

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**KESME DONATISI DEĞİŞEN BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇARPMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

MURAT ARAS

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2020

10363069

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

**KESME DONATISI DEĞİŞEN BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN
ÇARPMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

MURAT ARAS

TEZ DANIŐMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2020

10363069

BEYAN

“Kesme donatısı değişen konsol kirişlerin çarpışma davranışının incelenmesi” adlı doktora tezini hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmanın; Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmelidir.		
DESTEK ALINMIŞTIR	DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;		
Destekleyen Kurum:		
Desteğin Türü	Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)		
2- TÜBİTAK		
Diğer;.....		

26/10/2020

Murat ARAS

ÖNSÖZ

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

Çalışmalarımda büyük yardımları bulunan Dr. Tolga YILMAZ, Öğr. Görevlisi Turgut KAYA, Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ, Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

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



ÖZET

KESME DONATISI DEĞİŞEN BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMLERİNİN ÇARPMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Betonarme yapılar, terör veya askeri nedenli patlamalar, karayolu veya deniz yolu araçlarının çarpması, heyelan, sel veya kaya düşmesi gibi etkiler ile sürüklenen nesne çarpmaları gibi durumlarda ani dinamik çarpma yüklemeler etkisinde kalabilmektedir.

Yapılan araştırmalar ve literatür taraması sonucunda ani dinamik çarpma yüklemesi etkisinde betonarme yapı veya yapısal eleman davranışlarının incelendiği sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada, deneysel bir çalışma yapılmış ve dış kolon-kiriş birleşimlerinin ani dinamik çarpma yüklemesi etkisindeki davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, 1/3 ölçekli 200x200x1200 mm boyutlarında kolon ile kolon merkezine yerleştirilmiş 100x150x1500 mm boyutlarında kirişten oluşan 16 adet deney elemanları üretilmiştir. Kolon-kiriş birleşimlerinin test edildiği bu çalışmada değişkenler; 2 farklı beton dayanımı, 4 farklı kesme donatısı ve 3 farklı düşü yüksekliğidir. Düşü ağırlığı tüm deneylerde 84 kg ve 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları 10 ve 25 MPa'dır. Beton basınç dayanımı 10 MPa olan numunelerde düşü yüksekliği 500 ve 750 mm, 25 MPa olan numunelerde ise 750 ve 1000 mm olarak belirlenmiştir. Kolon-kiriş birleşimlerinin test edildiği bu çalışmada kesme donatısı kirişte değişkendir. Kiriş boyunca 75, 150 ve 300 mm kesme donatısı aralıkları ve kesme donatısız olmak üzere 4 farklı kesme donatısı incelenmiştir. Üretilen numuneler, serbest ağırlık düşürme deneyine tabii tutulmuştur. Kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralığı, beton basınç dayanımı ve düşü yüksekliğinin değişken olarak incelendiği bu çalışmada betonarme kolon-kiriş birleşim elemanlarının çarpma dinamik davranışları kiriş uç ivmesi, çarpma yükü, kiriş uç deplasmanı, kesme ve eğilme çatlak genişlikleri açısından incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralığının azalmasıyla kiriş uç ivmesi, kiriş deplasmanları ve çatlak genişliklerinde azalmalar meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çarpma Yükü, Ağırlık Düşürme Testi, Kesme Dayanımı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE IMPACT BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN JOINTS WITH VARYING SHEAR REINFORCEMENT

Reinforced concrete structures may expose to sudden dynamic impact loads such as terrorist attacks or military blasts, crashes of the highway or sea vehicles, the collision of masses with the effect of landslide, flood or rockfall.

Extensive literature review showed that the number of research work on reinforced concrete (RC) structures or structural members, which are subjected to impact loading, is limited. In this study, an experimental work was carried out to examine the behavior of outer column-beam connections under sudden dynamic impact loading. For that purpose, 16 samples were produced 1/3 scaled and RC column-beam joint elements that 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 tested beam-column specimens were designed to have two different concrete compressive strength, and four different shear reinforcement. In addition, structures were tested under three different height of drop. The drop weight was kept 84 kg for all experiments and an average concrete compressive strength of 10 and 25 MPa for 28 days. The height of drop for specimens with concrete compressive strength of 10 MPa was 500 mm and 750 mm whereas the height of drop for specimens with concrete compressive strength of 25 MPa were selected to be 750 and 1000 mm. In this study, shear reinforcement detail used in construction of beam elements was varied. The beam elements were constructed utilizing four different shear reinforcement detail. One specimen was built without shear reinforcement. For the remaining three specimens, spacing of shear reinforcements were 75, 150, and 300 mm. For all sixteen beam-column specimens, column elements with dimensions of column had same properties. The parts of beam-column specimens were casted at the same time. The produced samples were subjected to weight drop test. In this study, the results of the experiments were analyzed by considering the parameters shear reinforcement spacing, concrete compressive strength, and the drop height. The behavior of beam-column specimens was scrutinized through accelerations, impact load, displacements, shear and flexural cracks have been recorded in experiments. As a result of the study, it was observed that the tip acceleration, the tip displacement, and the crack widths reduced when the shear reinforcement spacing was reduced.

KeyWords; Impact Load, Free Drop Test, Shear Strengthen

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ	11
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	18
3.1. Deney Elemanları.....	18
3.1.1. Geometrik özellikler	18
3.1.2. Deney parametreleri	21
3.2. Malzeme Özellikleri.....	22
3.2.1. Beton.....	22
3.2.2. Donatı çeliği	24
3.3. Numunelerin üretimi	24
3.4. Deney Düzeneği.....	27
3.4.1. Veri toplama sistemi	27
3.4.1.1. Düşük Gürültülü Koaksiyal Kablo	28
3.4.2. Yükleme düzeneği	28
3.4.3. Ölçüm araçları.....	32
3.4.3.1. İvmeölçer	32
3.4.3.2. Halka Kuvvet Algılayıcı.....	34
3.4.3.3. Doğrusal Değişkenli Fark Transformatörler (LVDT).....	35
4. DENEY SONUÇLARI.....	38
4.1. S1 deney elemanı.....	38
4.2. S2 deney elemanı.....	42
4.3. S3 deney elemanı.....	45
4.4. S4 deney elemanı	49
4.5. S5 deney elemanı.....	53
4.6. S6 deney elemanı.....	56

4.7. S7 deney elemanı.....	60
4.8. S8 deney elemanı.....	64
4.9. S9 deney elemanı.....	68
4.10. S10 deney elemanı.....	71
4.11. S11 deney elemanı.....	75
4.12. S12 deney elemanı.....	78
4.13. S13 deney elemanı.....	81
4.14. S14 deney elemanı.....	85
4.15. S15 deney elemanı.....	88
4.16. S16 deney elemanı.....	92
5. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI	96
5.1. S1-S4 deney elemanlarında maksimum ivme.....	97
5.2. S5-S8 deney elemanlarında maksimum ivme.....	97
5.3. S9-S12 deney elemanlarında maksimum ivme.....	98
5.4. S13-S16 deney elemanlarında maksimum ivme.....	99
5.5. S1-S4 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman.....	100
5.6. S5-S8 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman.....	101
5.7. S9-S12 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman.....	102
5.8. S13-S16 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman.....	103
5.9. S1-S4 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri.....	104
5.10. S5-S8 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri	105
5.11. S9-S12 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri	106
5.12. S13-S16 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri	107
5.13. Kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri.....	109
5.14. Deney sonuçlarının tartışması	109
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR.....	117
ÖZ GEÇMİŞ.....	120

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1. Numune Parametreleri.....	22
Tablo 3.2. Beton basınç dayanımları.....	27
Tablo 3.3. S420a çubukların mekanik özellikleri.....	28
Tablo 3.4. Deney düzeneğinde bulunan eleman özellikleri ve işlevleri.....	35
Tablo 5.1. Çarpma deneylerinden elde edilen sonuçlar.....	118



