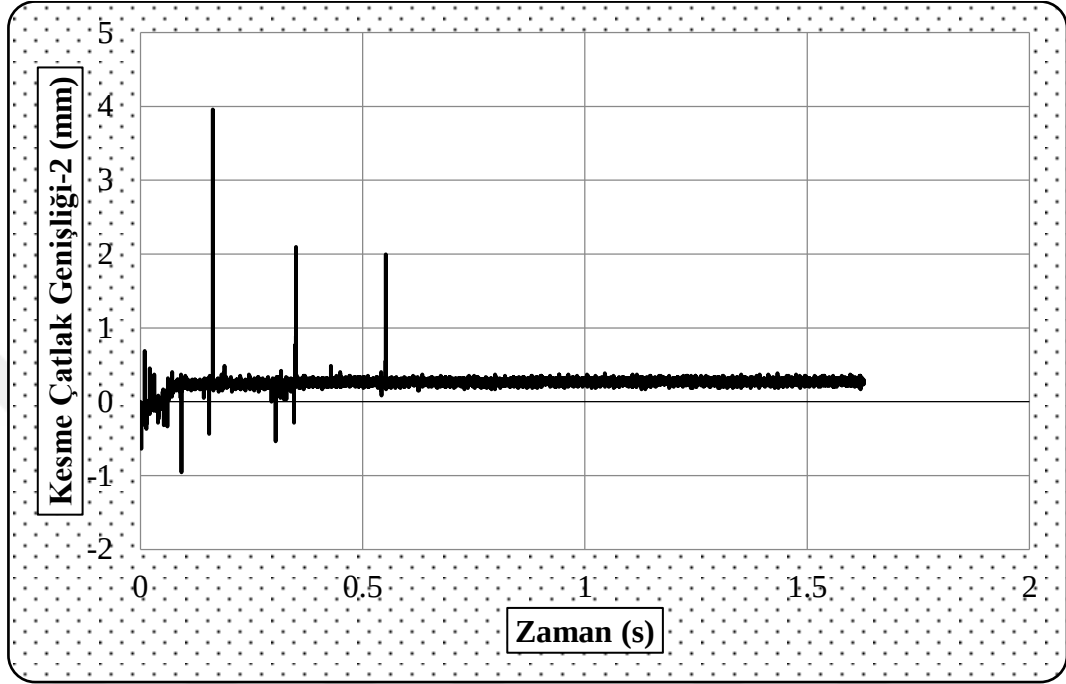
Şekil 4.78. S7 deney elemanına ait potansiyometrik cetvel örneği.



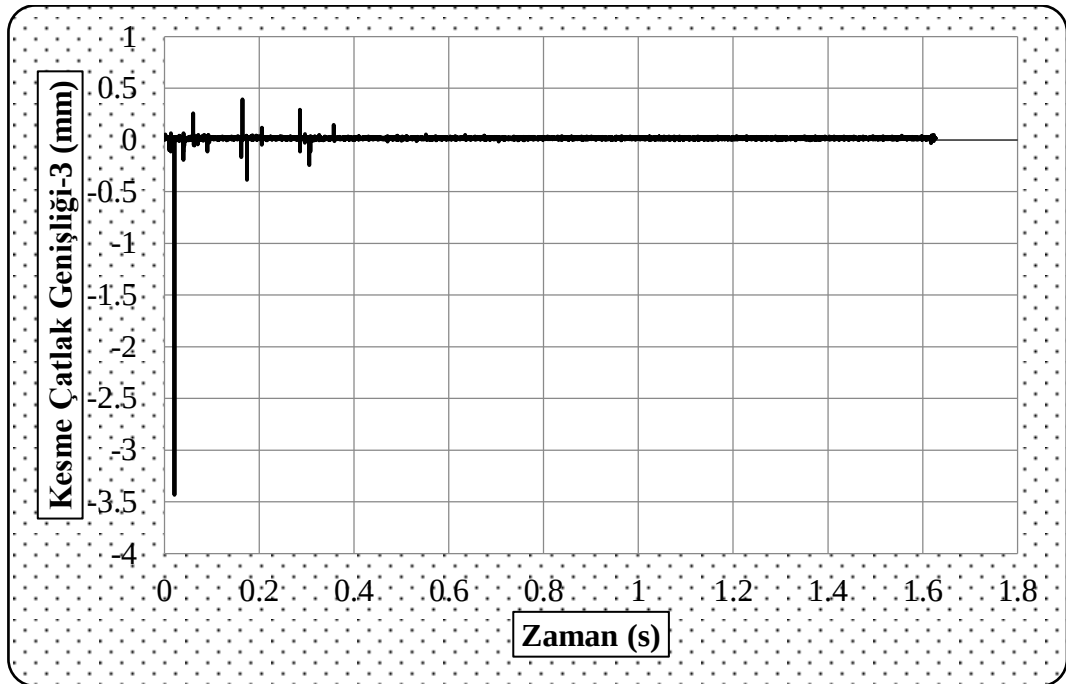
Şekil 4.79. S7 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

Kiriş bölgesinde Şekil 4.78’de görülen ve mesnette yakın olan 2 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı2- zaman grafiği Şekil 4.80’de verilmiştir. Grafikten okunan kesme çatlağı genişliği 4.91 mm olarak hesaplanmıştır.

Kiriş bölgesinde 3 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kesme çatlağı3- zaman grafiği Şekil 4.81’de verilmiştir. Grafikten hesaplanan kesme çatlağı genişliği 3.83 mm olarak belirlenmiştir.

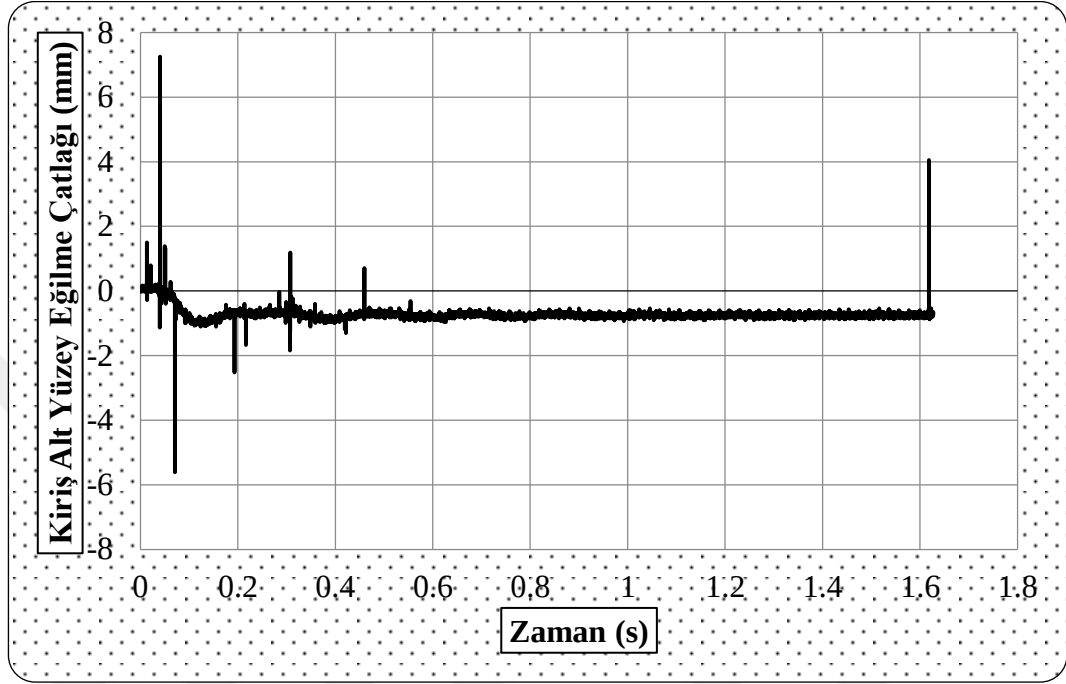


Şekil 4.80. S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.