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. a. HSBC Genel Müdürlüğü binası bombalanması, İstanbul; b. Giriş katına araç çarpması c. Köprü kirişine taşıt çarpması d. Bina içi gaz patlaması, Astrahan, Rusya; e. Gemi çarpması, Japonya; f. Kaya düşmesi, Gümüşhane, Türkiye	2
Şekil 1.2. Patlamanın yapılar üzerinde oluşturduğu etkiler.....	3
Şekil 1.3. a) Patlama etkisiyle oluşan hava şoku dalgası etkisiyle hasar alan betonarme dış kolon, b-c) Patlama etkisiyle oluşan hava şoku dalgası etkisiyle hasar alan beton dolgulu çelik dış kolon.....	4
Şekil 1.4. Tek çarpışma tipi kuvvet.....	5
Şekil 1.5. Çarpma türü kuvvetin fonksiyonel ifade türleri, a)dikdörtgen darbe, b) yarım-sinüs darbe, c) üçgen darbe.....	5
Şekil 1.6. Eşit genlikli üç darbe kuvvetinin spektrumları.....	6
Şekil 1.7. TBDY 2019 kiriş sınır değerleri.....	6
Şekil 1.8. Kolon kiriş birleşim bölgesi.....	7
Şekil 1.9. Kesit hasar bölgeleri.....	8
Şekil 1.10. Ani yükleme senaryoları.....	9
Şekil 1.11. Deney numunesi dış kolon kiriş birleşimi.....	10
Şekil 3.1. Deney elemanlarının boyutları.....	18
Şekil 3.2. Betonarme deney numunesi (1, 5, 9, 13).....	19
Şekil 3.3. Betonarme deney numunesi (2, 6, 10, 14).....	19
Şekil 3.4. Betonarme deney numunesi (3, 7, 11, 15).....	20
Şekil 3.5. Betonarme deney numunesi (4, 8, 12, 16).....	20
Şekil 3.6. Donatı açılımları.....	21
Şekil 3.7. Basınç dayanımını testinde kullanılan bilgisayar kontrollü pres.....	23
Şekil 3.8. Numunelerin hazırlanması a) Ahşap kalıp b) Donatı.....	25
Şekil 3.9. Donatıların kalıp içine yerleşimi.....	25
Şekil 3.10. Beton dökümü.....	26
Şekil 3.11. Numunelerin kalıplardan sökülmesi.....	26
Şekil 3.12. Hazırlanan numuneler.....	27
Şekil 3.13. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı.....	27
Şekil 3.14. 003A20 Model numaralı kablo.....	28
Şekil 3.15. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo ve içyapısı.....	28

Şekil 3.16. Deney numunesinde ölçüm sistemi.....	29
Şekil 3.17. Deney numunesinin rijit duvara bağlanması.....	29
Şekil 3.18. Deney düzeneği.....	30
Şekil 3.19. Deney düzeneği genel görünümü.....	31
Şekil 3.20. ICP Model 353B02 piezoelektrik ivmeölçer.....	32
Şekil 3.21. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri 1. Vida ile 2. Yapıştırıcı ile 3. Montaj pedi ile 4. Düz mıknatıs ile 5. Çift taraflı mıknatıs ile 6. El çubuğu ile (Manual).....	33
Şekil 3.22. Montaj yeri ve aparatı.....	34
Şekil 3.23. 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı.....	34
Şekil 3.24. Çelik bağlantı aparatları, çarpma kuvveti algılayıcısı.....	35
Şekil 3.25. a) Potansiyometrik cetvel, b) Sensör besleme kutusu.....	35
Şekil 3.26. Veri toplama sistemi.....	36
Şekil 3.27. Deneysel ölçüm sistemi.....	37
Şekil 4.1. S1 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	39
Şekil 4.2. S1 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	39
Şekil 4.3. S1 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.....	39
Şekil 4.4. S1 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	40
Şekil 4.5.S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	40
Şekil 4.6. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	40
Şekil 4.7. S1 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.8. S1 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.9. S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	41
Şekil 4.10. S2 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.11. S2 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.12. S2 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.13. S2 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.14.S2 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	44
Şekil 4.15. S2 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	44
Şekil 4.16. S2 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.17. S2 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.18. S2 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	45
Şekil 4.19. S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	46

Şekil 4.20. S3 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.21. S3 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.22. S3 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	47
Şekil 4.23. S3 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	47
Şekil 4.24. S3 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	48
Şekil 4.25. S3 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	48
Şekil 4.26. S3 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	48
Şekil 4.27. S3 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	49
Şekil 4.28. S4 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.29. S4 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.30. S4 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	51
Şekil 4.31. S4 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	51
Şekil 4.32. S4 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	51
Şekil 4.33. S4 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	52
Şekil 4.34. S4 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	52
Şekil 4.35. S4 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	52
Şekil 4.36. S4 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	53
Şekil 4.37. S5 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	54
Şekil 4.38. S5 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	54
Şekil 4.39. S5 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	54
Şekil 4.40. S5 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.41. S5 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	55
Şekil 4.42. S5 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	55
Şekil 4.43. S5 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.44. S5 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.45. S5 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	56
Şekil 4.46. S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.47. S6 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.48. S6 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.49. S6 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.50. S6 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	58
Şekil 4.51. S6 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	59
Şekil 4.52. S6 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	59

Şekil 4.53. S6 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.54. S6 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	60
Şekil 4.55. S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.56. S7 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.57. S7 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.58. S7 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.59.S7 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği.....	62
Şekil 4.60. S7 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak3- zaman grafiği.....	62
Şekil 4.61. S7 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.62. S7 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	63
Şekil 4.63. S7 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	64
Şekil 4.64. S8 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	65
Şekil 4.65. S8 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	65
Şekil 4.66. S8 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	65
Şekil 4.67. S8 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	66
Şekil 4.68. S8 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği.....	66
Şekil 4.69. S8 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak3- zaman grafiği.....	66
Şekil 4.70. S8 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	67
Şekil 4.71. S8 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	67
Şekil 4.72. S8 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	67
Şekil 4.73. S9 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	68
Şekil 4.74. S9 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.75. S9 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.76. S9 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.77.S9 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği.....	70
Şekil 4.78. S9 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak3- zaman grafiği.....	70
Şekil 4.79. S9 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	70
Şekil 4.80. S9 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.81. S9 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	71
Şekil 4.82. S10 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.83. S10 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.84. S10 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.85. S10 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	73

Şekil 4.86. S10 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ² - zaman grafiği.....	73
Şekil 4.87. S10 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ³ - zaman grafiği.....	73
Şekil 4.88. S10 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	74
Şekil 4.89. S10 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	74
Şekil 4.90. S10 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	74
Şekil 4.91. S11 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	75
Şekil 4.92. S11 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	75
Şekil 4.93. S11 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.94. S11 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.95. S11 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ² - zaman grafiği.....	76
Şekil 4.96. S11 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ³ - zaman grafiği.....	77
Şekil 4.97. S11 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	77
Şekil 4.98. S11 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	77
Şekil 4.99. S11 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	78
Şekil 4.100. S12 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	78
Şekil 4.101. S12 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.102. S12 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.103. S12 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	79
Şekil 4.104. S12 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ² - zaman grafiği.....	80
Şekil 4.105. S12 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ³ - zaman grafiği.....	80
Şekil 4.106. S12 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	80
Şekil 4.107. S12 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	81
Şekil 4.108. S12 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	81
Şekil 4.109. S13 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	82
Şekil 4.110. S13 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	82
Şekil 4.111. S13 elemanına ait giriş uç deplasman-zaman grafiği.....	83
Şekil 4.112. S13 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	83
Şekil 4.113. S13 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ² - zaman grafiği.....	83
Şekil 4.114. S13 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlak ³ - zaman grafiği.....	84
Şekil 4.115. S13 deney elemanına ait giriş alt yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	84
Şekil 4.116. S13 deney elemanına ait giriş üst yüzey eğilme çatlak ¹ -zaman grafiği.....	84
Şekil 4.117. S13 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	85
Şekil 4.118. S14 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	85

Şekil 4.119. S14 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	86
Şekil 4.120. S14 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.....	86
Şekil 4.121. S14 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	86
Şekil 4.122. S14 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	87
Şekil 4.123. S14 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	87
Şekil 4.124. S14 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	87
Şekil 4.125. S14 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	88
Şekil 4.126. S14 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	88
Şekil 4.127. S15 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	89
Şekil 4.128. S15 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	89
Şekil 4.129. S15 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.....	89
Şekil 4.130. S15 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	90
Şekil 4.131. S15 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	90
Şekil 4.132. S15 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	90
Şekil 4.133. S15 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	91
Şekil 4.134. S15 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	91
Şekil 4.135. S15 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	91
Şekil 4.136. S16 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği.....	92
Şekil 4.137. S16 deney elemanına ivme-zaman grafiği.....	92
Şekil 4.138. S16 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği.....	93
Şekil 4.139. S16 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği.....	93
Şekil 4.140. S16 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği.....	93
Şekil 4.141. S16 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği.....	94
Şekil 4.142. S16 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	94
Şekil 4.143. S16 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği.....	94
Şekil 4.144. S16 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.....	95
Şekil 5. 1. Çarpma yükleri.....	96
Şekil 5.2. Maksimum ivme değerleri (Grup 1).....	97
Şekil 5.3. Maksimum ivme değerleri (Grup 2).....	98
Şekil 5.4. Maksimum ivme değerleri (Grup 3).....	99
Şekil 5.5. Maksimum ivme değerleri (Grup 4).....	100
Şekil 5.6. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 1).....	101
Şekil 5.7. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 2).....	102

Şekil 5.8. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 3).....	103
Şekil 5.9. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 4).....	104
Şekil 5.10. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 1).....	105
Şekil 5.11. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 2).....	106
Şekil 5.12. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 3).....	107
Şekil 5.13. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 4).....	108
Şekil 5.14. Kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri.....	109
Şekil 5.15. Maksimum ivme değerleri.....	110
Şekil 5.16. Kiriş uç deplasman ve kalıcı deplasman değerleri.....	111
Şekil 5.17. Kesme çatlak genişlik değerleri.....	112



KISALTMALAR VE SİMGELER

V_e: Kesme kuvveti

V_{dy}: Kesme dayanımı

M_{pi}: Moment (i)

M_{pj}: Moment (j)

I_n: Kiriş boyu

b_w: Kiriş genişliği

d: Faydalı kesit

f_{ck}: Karakteristik beton kuvveti

f_{yk}: Karakteristik akma dayanımı

A_s: Donatı miktarı

Φ_t: Uç kesit toplam eğrilik

Φ_y: Eleman uç akma eğriliği

L_p: Plastik mafsalsal boyu

C10---750: Beton dayanımı 10 MPa, enine donatısız, düşü yüksekliği 750 mm

C10-300-750: Beton dayanımı 10 MPa, 300 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

C10-150-750: Beton dayanımı 10 MPa, 150 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

C10-75-750: Beton dayanımı 10 MPa, 75 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

C10---500: Beton dayanımı 10 MPa, enine donatısız, düşü yüksekliği 500 mm

C10-300-500: Beton dayanımı 10 MPa, 300 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

C10-150-500: Beton dayanımı 10 MPa, 150 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 500 mm

C10-75-500: Beton dayanımı 10 MPa, 75 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 500 mm

C25---1000: Beton dayanımı 25 MPa, enine donatısız, düşü yüksekliği 1000 mm

C25-300-1000: Beton dayanımı 25 MPa, 300 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 1000 mm

C25-150-1000: Beton dayanımı 25 MPa, 150 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 1000 mm

C25-75-1000: Beton dayanımı 25 MPa, 75 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 1000 mm

C25---750: Beton dayanımı 25 MPa, enine donatısız, düşü yüksekliği 750 mm

C25-300-750: Beton dayanımı 25 MPa, 300 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

C25-150-750: Beton dayanımı 25 MPa, 150 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

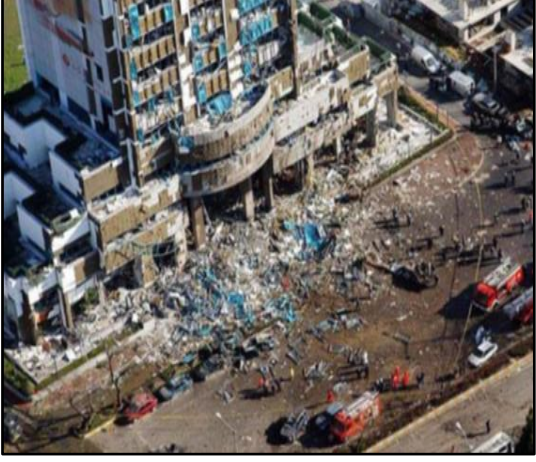
C25-75-750: Beton dayanımı 25 MPa, 75 mm aralıklı enine donatılı, düşü yüksekliği 750 mm

1. GİRİŞ

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/rüzgar gibi dinamik yükler dikkate alınmaktadır. Yapısal hesaplamalara, ani dinamik çarpma yüklerinin meydana getireceği etkiler katılmamaktadır. Fakat betonarme yapılar, statik ve dinamik yüklemelerin yanı sıra endüstriyel veya ulaşım kazaları ya da askeri veya terör olayları nedeni ile kazara veya kasti olarak darbe veya patlama yüklerine maruz kalabilmektedir. Ayrıca betonarme taşıyıcı yapı elemanlarında, ağırlık düşmesi, kaya düşmesi veya ani kütleli su-buzul çarpması gibi durumlar darbe yüklemesi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Geçmişten günümüze kadar birçok kaza veya kasti olarak gerçekleşen patlama sonrası can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Bu tür saldırılardan sonra binalarda oluşabilecek hasarlara ait görüntüler Şekil 1.1’de verilmiştir. Yapılarda, ani dinamik yükleme etkilerinin azaltılmasına yönelik tasarımların yapılabilmesi için öncelikle yapıların patlama etkisiyle oluşacak dinamik etkiler karşısında gösterdiği davranışın yeterli kesinlikte bilinmesi gerekmektedir. Patlayıcıların yapılar üzerinde yarattığı hasarı azaltmak için kullanım sebebi ile özellik arz eden yapıların bu tehlikeye göre tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle kamu, askeri, enerji santralleri gibi yapıların üzerinde patlama etkisiyle oluşması beklenen dinamik yüklerin tam olarak belirlenmesi ve tasarım aşamasında bu yüklerin göz önüne alınması gerekmektedir.



(a)



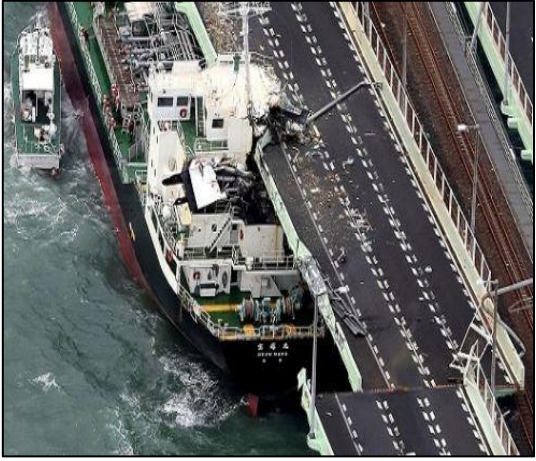
(b)



(c)



(d)



(e)

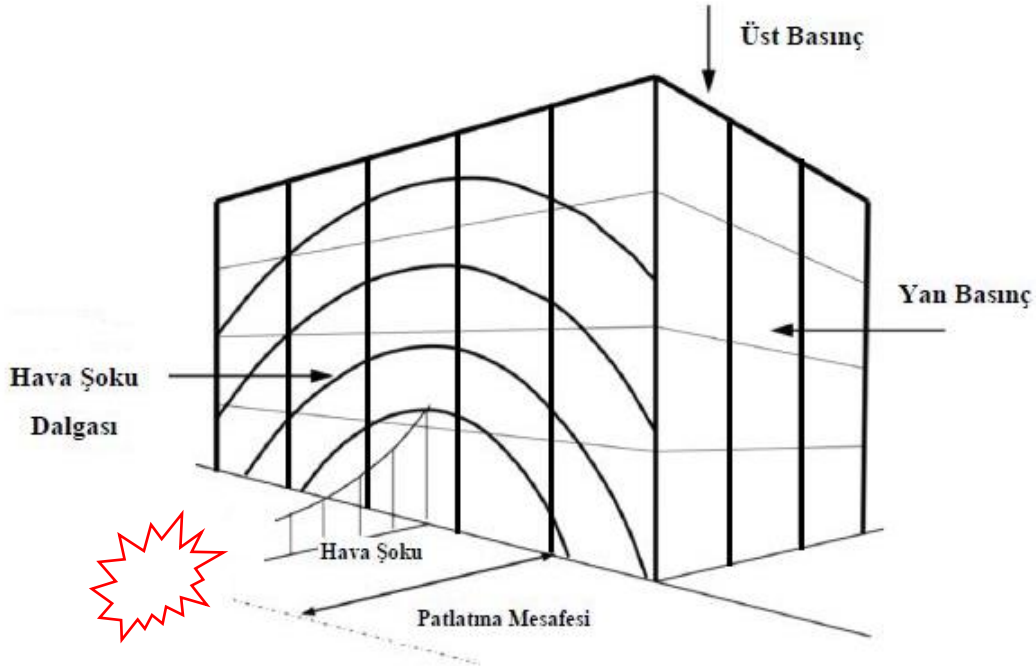


(f)

Şekil 1.1.a. HSBC Genel Müdürlüğü binası bombalanması, İstanbul, **b.** Giriş katına araç çarpması, **c.** Köprü kirişine taşıt çarpması, **d.** Bina içi gaz patlaması, Astrahan, Rusya, **e.** Gemi çarpması, Japonya, **f.** Kaya düşmesi, Gümüşhane, Türkiye