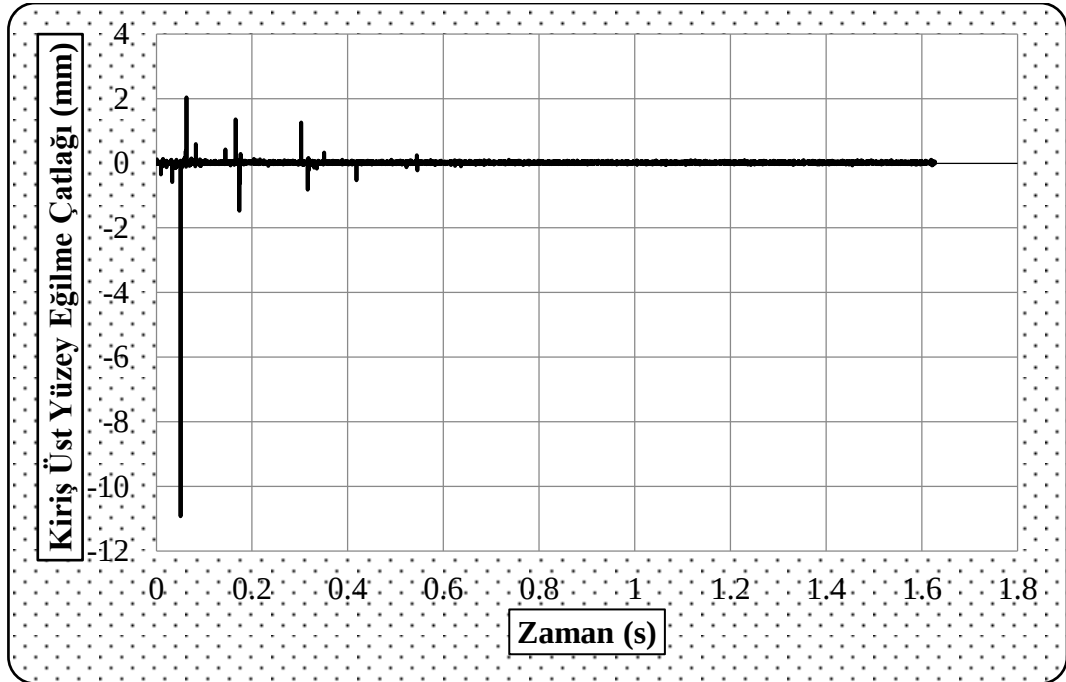


Şekil 4.81. S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

S7 deney elemanında 4 - 5 nolu potansiyometrik cetvellerden ölçülen ve Şekil 4.82 – 4.83'te verilen kiriş alt – üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiklerinden elde edilen değerler sırasıyla 12.87 mm ve 12.97 mm olarak elde edilmiştir.

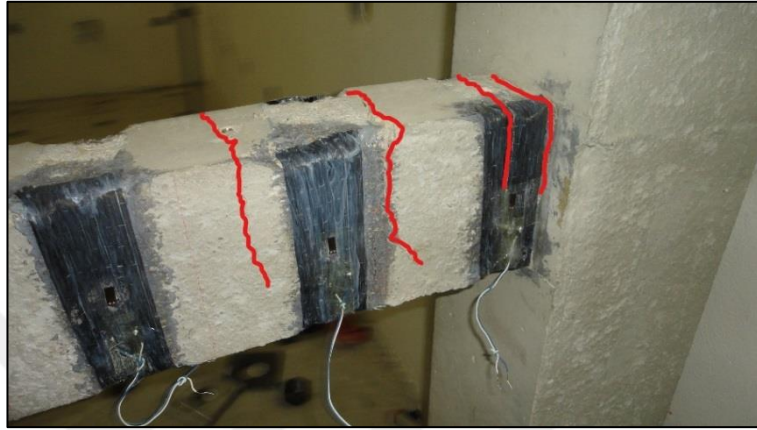


Şekil 4.82. S7 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.



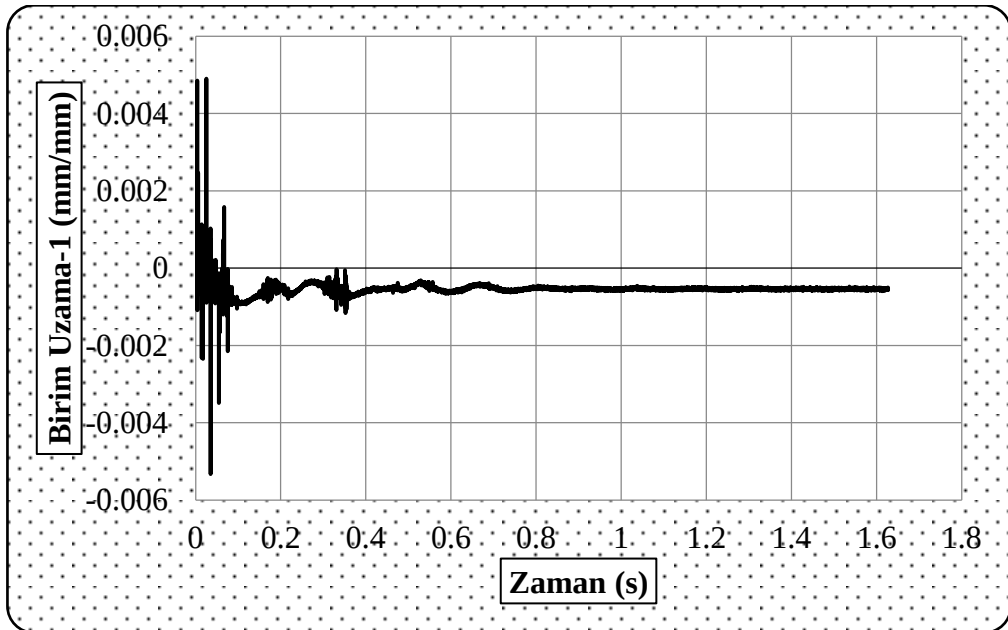
Şekil 4.83. S7 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S7 numunesine ait deney sonrası çatlak görünümü Şekil 4.84’te verilmiştir. S7 deney elemanına 150 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.84’te görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 3 adet strain gauge’ten sadece ikisinden elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.85 ve 4.86’da verilmiştir.



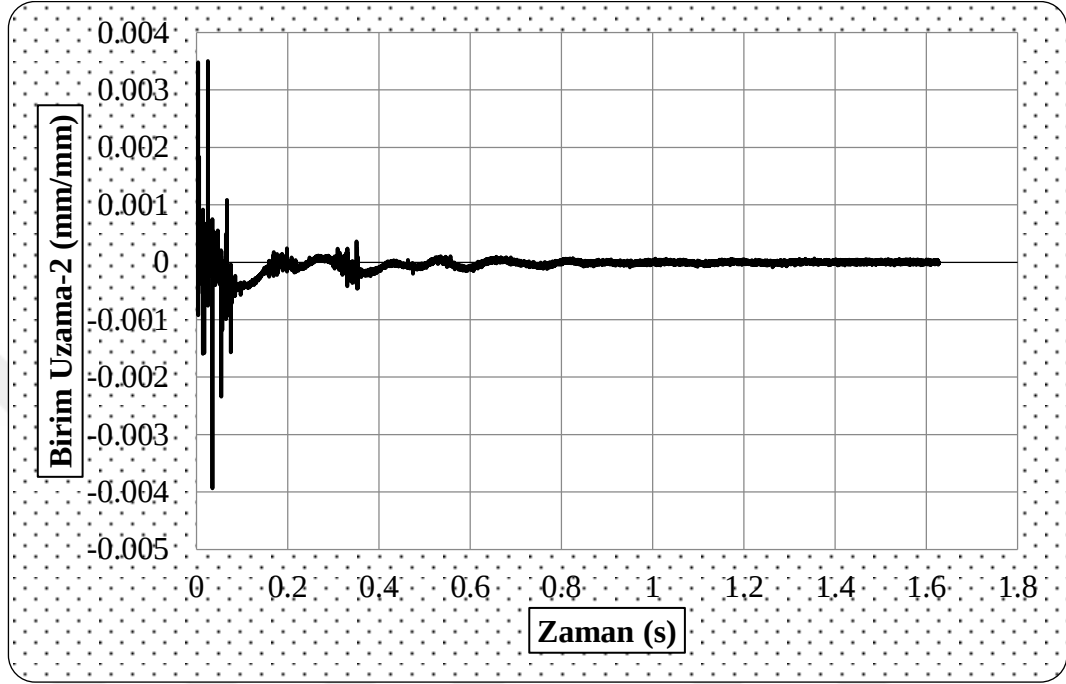
Şekil 4.84. S7 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S7 deney numunesine ait birim uzama grafikleri incelendiğinde; grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 4.85. S7 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.