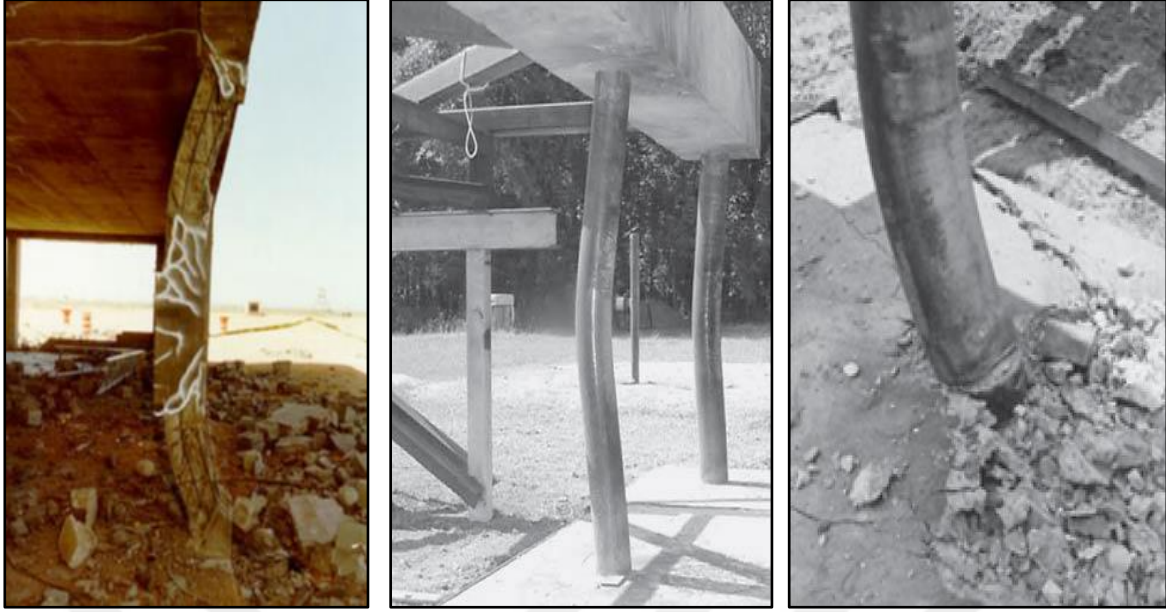
Çarpma yüklemesi düşük ve hızlı çarpma olarak ikiye gruba ayrılabilir. Düşük hızlı bir çarpma durumuna yapısal elemanlara ağırlık düşmesi, yüksek hızlı çarpma durumuna ise patlama veya mermi, top vb. etkiler örnek olarak verilebilir.

Patlama ve çarpma yükleri, sismik yüklerden çok daha kısa bir sürede daha büyük frekanslarda gerçekleşmektedir. Şekil 1.2’de herhangi bir patlama kaynağından yapıya iletilen etkiler gösterilmiştir. Bu etkileri iki temel bileşene ayırmak mümkündür. Birincisi zemin şoku, ikinci etki ise küresel şok dalgası olarak isimlendirilebilir. Bu etkilerden zemin şoku olarak ifade edilen etki, patlamanın zemin ortamında meydana getirdiği dalga ve ortaya çıkan ivmedir. Küresel şok dalgası olarak ifade edilen diğer etki ise patlamanın havada meydana getirdiği basınç dalgası olarak ifade edilebilir ve bu dalgaya hava şoku olarak adlandırılabilir. Bu iki etkinin de ayrı ayrı ölçülerek yapının tasarım aşamasında göz önüne alınması, patlamanın yapılar üzerinde yarattığı etkinin benzeşimini elde etmek açısından son derece önemlidir.



Şekil 1.2. Patlamanın yapılar üzerinde oluşturduğu etkiler

Patlayıcı etkisiyle meydana gelen hava şoku dalgalarının yapı elemanlarına veya yapılara çarpması ani dinamik çarpma örneklerinden biridir. Şekil 1.3’de meydana gelen patlama sonrası oluşan hava şoku dalgası etkisinin çarptığı betonarme bir dış kolon ve beton dolgulu bir çelik kolonun hasar dağılımları görülmektedir.



(a)

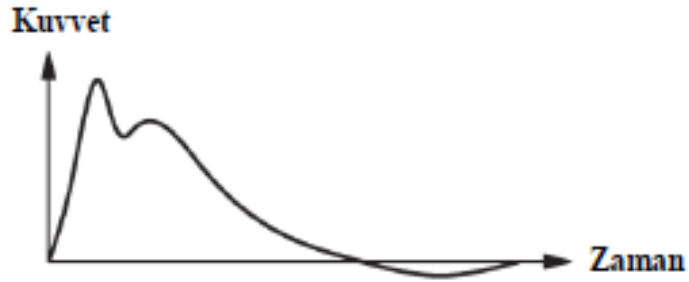
(b)

(c)

Şekil 1.3. a)Patlama etkisiyle oluşan hava şoku dalgası etkisiyle hasar alan betonarme dış kolon, b-c)Patlama etkisiyle oluşan hava şoku dalgası etkisiyle hasar alan beton dolgulu çelik dış kolon

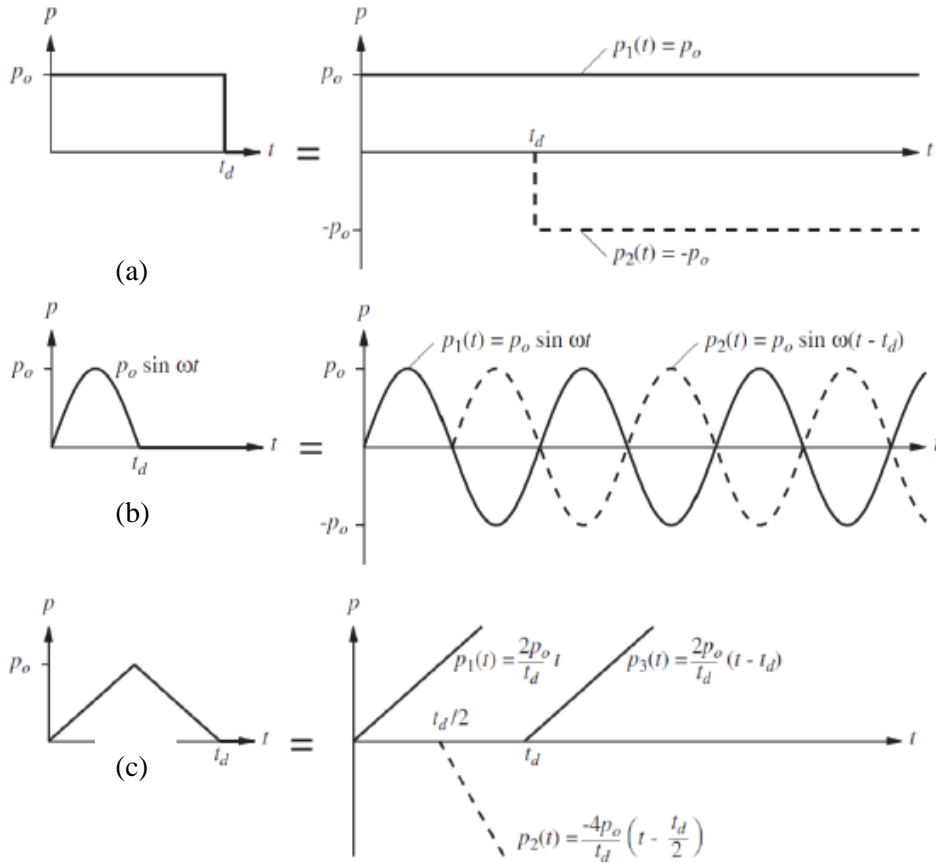
Bir ortamda patlama sonrası ortaya çıkan küresel şok dalgası, yerel basınç ve sıcaklığa bağlı olarak ortamda ilerlemektedir. Bu sebeple patlama sonrası yüksek basınçlı ortamdan düşük basınçlı ortama dalga hızıyla geçiş oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Ortaya çıkan yüksek basınç dalgası yayılması, kuvveti, yayılım süresi ve hızı patlamaya neden olan kimyasal reaksiyona bağlıdır. Fakat zamanla herhangi bir engelle karşılaşmayan şok dalgası yayılır ve arkasındaki hareketli hava genişleyerek atmosfer basıncının altına düşer (Cullis, 2001: 1, Smith, 2004: 1). Küresel şok dalgasının, yapı gibi bir engelle karşılaşması durumunda ise basınçta hızlı bir artış meydana gelir. Ayrıca dalga hareketini tamamen engelleyen sonsuz rijit ve dayanıklı bir yapı olması durumunda basınç en üst düzeyde oluşacaktır. Dalganın hareketinin tamamen sınırlanmasında, kimyasal gazın kinetik enerjisi iç enerjiye dönüşerek daha büyük etkilerin oluşmasına neden olabilir (Scott, 1987: 12). Küresel şok dalgasının karşılaştığı engel ortamda küçük bir alana sahip ise dalga engelin etrafından genişleyerek hareket eder ve ortaya çıkacak basınç en üst düzeye ulaşmadan ortamda yayılır (Smith, 1999: 10). Başka bir deyişle, küresel şok dalgaları ile yapıların etkileşimi büyük ölçüde yapı geometrisine ve dalganın özelliklerine bağlıdır (Absil, 1994: 7). Patlama sonrası karmaşık geometrilerden dolayı farklı yansımaların tahmin edilebilmesi oldukça zordur. Günümüze kadar geliştirilen amprik formüller ise farklı geometriler etrafında gerçekleşecek patlama etkilerinin ve impuls parametrelerinin değerlendirilmesi için yeterli düzeyde değildir.

Patlama veya kütle çarpması sonucunda yapı veya yapısal elemanda oluşabilecek kuvvet etkisi zamana göre tipik değişimi Şekil 1.4'te verilmiştir.



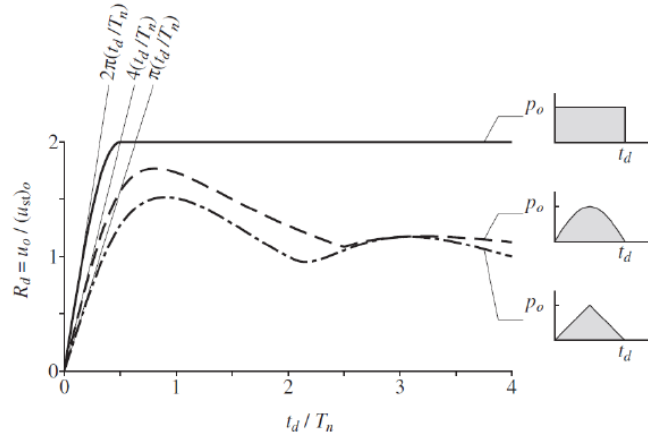
Şekil 1.4. Tek çarpışma tipi kuvvetin zamana bağlı değişimi

Yapı veya yapısal elemanda çarpma etkisine oluşacak tepki çeşitli yaklaşımlarla elde edilmeye çalışılmaktadır. Çarpma türü kuvvetin klasik çözüm, yarım sinüs ve üçgen yükleme gibi basit fonksiyonlarla belirlenmeye çalışılmıştır (Chopra, 2015: 275). Çarpma kuvvetinin zamana göre değişimi için Şekil 1.5'te bazı fonksiyonları verilmiştir.



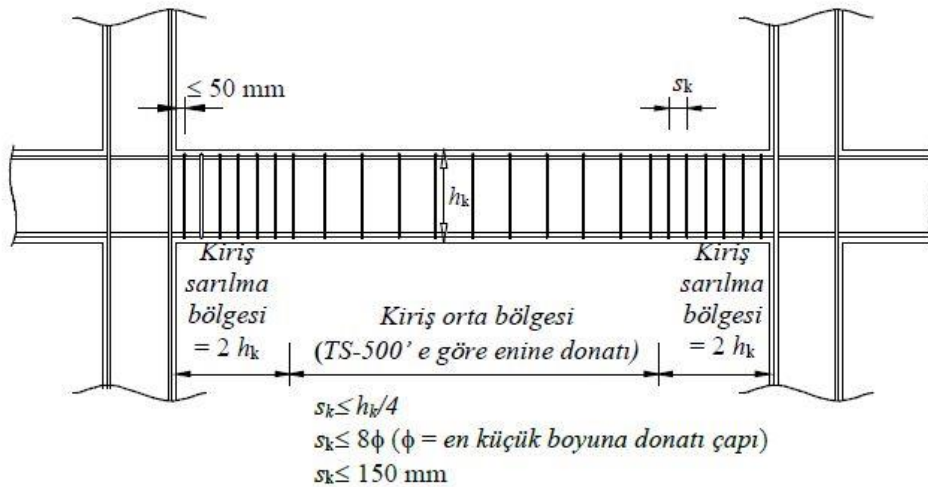
Şekil 1.5. Çarpma türü kuvvetin fonksiyonel ifade türleri, a) dikdörtgen darbe, b) yarım-sinüs darbe, c) üçgen darbe

Çarpma yüklemesini ifade edecek fonksiyonel yaklaşım sonucunda oluşabilecek spektrumları Şekil 1.6’da verilmiştir. Statik yükleme ile karşılaştırıldığında dinamik ani yüklemelerde daha büyük etkiler ortaya çıktığı bilinmektedir. Oluşabilecek dinamik etki sistemin ve darbe kuvvetinin periyoduna bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 1.6. Eşit genlikli üç darbe kuvvetinin spektrumları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’e göre kirişler, mesnetlerden başlamak üzere kiriş yüksekliği iki katı olan bölgeler “Sarıлма bölgesi”, diğer bölgeler ise “kiriş orta bölgesi” olarak tanımlanmıştır. Şekil 1.7’de bu tanımlamaya ve TBDY 2018’de yer verilen kiriş sınır değerler verilmiştir. Kiriş sarılma bölgesinde minimum 8 mm çaplı enine donatıların kolon yüzünden en fazla 50 mm uzaklıkta başlayabileceği belirtilmiştir. Kiriş kesme güvenliği hesaplamalarında en elverişsiz durum için değer elde edilmedikçe enine donatı aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4’ünü, en küçük boyuna donatı çapının sekiz katını ve 150 mm’yi aşmayacaktır. Kiriş orta bölgesinde ise TS 500’de verilen enine donatı koşullarının yerine getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.7. TBDY 2018 kiriş sınır değerleri

TBDY 2018'e göre kirişlerde enine donatı hesaplanmasında V_e , depremin soldan sağa veya sağdan sola etkimesi durumları için elverişsiz sonuçları hesaplanarak elde edilmektedir.

$$V_e = V_{dy\pm} (M_{pi} + M_{pj}) / l_n$$

Düşey yükler ve deprem yüklemesi durumunda hesaplanan D ile artırılmış kesme kuvvetinin toplamının V_e 'den küçük olması durumunda V_e yerine kesme kuvveti kullanılacaktır. Ayrıca hesaplanan V_e kuvveti kesme dayanımı şartını sağlamadığı durumlarda kesit boyutların artırılıp tekrar deprem hesabı yapılması gerekmektedir.

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.85 b_w d \sqrt{f_{ck}}$$

Süneklik düzeyi yüksek kolon-kiriş birleşim bölgelerinde kesme kuvveti;

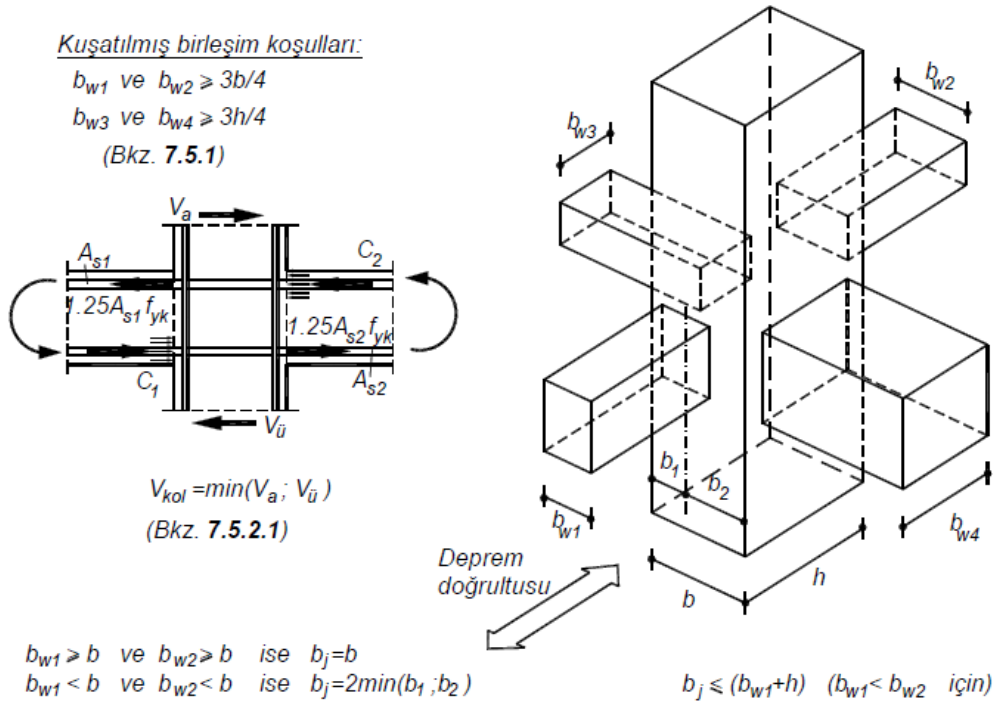
$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol}$$

$$V_e \leq 1.7 b_j h \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{kuşatılmış birleşimlerde})$$

$$V_e \leq 1 b_j h \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{kuşatılmamış birleşimlerde})$$

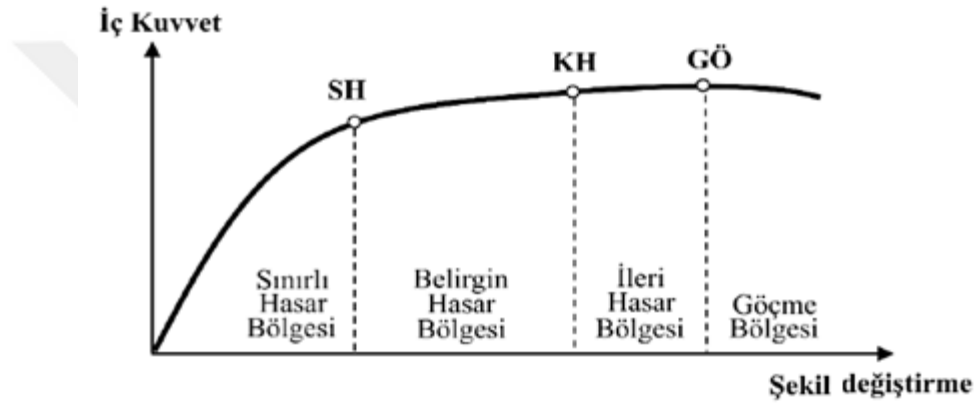
denklemleriyle hesaplanmaktadır. Kirişin kolona sadece bir yönden saplandığı durumlarda