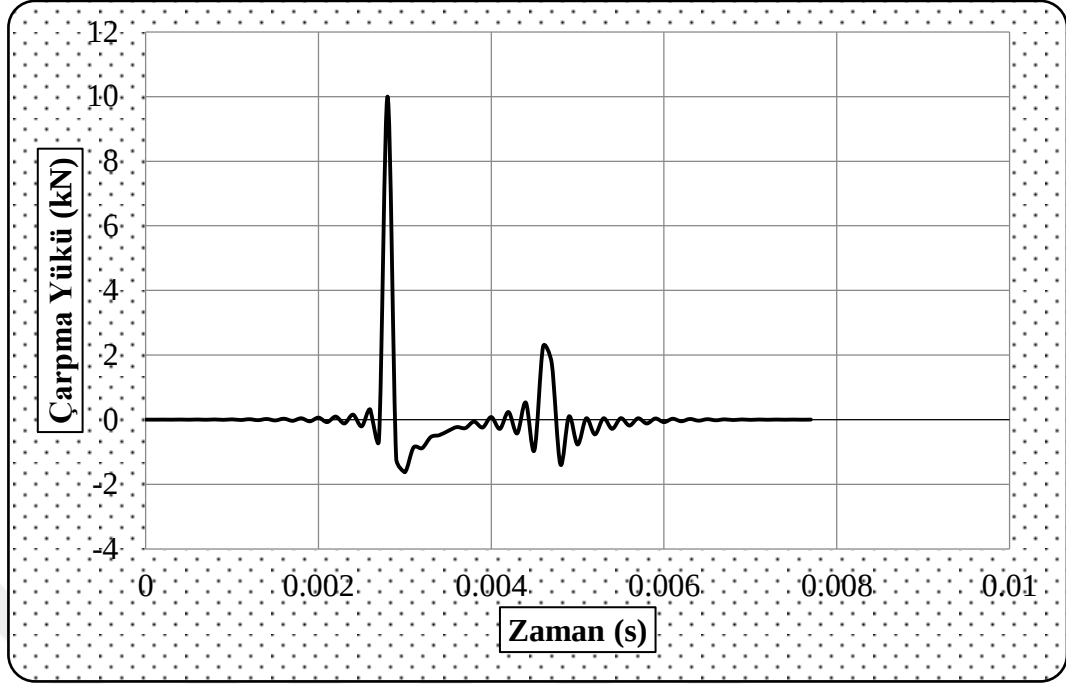
S7 numunesinin birim uzama değerleri sırasıyla Şekil 4.85'ten 0.010233 ve Şekil 4.86'dan 0.007441 olarak hesaplanmıştır. Maksimum birim uzama değeri birim uzama1-zaman grafiğinden 0.01023 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.86. S7 deney elemanına ait birim uzama2-zaman grafiği.

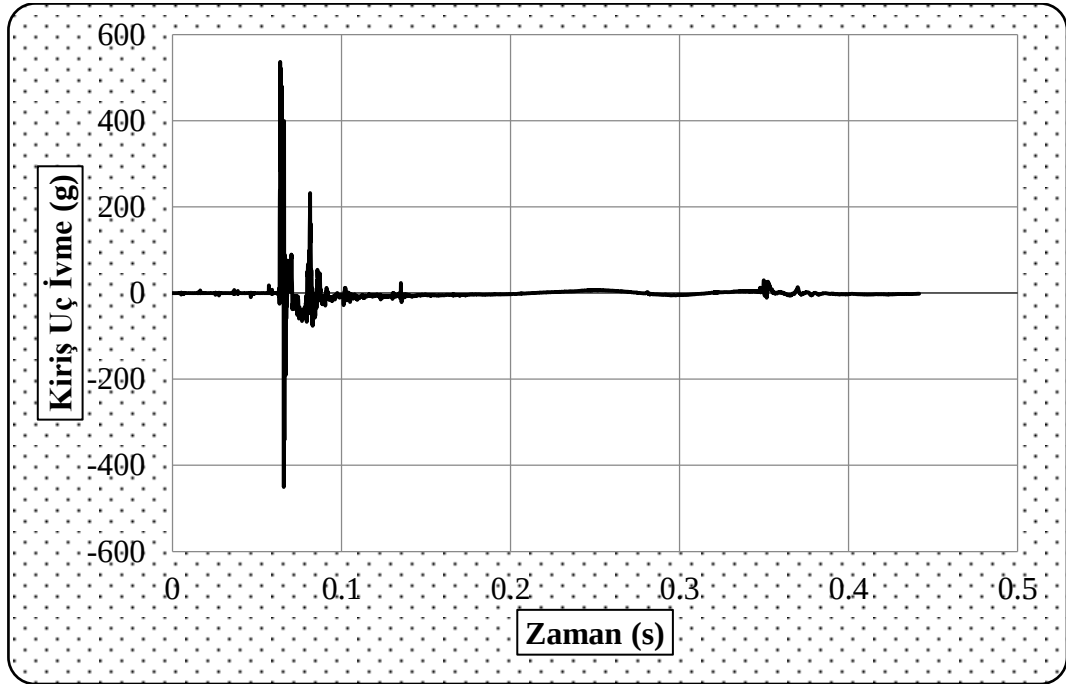
4.3.8. S8 deney elemanı

Çarpma deneyine tabii tutulan S8 deney numunesi etriyesiz olarak üretilmiştir. Üretilen numuneye çekme ve iki yan bölgelerde 50 mm genişliğinde 250 mm aralıklı olarak CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numuneye 750 mm düşü yüksekliğinden serbest olarak 84 kg'lık ağırlık çekici uygulanmıştır. Şekil 4.87'de verilen S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği incelendiğinde maksimum çarpma yükü 10.00 kN olarak elde edildiği görülmektedir.



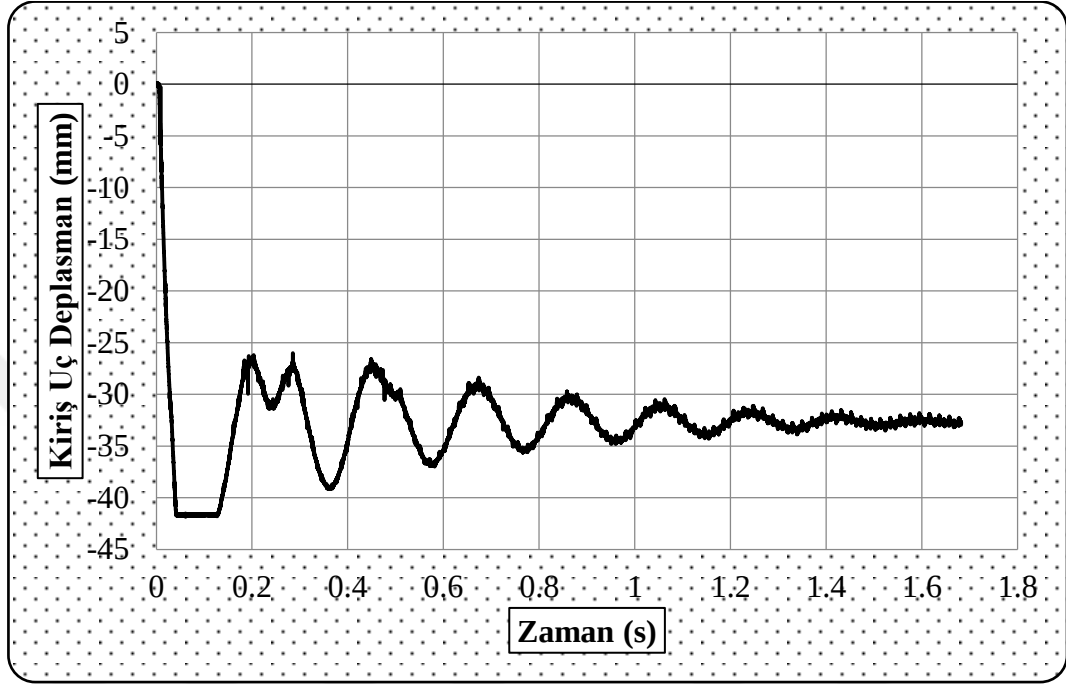
Şekil 4.87. S8 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.

Çarpma yüklemesi sonucunda Şekil 4.88’de verilen S8 deney elemanına ait ivme-zaman grafiğinden okunan kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 536.76 g, minimum değeri -450.31 g olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.88. S8 deney elemanı ait ivme-zaman grafiği.

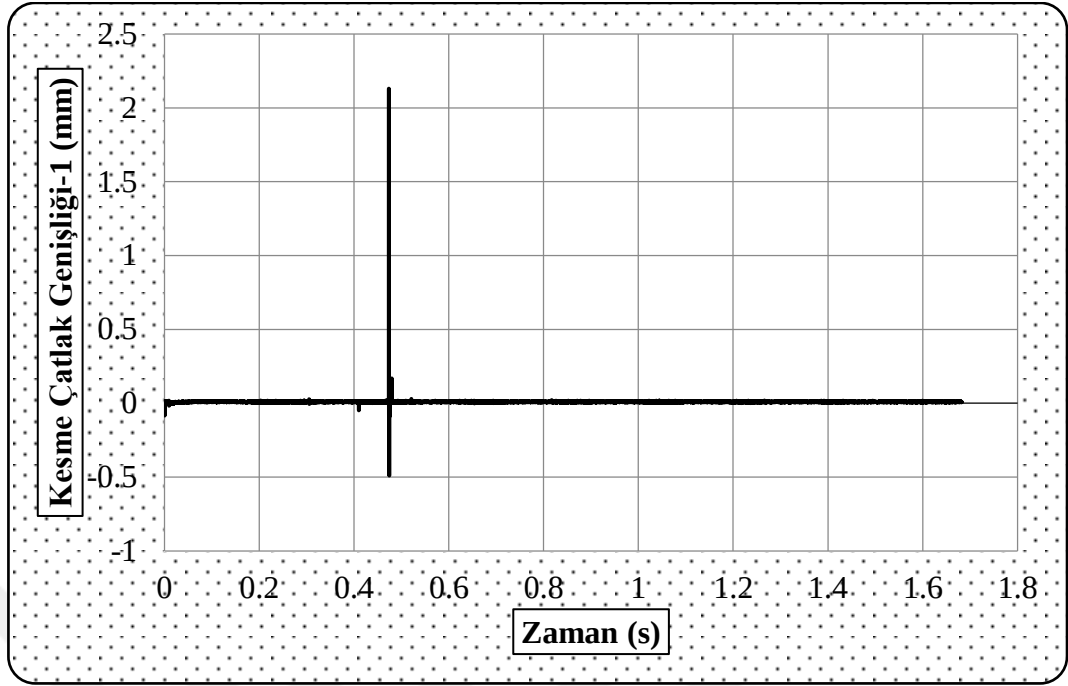
S8 deney elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği Şekil 4.89’da verilmiştir. Kiriş ucunda meydana gelen deplasman 41.99 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş ucundaki kalıcı deplasman ise 32.73 mm olarak belirlenmiştir.



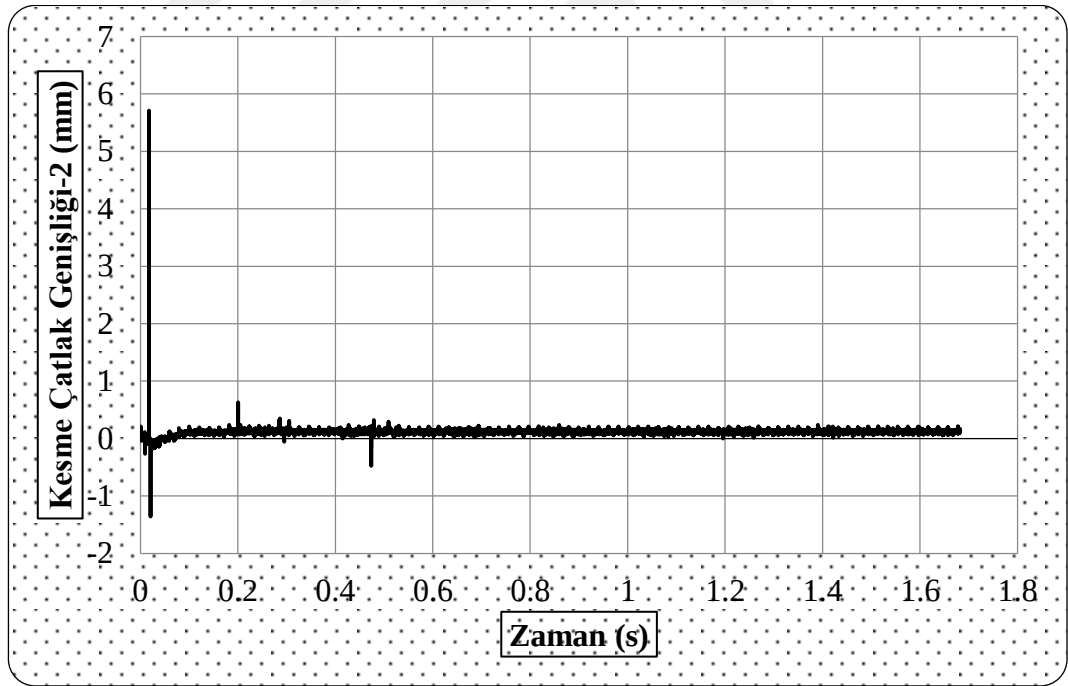
Şekil 4.89. S8 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.

Kolon bölgesinde 1 nolu potansiyometrik cetvelden ölçülen kolon yüzey kesme çatlağı1-zaman grafiği Şekil 4.90’da verilmiştir. Kolon bölgesinde kesme çatlağı genişliği 2.62 mm olarak hesaplanmıştır.

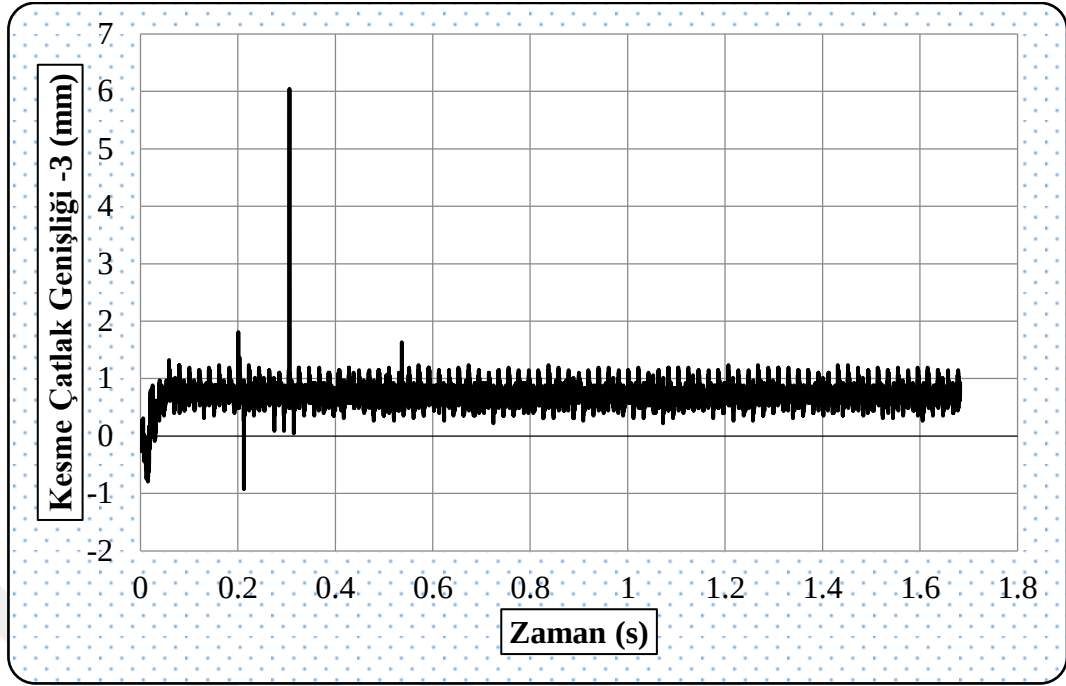
Kiriş bölgesinde 2 ve 3 nolu potansiyometrik cetvellerden ölçülen kesme çatlağı2- zaman ve kesme çatlağı3- zaman grafikleri Şekil 4.91-4.92’de verilmiştir. Grafiklerden okunan kesme çatlağı genişlikleri sırasıyla 7.07 mm ve 6.97 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.90. S8 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.