$A_{s2} = 0$ alınması gerekmektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Kolon kiriş birleşim bölgesi

Sünek yapı elemanlarında kesit düzeyinde hasar durumları ve hasar sınırları üç durumla belirlenmektedir. Bunlar; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve sınır değerleridir. Üç durum, Sınırlı hasar için sınırlı düzeyde elastik ötesi davranış, Kontrollü hasar için güvenli elastik ötesi davranış ve Göçme öncesi hasar için kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranış olmasıyla tanımlanmıştır. Gevrek olarak hasar gören kesitler bu sınıflandırmaya girmemektedir. Belirlenen hasar durumlarına göre kesit hasar bölgeleri oluşturulmuştur. Kritik kesitlerde hasarın sınırlı düzeyde kaldığı bölge Sınırlı Hasar Bölgesi, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde ve GÖ'yü aşan elemanlar da ise Göçme Bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Kesit hasar bölgeleri

Betonarme binaların yapı elemanlarında hasar türleri belirlenmesinde kiriş, kolon ve perde kesitlerinde eğilme etki/kapasite oranları (EKO) değerleriyle dikkate alınmaktadır. Yapısal elemanlarda kırılma türü eğilme ise sünek, kesme ise gevrek kırılma olarak sınıflandırılmaktadır. Hasar durumları belirlenmesinde hesap yöntemlerine göre hasar sınırları değişmektedir. Yapısal eleman kesitlerinin birim şekil değişirme ve plastik dönme talepleri dikkate alınarak hasar durumları da belirlenebilmektedir. Elemanın uç noktasında toplam eğrilik talebi;

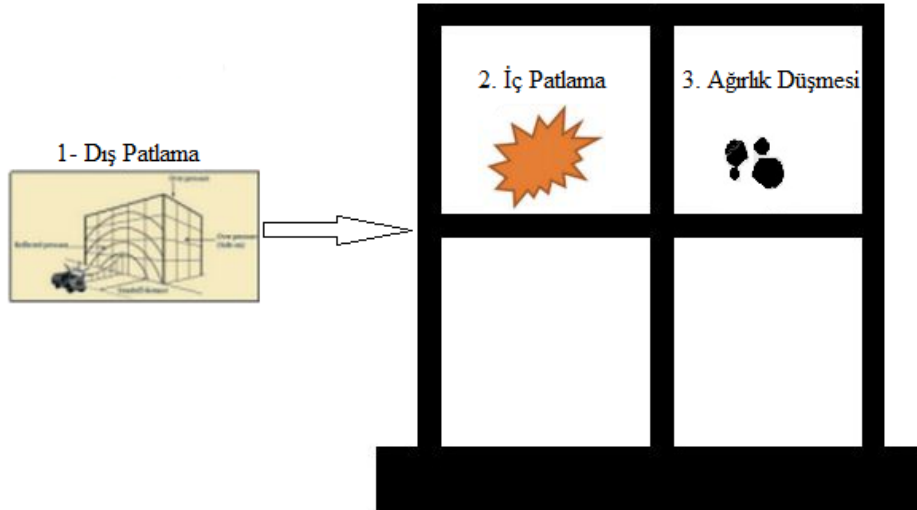
$$\Phi_t = \frac{(\theta_k - \theta_y)}{L_p} + \Phi_y$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda θ_y eleman uç kesitindeki yerdeğiştirmiş eksen akma dönmesi, Φ_y eleman uç kesitindeki akma eğriliği, L_p plastik mafsal boyudur. Betonarme sistemde etkin akma eğriliği (Φ_y) ve etkin akma momenti (M_y) moment-eğrilik analiziyle hesaplanması gerekmektedir.

TBDY 2018 Bölüm 5'e göre doğrusal olmayan deprem hesabı yapılması durumunda, birleşimde izin verilen açılma-kapanma dönmesi, Sınırlı Hasar Performans Hedefi için θ_2 dönmesinden, Kontrollü Hasar Performans Hedefi için 0.02 radyandan, Göçmenin Önlenmesi Performans Hedefi için de 0.03 radyandan fazla olmayacaktır.

Patlama yükünde en belirgin parametre kaynağın özellikleridir. Patlayıcı kaynakları olarak LPG, doğal gaz veya terör saldırılarında kullanılan TNT olabilmektedir. Ayrıca herhangi bir kaynaktan oluşan patlama sonrasında oluşan şok dalgalarının önüne çıkan yapı üzerinde oluşturması muhtemel patlama yükünün tahmin edilmesi oldukça güçtür. Ancak yapı veya yapısal elemanlarda çarpma veya patlama kaynaklı göçme senaryoları üretilmesi yapısal tasarımda darbe yüklemesi hakkında fikir verebilecektir. Yapısal tasarımda göçmeyi önlemek için patlama mekanizmasına en yakın yapısal elemanın çarpma kapasiteleri belirlenmesiyle sağlanabilecektir. Bu durumda ise varsayılan patlama senaryolarında hasar alması muhtemel kolonların neden olabileceği kısmi göçme senaryolarının belirlenmesi gerekmektedir. Böylece mafsallaşma sonrası oluşacak mekanizmanın tahmini oluşacaktır. Bu senaryolarda en riskli yapılar aks üzerinde az kolonlu yapılardır (Şekil 1.10).

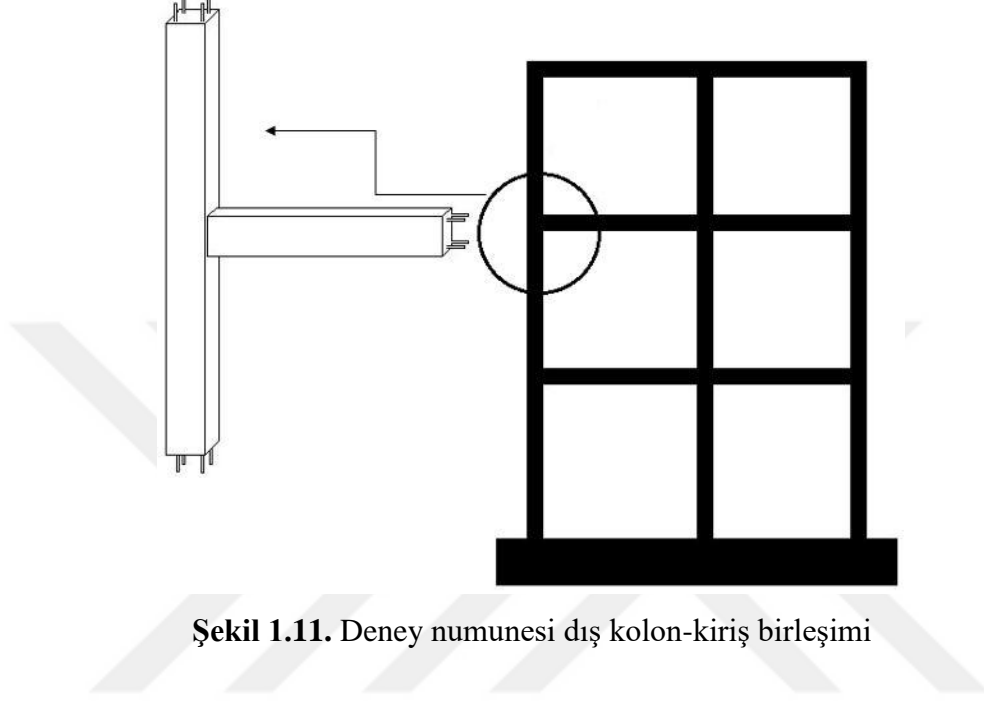
Bu nedenlerden dolayı yapısal elemanlarda güvenli bir şekilde dinamik değerlendirme yapılabilmesi için dinamik etkiler altında yapıyı oluşturan yapısal elemanlar üzerinde deneysel çalışmalar yapılması gerekmektedir.