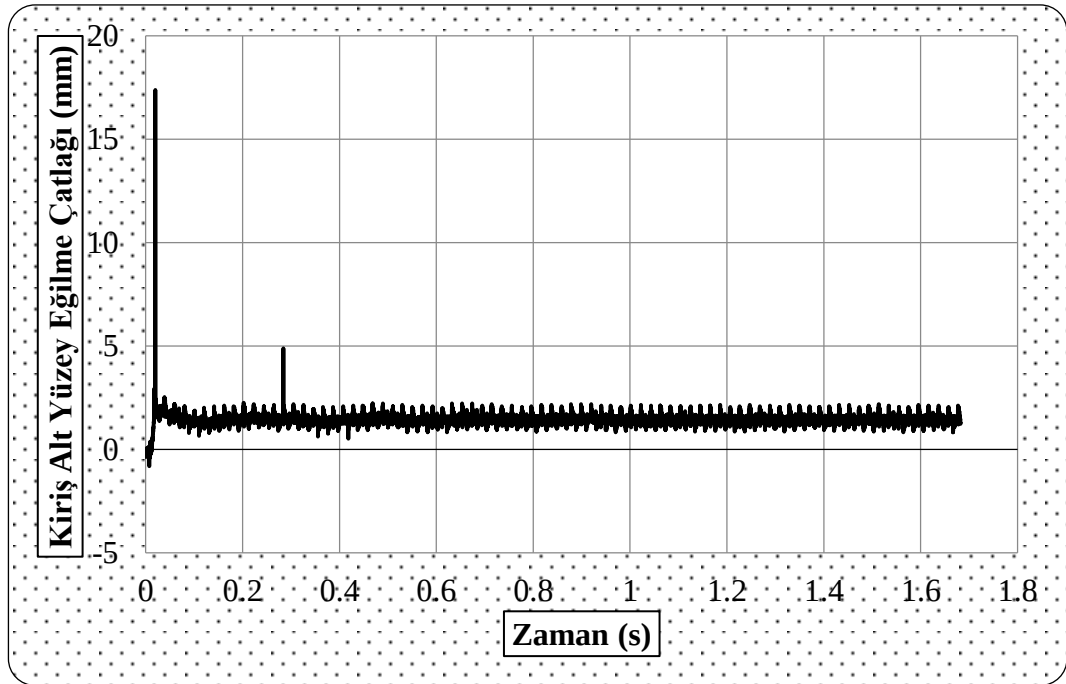


Şekil 4.91. S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği.

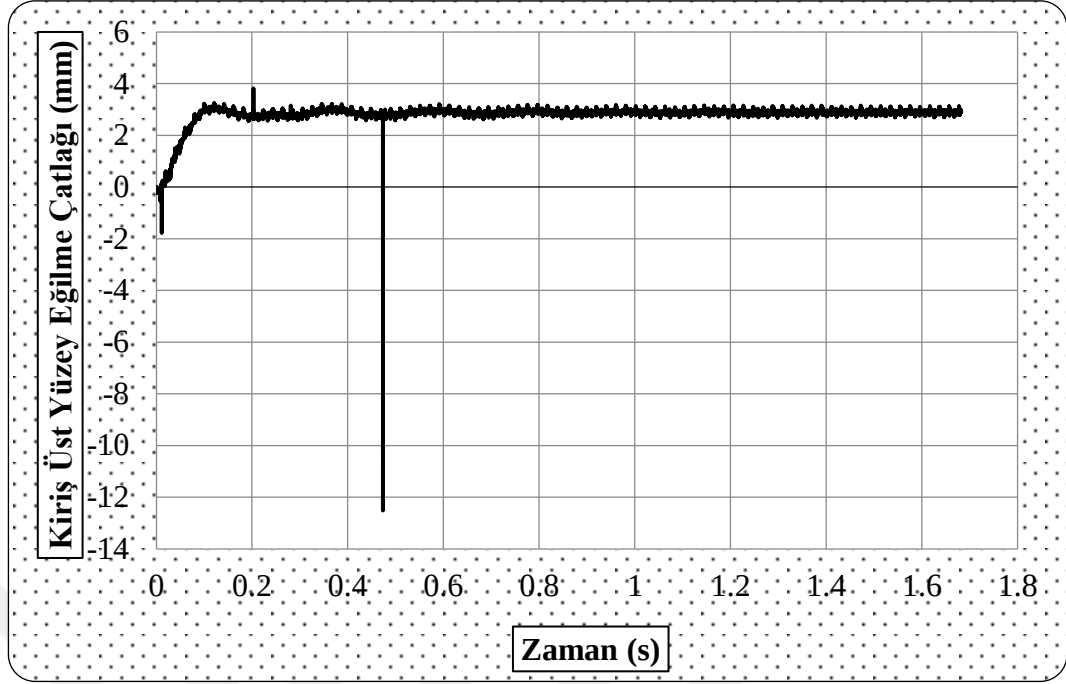


Şekil 4.92. S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

S8 deney elemanında 4 - 5 nolu potansiyometrik cetvellerden ölçülen ve Şekil 4.93 – 4.94’te verilen kiriş alt – üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiklerinden elde edilen değerler sırasıyla 18.20 mm ve 16.34 mm olarak elde edilmiştir.

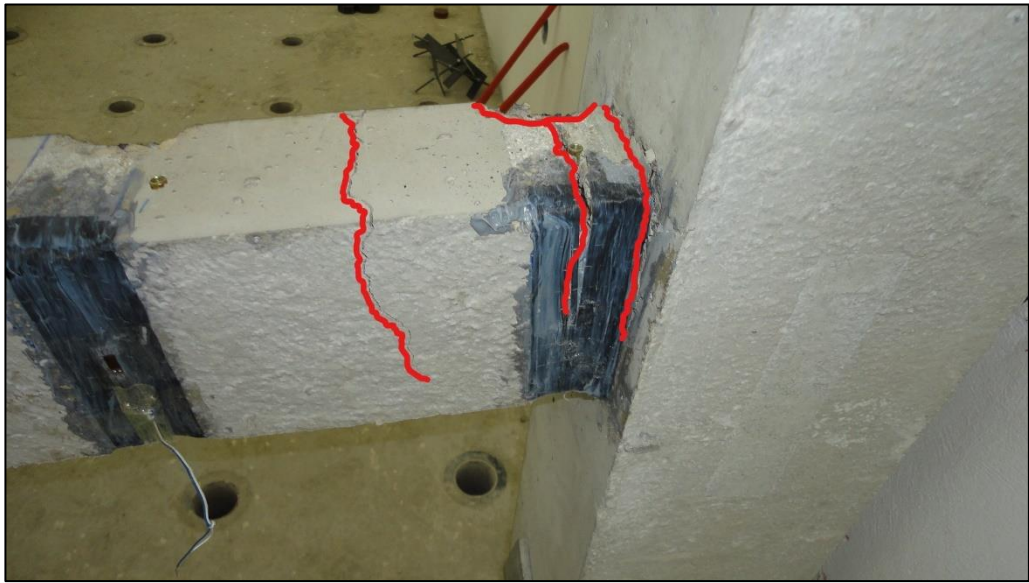


Şekil 4.93. S8 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.