Şekil 1.10. Ani yükleme senaryoları

Bu tez kapsamında, çarpma yüklemesi altında betonarme kolon-kiriş birleşim elemanlarının dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma için 1/3 ölçekli dış betonarme kolon-kiriş birleşim elemanları üretilmiştir. Kiriş serbest uzunluğu 1500 mm olmak üzere 200x200 mmxmm kolon ve kolon merkezine yerleştirilmiş 100x150 mmxmm

kiriş elemanında oluşmaktadır (şekil 1.11). Üretilen betonarme kolon-kiriş elemanlarında ani dinamik yükleme durumları serbest ağırlık düşürme testleriyle belirlenmiştir. Deneysel çalışmada, beton basınç dayanımı, düşü yüksekliği ve kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatı aralığı değişken olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, zamana bağlı olarak kiriş uç ivmesi, kiriş uç deplasmanı, çarpma yükü, kesme ve eğilme çatlak genişlikleri elde edilmiştir.



şekil 1.11. Deney numunesi dış kolon-kiriş birleşimi

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Banthia (1987) Bristish Columbia Üniversitesinde “Betonun Darbe Dayanımı” başlıklı doktora tezinin deneysel kısmını, 42-82 MPa arasında değişen beton basınç dayanımlarına sahip, üç farklı kesitte, 500 adet oluşturulan betonarme kiriş numunelerine serbest ağırlık düşürme testlerinden oluşturmaktadır. Deneylerde, ağırlık düşürme yükseklikleri 150-2300 mm aralığında değişmektedir. Darbe testinde potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüşmesi temel ilkesiyle düşürülen ağırlığın sahip olduğu kılavuzlarla arasındaki sürtünmeyi hesaplamıştır. Çalışmanın diğer kısmında ise çatlak boyutu ve çatlak gelişim hızını incelemiştir. Sonuç olarak betonun ani ve çok hızlı gelişen deformasyon oranlarını kestirmenin oldukça zor olduğu kanaatine varılmıştır.

Barr ve Boumrata (1988) lifle güçlendirilmiş beton numuneleri üzerinde göçmeye götürecek düşü sayısını bulmaya çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada, ACI 544’de yer verilen öneriler doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. ACI 544’de önerilen deney düzeneği; 63.4 mm kalınlığında ve 152 mm çapında numunelere 4.5 kg’lık bir çelik topun 457 mm yüksekten düşürülmesini içermektedir. Çalışmalarında beton numunelerinde su/çimento oranı 0.5 ve karışım oranları çimento: kum: agrega sırasıyla 1:1.8:2.8’dir. Güçlendirici lifler toplam hacmin yüzdesi olarak 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 oranlarına sahiptir. Numunelere 28 günlük kür havuzunda bekletilme işleminin 21. gününde kür havuzundan çıkarılarak 10, 20 ve 30 mm olmak üzere çentikler açılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda göçmeye götürecek düşü sayısı, düşü yüksekliği ve açılan çentik boyutu ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

Liu ve Jones (1987, 1988) yaptıkları teorik çalışmayı desteklemek için iki ucu ankastre mesnetli rijit-plastik kirişlerin çarpma etkisi altında davranışlarıyla ilgili deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Toplamda 260 adet olan kiriş numuneleri deformasyon hızına çok duyarlı yumuşak çelik ile az duyarlı olan alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Kiriş numune geometrileri düz lama ve kalın uçlu olmak üzere iki şekilde üretilmiştir. Serbest düşürme deneylerinde ağırlık olarak 3 kg ve 5 kg, düşürme yükseklikleri olarak 0.17 m ile 7.2 m arasında değişen yükseklikler, çarpma hızı değerleri de 1.78 m/sn ile 11.65 m/sn arasında değişmektedir. Deneysel anlarını yüksek hızlı kamerayla kayıt altına almışlardır. Elde edilen görüntüleri incelediklerinde çarpmanın ilk evresinin çok kısa sürede gerçekleştiğini ve belirgin olmadığını belirlemişlerdir. Alüminyum kirişler için deney sonuçları ile teorik sonuçların örtüştüğünü, çelik kirişlerde ise statik akma yerine dinamik akma dayanım değeri kullanıldığında teorik çalışma ile uyumlu olduğunu görülmüştür. Kırılmalar, eğilmeye bağlı ve kesmeye bağlı olmak

üzere iki tipte gerçekleşmiştir. Mesnette bölgelerine yakınlaşan çarpmalarda kırılma tipinin eğilmeden kesmeye dönüştüğünü belirlemişlerdir.

Wen (1995) vd., rijit-plastik malzeme ve dinamik ile statik yükleme durumunda aynı deformasyon özelliği göstereceği kabulüyle, iki ucu ankastre mesnetli olan kirişlerin açıklıklarının herhangi bir noktasına düşük hızlı çarpma yüküne maruz kalma durumlarını teorik denklemlerle ortaya koymuştur. Oluşturduğu teorik denklemleri alüminyum ve yumuşak çelik kirişlerin test edildiği deneysel verilerle karşılaştırıldığında ise deplasman ve göçme şekli bakımından yakın sonuçlar verdiğini görülmüştür.

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 çalışılmıştır. 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 enerjisinin artışının güçlendirilmiş betonda normal betondan daha fazla olduğu sonuçlarına varılmıştır.

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.

Çelik (2000) vd., ağırlık test yöntemiyle çelik lifle güçlendirilmiş betonun basınç tokluğu ve darbe enerjisini incelemişlerdir. Numuneler, çelik lif oranı olarak beton hacminin %0.5, %1, %1.5 ve %2 ve su/çimento oranı 0.31 olacak şekilde oluşturulmuştur. Düşürülen ağırlık 13.5 kg ve düşü yüksekliği 300 mm'dir. Elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden yutulan toplam enerjiler bulunmuştur. Sonuç olarak çelik lif miktarının artmasıyla darbe direncinin arttığını gösterilmiş ve ultra yüksek dayanım beton numunelerinde çelik lif oranı ile çarpma enerjisi arasında logaritmik bir fonksiyon elde edilmiştir.

Yu (2001) vd., uçlarına kütle çarpan konsol kiriş çiftlerin dinamik davranışlarını rijit-tam plastik genel çözüm, rijit-tam plastik modal çözüm ve sonlu eleman yazılımı DYNA3D kullanımı ile elastik-tam plastik yaklaşımlarıyla incelemişlerdir. Çarpma sonrasında çarpan

ağırlığın kiriş uçlarına yapışarak birlikte hareket ettiği kabul edilmiştir. Çalışmada dikdörtgen kesite sahip kirişlerin kiriş yüksekliklerine göre enerji paylaşımı gerçekleştirdiğini göstermişlerdir. Ayrıca plastik eğilme moment kapasiteleri aynı, kütleleri farklı olan kirişlerde, ağır olan kirişlerin hafif kirişlere göre daha az enerji sönümlendiğini ve enerji paylaşım yaklaşımlarından en az hata payının rijit-tam plastik yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda birbirine çarpan iki kirişin dinamik davranışını rijit-plastik malzeme kabulü ile teorik olarak incelenmiştir. Yaptıkları çalışma, kiriş eksenleri bakımından birbirine dik konumda olan iki kirişin çarpma durumunu içermektedir. Çalışmalarında, enerji paylaşımında; kiriş birim ağırlıkları, plastik eğilme moment oranları ve kiriş boyları gibi parametrelerin önemli etken olduğu sonuca varılmıştır.

Kishi vd., (2002) kesme biçiminde göçen betonarme kiriş elemanların çarpma etkisi altında tasarımını geliştirmek için ağırlık düşürme deneyleri yapmışlardır. Deney elemanlarını; kesiti 150x250 mmxmm ebatlarında, uzunlukları ise 1000, 1500 ve 2000 mm olan betonarme kirişlerden oluşmaktadır. Deneyler, kirişlerin açıklık ortasına 300 kg ağırlığın serbest düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde çarpma kuvveti, reaksiyon kuvveti ve kiriş açıklık ortasından deformasyon ölçümleri alınmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, statik kesme kapasitesi ile statik eğilme arasındaki oranın 1'den küçük olduğu betonarme kirişlerde çarpmanın gerçekleştiği noktadan mesnetlere uzanan diyagonal çatlaklar oluştuğu ve kesmeden dolayı tepki kuvveti-deplasman grafiğinin üçgen olduğu kanaatine varılmıştır.

Yang vd., (2003) iki ucu ankastre ve iki ucu serbest olan bir kirişin orta noktasına serbest ağırlık düşmesi ile oluşan çarpma durumunu teorik olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kirişlerin tam plastik eğilme momentleri ile boy oranlarının, enerji paylaşımı ve deformasyon üzerinde etkisini göstermişlerdir. Serbest kirişin plastik davranışı önce kesme daha sonra eğilmeye bağlı olarak şekillenmiştir.

Bren vd., (2005) polimer tabakaların üzerinde hem deneysel hem de analitik olarak çarpma hızının etkisini incelemiştir. Analitik çalışmada çarpma hızının artmasıyla gerilme yığılmalarının artışları gösterilmiştir. Sonuç olarak dinamik yükleme durumunda gerilme düzeylerinin yarı statik yükleme durumlarına göre %20 daha fazla olarak elde edildiğini gösterilmiştir.