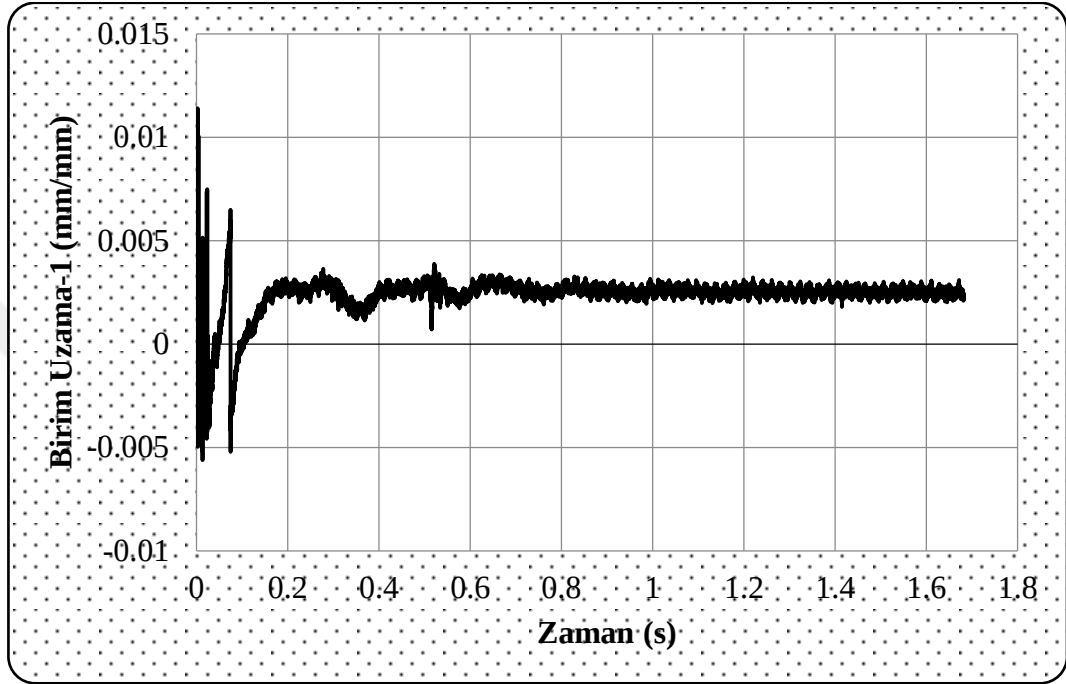
Şekil 4.94. S8 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.

S8 numunesine ait deney sonrası çatlak görünüşleri Şekil 4.95'te verilmiştir. S8 deney elemanına 250 mm aralıklarla yapıştırılan CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Şekil 4.95'da görüldüğü gibi şeritler üzerine yapıştırılan 2 adet strain gauge'ten sadece birinden veri elde edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.96'da verilmiştir.



Şekil 4.95. S8 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

S8 deney numunesine ait birim uzama grafiği incelendiğinde; birim uzama değeri grafiklerden okunan minimum ve maksimum değerlerin mutlak değerce toplanmasıyla elde edilmiştir. S8 numunesinin maksimum birim uzama değerı şekil 4.96'dan 0.01702 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.96. S8 deney elemanına ait birim uzama1-zaman grafiği.

4.4. Tartışma

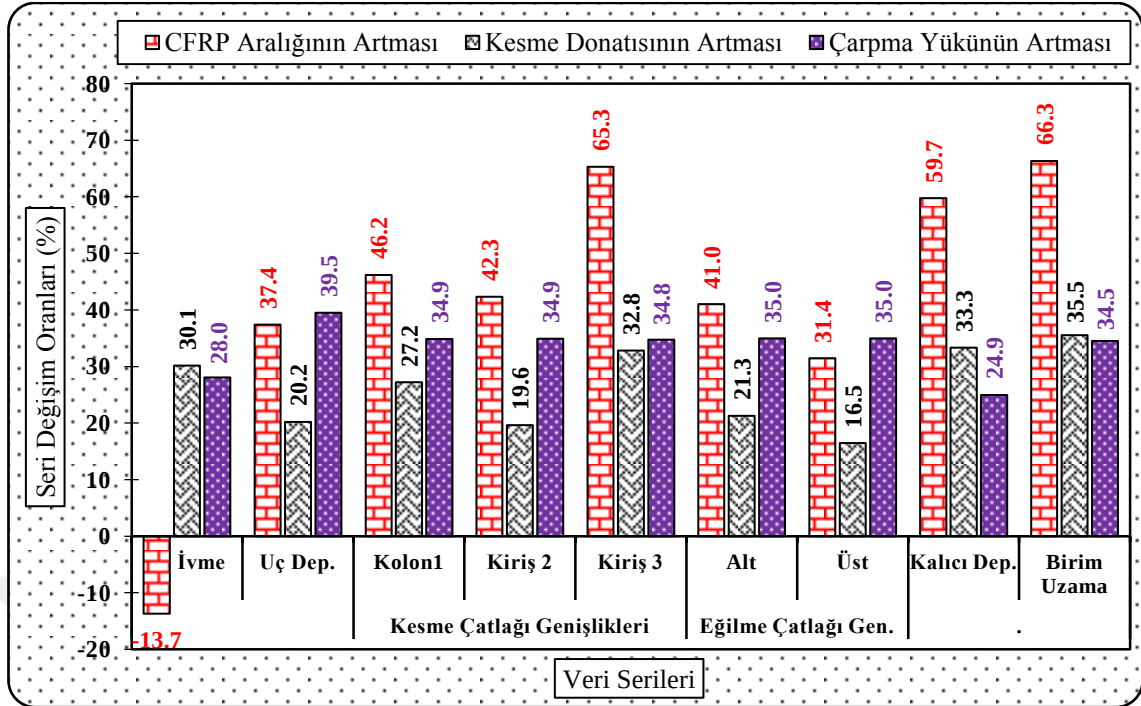
Deneyssel alışma kapsamında incelenen değişkenlerin CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme kolon kiriş birleşim bölgelerinin çarpma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiş ve çalışmadan elde edilen sonuçlar izelge 4.3'te özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan CFRP şerit aralığının, kesme donatısının ve çarpma yüksekliğinin artması ile ivme, kiriş uç deplasmanı, kesme çatlakları, eğilme çatlakları kalıcı kiriş uç deplasmanı ve CFRP şeritleri üzerindeki birim uzama değişim oran yüzdeleri hesaplanıp şekil 4.97'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çarpma deneylerinden elde edilen sonuçlar.

Deney Numuneleri	Kiriş Uç ivme (g)		Kiriş Uç Deplasman (mm)	Maksimum Kesme Çatlak Genişlikleri (mm)			Maximum Eğilme Çatlağı Genişliği (mm)		Kalıcı Kiriş Uç Deplasman (mm)	Çarpma Yüğü (kN)	Maksimum CFRP Şerit Birim Uzama (mm/mm)
	Max.	Min.		Kiriş-Kolon Birleşimi	Birinci	İkinci	Alt	Üst			
S1	372.20	-246.49	18.26	1.05	3.08	2,38	7.89	7.92	10.97	6.51	0.00559
S2	326.60	-165.51	25.04	1.47	4.33	3,54	11.08	10.85	21.31	6.50	0.00938
S3	493.73	-143.62	21.91	1.28	3.64	2,84	9.53	9.62	15.42	6.53	0.00748
S4	423.39	-334.14	30.29	1.96	5.25	5,17	13.50	12.11	22.02	6.49	0.01261
S5	483.99	-381.19	25.54	1.42	4.16	3,21	10.65	10.70	15.45	10.01	0.00756
S6	418.04	-137.60	34.98	1.99	5.84	4,76	14.96	14.65	19.28	10.00	0.01228
S7	628.60	-380.89	30.61	1.73	4.91	3,83	12.87	12.97	18.48	10.01	0.01023
S8	536.76	-450.31	41.99	2.62	7.07	6,97	18.20	16.34	32.73	10.00	0.01702

Deneyssel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden birincisi betonarme kolon - kiriş birleşimi deney elemanlarında kiriş üzerine güçlendirme amacıyla yapıştırılan CFRP şerit aralığıdır. Deney elemanları kirişlerine CFRP şeritler 150 mm ve 250 mm aralıkla yapıştırılmıştır. Şekil 4.97’de verilen grafik incelendiğinde; deney elemanlarına yapıştırılan CFRP şeritler arasındaki mesafe arttıkça, deney elemanları kiriş uç noktalarından ölçülen maksimum ivme değerleri ortalama % 13.7 oranında azalmıştır.

Kirişlerde güçlendirme amacıyla yapıştırılan CFRP şeritler arasındaki mesafe 150 mm’den 250 mm değerine arttıkça kiriş uç noktasından ölçülen maksimum deplasman değerleri ortalama % 37.4, maksimum kesme çatlağı genişliği değerleri ortalama kolonda % 46.2 ve kirişte ise % 42.3 ve % 65.3, maksimum alt eğilme çatlağı ortalamaları % 41, üst eğilme çatlağı değeri ise % 31.4 ve kiriş uç noktasında meydana gelen kalıcı deplasman değerleri ortalaması % 59.7, CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ortalaması ise % 66.3 oranında artmıştır.



Şekil 4.97. Çarpma deneyinde veri serilerinin değişim oranları (%).

Deney elemanlarında kiriş bölgesinde güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritler betonarme kolon - kiriş birleşim bölgelerinin ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisi altındaki performansını önemli ölçüde olumlu şekilde etkilemiş ve iyileştirmiştir.

Deney elemanlarında kullanılan CFRP şeritler betonarme kolon - kiriş birleşimi deney elemanlarının rijitliğini ve tokluk değerlerini artırmış ve deney elemanlarında çarpma etkisi ile meydana gelen maksimum ivme değerleri artış gösterirken, oluşan deplasman ve çatlak genişlikleri ise önemli oranda azalmış göstermiştir. CFRP şeritler kiriş uç noktasında meydana gelen deplasmanları önemli oranda azaltmış ve kiriş bölümünde meydana gelen kesme çatlağı ile eğilme çatlağı genişliklerini sınırlandırmıştır. 150 mm aralıklı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanları 250 mm aralıkla güçlendirilenlerden çok daha iyi bir çarpma davranışı sergilemiştir. 250 mm aralıklı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarından ölçülen birim deformasyon değerlerinin 150 mm aralıklı CFRP şeritlerin kullanıldığı deney elemanlarından çok daha büyük değerler elde edilmiştir. Bu durumun 250 mm aralıklı CFRP şeritli deney elemanlarında tek bir şeritte çok daha fazla eksenel kuvvet etkidiğini ve CFRP şeritlerinin çok daha fazla kesme kuvveti taşıyarak zorlandığını göstermiştir. Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi etkisinde CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri CFRP şerit aralıklarının 150 mm olduğu deney

elemanlarında ortalama 0.007715 mm/mm, şerit aralıkları 250 mm olan deney elemanlarında ise ortalama 0.0128225 mm/mm değerlerinde ölçülmüştür. Bu değerler statik yükleme etkisi altında CFRP şeritlerin yüzeyden soyulması için ACI 440 Committee Report'da verilen 0.005 mm/mm değerinden sırasıyla 150 mm aralıklı şeritlerde ortalama % 54.3, 250 mm aralıklı şeritlerde ortalama % 156.4 oranlarında daha büyük elde edilmiştir (ACI 440, 2008). Elde edilen bu sonuç CFRP şeritlerin çarpma yüklemesi gibi ani dinamik etkilerde statik yüklemelere göre ortalama 2.05 kat daha fazla birim deformasyon değeri sergilediği ve daha fazla kesme kuvveti taşıyabildiğini göstermiştir. Bu sonucun CFRP şeritler ile geliştirilen güçlendirme detaylarını ani dinamik etkilere karşı betonarme yapı sistemlerinin güçlendirilmesi için son derece kullanılabilir iyi bir alternatif haline getirdiği düşünülmektedir.

Deneysel çalışma kapsamında incelenen ikinci değişken betonarme kolon - kiriş birleşimi deney elemanlarının kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralığıdır. Deneysel çalışmada betonarme kiriş bölümlerinde kesme donatıları 300 mm aralıkla ve kirişte hiç kesme donatısı olmayacak şekilde iki farklı şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 4.97'de verilen grafik incelendiğinde; deney elemanlarının kiriş bölümlerine yerleştirilen kesme donatısı aralığının 300 mm olması durumunda hiç kesme donatısız deney elemanlarına göre kiriş uç noktasından ölçülen maksimum ivme değerleri ortalama %30.1 oranında ve kiriş uç deplasman değerleri ortalaması ise % 20.2 oranında artmıştır. Kiriş bölümünde hiç kesme donatısı olmayan deney elemanlarından ölçülen kesme çatlağı değerleri ortalaması kolon 1'de % 27.2, kiriş 2 ve kiriş 3'te ise sırasıyla %19,6 ve % 32.8 olarak, alt ve üst eğilme değerleri ortalamaları sırasıyla % 21.3 ve %16.5 oranlarında artış göstermiştir. Kiriş ucunda kalıcı deplasman değerleri ortalaması ise 300 mm aralıkla kesme donatısı yerleştirilen deney elemanından % 33.3 oranında daha büyük elde edilmiştir. Ayrıca kesme donatısız deney elemanlarında yer alan CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri, 300 mm aralıkla kesme donatısı yerleştirilen deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinden ortalama % 35.5 oranında daha büyük değere sahiptir. Elde edilen bu sonuçlar kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı miktarının azalmasının çarpma yüklemesi etkisi altındaki performansı olumsuz etkilediğini göstermiş ve maksimum ivme değerleri ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen deplasman ile çatlak genişliği değerlerinin hepsinde artışa yol açtığını ortaya koymuştur. Ayrıca

kesme donatısı miktarının azalması güçlendirme amacıyla kirişlere yapıştırılan CFRP şeritlerin çok daha fazla birim deformasyon değerlerine ulaşarak zorlanmasına ve kesme kuvveti etkisinde kalmasına yol açtığını göstermiştir.

Deneyisel çalışmada incelenen üçüncü değişken ise test elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi enerji düzeyidir. Deney elemanlarına sabit ağırlıklı çekiç 500 mm ve 750 mm yükseklikten düşürülerek iki farklı düzeyde çarpma yükü uygulanmıştır. Şekil 4.97’de verilen grafik incelendiğinde deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesinin artış göstermesi, betonarme kiriş bölümü uç noktasından ölçülen maksimum ivme, maksimum uç deplasmanı, maksimum kesme çatlağı genişliği, maksimum eğilme çatlağı genişliği, kalıcı kiriş uç noktası deplasmanı ve CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin hepsinin sırasıyla ortalama % 28, % 39.5, % 34.9, % 35, % 24.9 ve % 34.5 oranlarında artmasına neden olmuştur. Deney elemanlarına sabit ağırlıklı çekicinin 500 mm yükseklikten düşürülmesi durumunda betonarme kolon-kiriş birleşimi deney elemanları kiriş uç noktasına uygulanan çarpma yüklemesinin maksimum değeri ortalama 6.51 kN, 750 mm yükseklikten düşü uygulanması durumunda ise ortalama 10.01 kN olarak ölçülmüştür. Düşünün 750 mm’den uygulandığı deney elemanlarından ölçülen maksimum çarpma yüklemesi değerinin 500 mm düşü yüksekliği uygulanan deney elemanlarına göre ortalama %54 oranında daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yüklemedeki bu artış tüm ölçülen ivme, deplasman ve birim deformasyon değerlerinin artmasına neden olmuştur.

Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi sonrasında çatlak dağılımları ve hasar durumlarını gösteren fotoğraflar incelendiğinde deneyler sırasında betonarme kolon - kiriş birleşimi test elemanlarından alınan deplasman ölçümleri ile uyumlu bir çatlak ve hasar dağılımı elde edildiği görülebilmektedir. Deneyisel çalışmada yer alan test elemanları içerisinde en büyük deplasmanları yapan S8 numunesi en büyük hasarı almış olup, en geniş kesme ve eğilme çatlakları bu test elemanında meydana gelmiştir. Ayrıca deney elemanı kiriş bölümünde alt basınç bölgesinde beton kabuğunda ezilme oluşmuş ve kabuk betonu dökülmüştür. Deney elemanlarında meydana gelen çatlak dağılımları incelendiğinde kesme dayanımı yetersiz betonarme kiriş bölümlerinde CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirme yönteminin çatlak genişliklerini sınırlandırma ve azaltmakta başarılı olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmadan elde edilen ve Çizelge 4.3 ile Şekil 4.97’de verilen bulgular genel olarak incelendiğinde; 150 mm aralıklı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında meydana gelen kesme ve eğilme çatlakları, 250 mm CFRP şerit aralıklı test elemanlarından çok daha az hasar almış, çatlak genişlikleri daha düşük meydana gelmiş ve kiriş uç noktası deplasmanı çok daha az olmuştur. Kirişlerde kullanılan kesme donatısı miktarındaki azalım ve uygulanan çarpma yüklemesindeki artış kirişlerde meydana gelen hasarı artırmış ve çatlak genişliklerini büyötmüştür.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında betonarme çerçeve taşıyıcı sistemine sahip yapılarda bir dış kolon - kiriş birleşim bölgesine karşılık gelen deney elemanı tasarlanmış, serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılarak çarpma yüklemesi etkisinde test edilmiştir. Kesme dayanımı yetersiz bir kirişe sahip kolon - kiriş birleşimi deney elemanı kiriş bölümü CFRP şeritler ile güçlendirilerek çarpma yüklemesi uygulanmıştır. Bu kapsamda elde edilen deneysel verilerin çarpma yüklemesi etkisinde betonarme yapıların davranışları konusundaki literature önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Yürütülen çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Kesme dayanımı yetersiz olan betonarme kolon kiriş birleşimi deney elemanları kiriş bölümüne CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirme tekniği başarılı olmuş ve test elemanların çarpma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarını iyileştirerek performanslarını yükseltmiştir. Betonarme kolon kiriş birleşimi test elemanlarına CFRP şerit yapıştırılarak uygulanan güçlendirmede şerit aralıklarının azalması deney elemanlarında kiriş bölümü uç noktasındaki maksimum ivme değerlerini artırmış ve tüm ölçülen deplasman değerlerinin azalmasına neden olmuştur.

- Çarpma yüklemesi etkisinde CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin statik yükleme etkisinde yüzeyden soyulma için verilen 0.005 mm/mm sınır değerinden ortalama 2.05 kat daha büyük olduğu görülmüştür. Elde edilen bu deneysel sonuç CFRP şeritlerin çarpma yüklemesi etkisinde statik yüklemeye göre yüzeyden soyulmadan çok daha fazla kesme kuvveti taşıyabildiklerini ve performanslarının çok daha iyi olduğunu göstermiştir.

- Betonarme kolon kiriş birleşim bölgelerinde kiriş bölümünde yer alan kesme donatısı oranı çarpma yüklemesi etkisindeki davranış üzerinde etkin rol oynamıştır. Kesme donatısı oranının azalması betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin çarpma yüklemesi etkisindeki performanslarını düşürmüş ve olumsuz etkilemiştir. Deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme, tüm deplasman ve maksimum birim deformasyon değerlerinin artmasına neden olmuştur. Deney elemanlarında güçlendirme için kullanılan CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin artmasına ve şeritlerin çok daha fazla kesme kuvveti etkisinde kalarak zorlanmalarına neden olmuştur.

- Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi enerji düzeyinin artması ölçülen maksimum ivme, tüm deplasman ve CFRP şeritlerden ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin hepsinde birden artmasına neden olmuştur. Daha fazla enerji düzeyine sahip çarpma yüklemesi betonarme kolon kiriş birleşim bölgesi deney elemanlarının çok daha fazla zorlanmasına, hasar almasına neden olarak performanslarını azaltmıştır.

Tezin değişkenleri ve sonuçları dikkate alındığında aşağıda verilen durumlarla tez konusunun geliştirilerek daha kapsamlı bir çalışma yapılacağı düşünülmektedir.

- Düşü ağırlığı ve yüksekliği değiştirilerek farklı çarpma durumları incelenebilir.
- CFRP şerit genişliği deney kapsamında 50 mm olarak kullanılmıştır. Farklı genişlikler ile güçlendirme yapılabilir.
- CFRP şerit sarım sayısı ve doğrultuları değiştirilip ankraj uygulamaları ile güçlendirilebilir.
- Deney kapsamında, beton basınç dayanımı 25 MPa olarak seçilmiştir. Ancak farklı beton dayanımları ile konu tekrar ele alınabilir.
- Deney kapsamında kesme donatı oranları değiştirilip çalışma detaylandırılabilir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee Report 440, (2008). ACI 440.2R-08, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, American Concrete Institute.
- Al-Rifaie, A., Guan, Z.W., Jones, S.W., Wang, Q. (2017). Lateral impact response of end-plate beam-column connections, *Engineering Structures*, (151). 221-234.
- Anıl, Ö., Durucan, C., Erdem, R.T., Yorgancılar, M.A., (2016). Experimental and Numerical Investigation of Reinforced Concrete Beams with Variable Material Properties under Impact Loading, *Construction and Building Materials*, 125, 94-104.
- Anıl, Ö., Erdem, R.T., Tokgöz, M.N., (2018a). Investigation of Lateral Impact Behavior of RC Columns, *Computers and Concrete*, 22 (1), 123-132.
- Anıl, Ö., Kantar, E., Yılmaz, M.C., 2015, Low Velocity Impact Behavior of RC Slab Have Different Support Type, *Construction and Building Materials*, (93). 1078-1088.
- Anıl, Ö., Yılmaz, M. C., Barmaki, W., (2018b). Experimental and numerical study of RC columns under lateral low-velocity impact load. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 1–19.
- Arslan, A. (1995). Mixed-Mode fracture performance of fiber reinforced concrete under impact loading. *Materials and Structures*, (28). 473-478.
- Breen, C., Guild, F., Pavier, M. (2005). Impact of thick CRFP laminates: the effect of impact velocity, *Composites: Part A*, (36), 205-211.
- Dündar, B. (2008). *Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP ile Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kantar, E., and Anıl, Ö. (2012). Low velocity impact behavior of concrete beam strengthened wit CFRP strip. *Steel and Composite Structures*, 12(3). 207-230.
- Kantar, E., Arslan. A., ve Anıl, Ö. (2011). Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 115-123.
- Kaya, O. (2010). *Seismic Retrofitting of RC Beam-Column Joints Using Composite Materials*. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, T., Aras, M., ÇALIŞKAN, Ö. (2017). Beton Basınç ve Eğilme Dayanımlarına CFRP'nin Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 1-9.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Malvar, J. Crawford, E. and Morrill, K. (2007). Use of Composites to Resist Blast. *ASCE Journal of Composites for Construction*, 11(6), 601–610.
- Özyüksel, A. (2012). *Çelik Levha ve CFRP ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışlarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Saatci, S. and Vecchio, F. J. (2009). Effects of shear mechanisms on impact behavior of reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, 106(1), 78-86.
- Sezer, C. (2018). *CFRP Şeritler ile Güçlendirilmiş Betonarme Plakların Çarpma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Sika, (2006). Sika Wrap ve sikadur 330 Ürün Teknikbilgileri, http://tur.sika.com/tr/solutions_products/documents/pds/pds-sika-d.html (Erişim Tarihi: 06.06.2017).
- Soroushian, P., Elzafraney, M. (2004). Damage effects on concrete performance and microstructure. *Cement and Concrete Composites*, 26, 853-859.
- TS EN 12390–3. (2010). Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TS EN 12390–5. (2010). Türk Standartları Enstitüsü. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Veysel, K., Karaşin, H. (2014). Karbon Elyaf ile Betonun Güçlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 1-11.
- Yılmaz M.C., Anil, Ö., Alyavuz, E. ve Kantar, E. (2014). Load displacement behavior of concrete beam under monotonic static and low velocity impact load. *International Journal of Civil Engineering*, 12(4), 488-503.
- Yılmaz, T., Kırac, N., Anil, Ö., Erdem, R.T., Sezer, C. (2018). Low Velocity Impact Behaviour of RC Two Way Slab Strengthening with CFRP Strips, *Construction and Building Materials*, (186), 1046-1063.
- Yüksel, B. (2014). *Hasarlı Betonarme Kirişlerin Dış Donatılar ile Güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Turgut KAYA

Doğum Yeri ve Tarihi : Mardin, 1982



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Fırat Üniversitesi T.E.F. Yapı öğretmenliği Bölümü (2006)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Batman Üniversitesi

İletişim

Adres :Batman Üniversitesi MYO İnşaat Teknolojisi Programı

E-Posta Adresi : turgut.kaya@batman.edu.tr

Akademik Çalışmaları

https://www.researchgate.net/profile/Turgut_Kaya

Yabancı Dil Bilgisi: İngilizce

Tarih:21/08/2019