Remennikov ve Kaewunruen (2006) patlatma yüklerine maruz kalan 1/4 ölçekli betonarme kolonlar üzerinde hem darbe hem de statik yükleme deneyleri yapmışlardır. Darbe yükleme durumları kolon orta noktasına 160 kg'lık serbest ağırlık düşürme deneyleriyle

gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, darbe tepki kuvveti, maksimum açıklık deformasyonu ve reaksiyon kuvvetleri kayıt altına alınmıştır. Statik yükleme deneylerinde, darbe yükleme durumuna göre yük sapmaları ve kırılma tepkilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca donatı çeşidi değiştirilerek statik ve darbe yükleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak dayanımın, donatı çeşidine göre değil kesme donatısı veya eğilme ve çekmeye karşı dayanıklılık durumunun belirlendiğini görülmüştür.

Malvar vd., (2007) patlama etkisi altında FRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Betonarme kolon elemanların performansları güçlendirme oranına bağlı olarak arttığını gösterilmiştir.

Bambacha vd., (2008) içi boş ve içi beton dolu olan kare kesitli kompozit kirişlerin, düşük hızlı yükleme altındaki dinamik davranışını deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Deney numuneleri, 3 farklı kutu kesitte (20, 35, 50 mm), 1000 mm açıklıkta ve iki ucu ankastre mesnetli olacak şekilde oluşturulmuştur. Deney elemanlarına yükleme, kiriş ortasına statik ve serbest yük düşürülmesi olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Sonuçta kutu kesitlerin içlerinin beton ile doldurulmasının lokal deformasyonu önemli ölçüde azalttığını ve kesitin taşıma kapasitesini %83 oranında arttırdığını gözlemlenmiştir. Teorik hesaplamalarda ise düşük enerjili elastik çarpma durumlarından sönmölen enerji düzeyleri hesaplanmıştır.

Saatçi ve Vecchio (2009) kesme dayanımı ile çarpma yükü arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla betonarme kirişlerde serbest ağırlık düşürme testleri yapmışlardır. Deney elemanlarını, iki ucu sabit mesnetli 250x410 mm kesitli, 4880 mm boyunda üretilen 8 adet betonarme kirişten oluşmaktadır. Deneyler, kirişlerin orta noktasına 3.26 m yükseklikten 211 kg ve 600 kg'lık ağırlıklar düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kirişler, boyuna donatı oranları aynı iken kesme donatısı açısından farklılıklar gösterecek şekilde her bir grupta ikişer özdeş kiriş olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Her gruptaki bir kiriş numune statik yükleme altında test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda kesme dayanımı yüksek olan kirişlerin hasar oluşması için daha fazla sayıda ve daha büyük ağırlıklarda yükler düşürülmesi gerektiği görülmüştür. Bu durumu, betonarme kirişlerin çarpma yükü altında davranışını temsil eden bir yöntemin kesme kapasitesine bağımlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışmalarında, statik yükleme ile çarpma yüklemeleri sonuçlarını, deformasyon açısından incelendiğinde oldukça farklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Bhatti vd., (2009) kesme dayanımı açısından yetersiz olan betonarme kirişlerde çarpma davranışını hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi yaparak incelemişlerdir. Çalışmada,

200x400 mmxmm kesitlerinde ve iki farklı kesme donatısı oranına göre 2000 mm açıklığında basit mesnetli 12 adet betonarme kirişte deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kiriş orta noktasına 400 kg'lık bir çelik ağırlık farklı yüksekliklerden bırakılmıştır. Çalışma sonucunda, çarpma kuvveti, mesnet reaksiyonları, deplasman değerleri ve çatlak dağılımlarını elde edilmiştir. Modellemeyi LS-DYNA sonlu elemanlar programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Nümerik modellemede, beton için bilinear, akmada birim şekil değiştirmesi 0.0015 değeri, çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u olduğu, plastik pekleşme elastik modülün %1 olduğu ve ağırlık, mesnetler ve ankraj plaklarının lineer izotropik malzeme olduğu kabulüyle oluşturulmuştur. Önerilen sonlu elemanlar analizinde çarpma kuvveti-deplasman ve mesnet reaksiyon kuvveti-deplasman eğrilerinin deneysel çalışma ile uygunluğunu gösterilmiştir.

Farnam vd., (2010) HPFRC (yüksek performanslı lifle güçlendirilmiş beton) ve FRC (lifle güçlendirilmiş beton) ile dayanımı artırılmış elemanlarda çarpma etkisini incelemişlerdir. Deney elemanlarının boyutları, 300x300x23 mm ve düşürülen ağırlık 8.5 kg'dır. Deneylerde numunelerin, çatlak durumlarını, kırılma şekillerini ve deformasyonlarını incelemiştir. Deneysel verileri sonlu eleman programı olan LS-DYNA ile modellemişler ve test sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

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 bulunulmuştur. Beton dayanımının artmasıyla göçmeye neden olacak düşü sayısının arttığını gözlemlenmiştir.

Kantar ve Anıl (2012), çarpma hızının karbon elyaf takviyeli polimer ile güçlendirilen betonarme kirişler üzerinde etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmada değişken olarak beton basınç dayanımı ve düşü yüksekliği olarak belirlenmiştir. Ortalama basınç dayanımları 25–44 MPa arasında değişen donatısız kiriş elemanları, 550-600-650-700-750 mm düşü yüksekliğinde 5.25 kg ağırlığa maruz bırakılmıştır. Serbest ağırlık düşürme deneyler sonrasında ivme, yutulan enerji ve gerilmeler ABAQUS sonlu elemanlar programıyla doğrulanmıştır. Sonuç olarak çarpma etkisinde beton kiriş elemanlarında göçme mekanizmasının elde edilebilmesi için düşü sayısı ve düşü yüksekliğinin artması gerektiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz vd., (2014) beton kirişler elemanlarında statik ve ani dinamik yükleme durumlarını beton kiriş elemanlarında incelemiştir. Deneysel çalışmada, 710x150x150 mm 6 adet ebatlarında beton kirişler üretmiştir. Üretilen deney elemanları 1 adedi statik yükleme diğer 5 adedi ise 300-350-400-450-500 mm düşü yüksekliğinde serbest bırakılan 5.25 kg ağırlığa maruz bırakılmıştır. Deneyler sonucunda kiriş orta nokta deplasman değerleri, ivme ve tüketilen enerji miktarları statik ve dinamik durumlar için karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarını aynı zamanda analitik olarak doğrulanmıştır. Yükleme durumuna göre enerji yutma kapasitesinin, maksimum-minimum yük kuvvetinin ve göçme modunun değişmesine neden olduğunu görmüştür.

Tokgöz (2015), yaptığı tez çalışmasında 8 adet kare kesitli olarak üretilmiş betonarme kolonlarda ani çarpma davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. 9 kg ağırlığı 100 cm yükseklikten düşürerek serbest ağırlık düşürme deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneylerde, ivme, deplasman ve yük değerlerini zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Deney sonucunda göçme mekanizmalarını, ivme-zaman, deplasman-zaman grafiklerini elde edilerek enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır.

Juechun vd., (2016), yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı betonarme elemanların darbe ve patlama yükleri altında davranışını deneysel olarak incelemiştir. Çalışma için 200 x 200 x 2500 mm ebatlarında 8 adet ultra yüksek dayanımlı ve 6 adet yüksek dayanımlı betonarme kolon üretilmiştir. Betonarme kolonlarda, eksenel kuvvet 0 ve 1000 kN olmak üzere 1.5 m mesafeli TNT kaynaklı patlama sonrası davranış için deney düzeneği oluşturmuşlardır. Betonarme kolonlarda elastik davranış için 1 kg TNT, plastik davranış için 17.5 kg TNT ve göçme davranışı için 35 kg TNT kullanılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde ultra yüksek dayanımlı kolonlarının yüksek dayanımlı kolonlara göre dayanım ve deplasman açısından daha dayanıklı ve eksenel yüklü kolonlarda daha az sapmaların olduğunu belirlenmiştir.

Grimsno vd., (2016) çarpma yüklemesine maruz kalan kiriş-kolon cıvatalı birleşimleri incelemiştir. Modelde malzeme, elastik-termoviskoplastik, gerinim ve termal duyarlılığına sahip olarak oluşturmuşlardır. Yaptıkları analitik çalışmayı daha önceden gerçekleştirilen deney sonuçlarıyla kuvvet-deplasman ve hız-zaman eğrileri açısından karşılaştırılmış ve uyum sağlanmasından sonra model üzerinde alın levha kalınlık değişimi, eksenel yük değişimi ve döşeme levha durumları incelenmiştir. Alın levhası kalınlığının azaltılmasıyla, cıvata deformasyonundan önce daha büyük eğilme momenti artışlarına neden olduğunu belirlenmiştir. Analitik modeldeki birleşim detayı için eksenel kuvvet artmasıyla deplasman göçme değerinde

kayda değer bir azalma gerçekleşmediğini, birleşim detayına dōřeme ilave edilmesiyle gōmeden önce global deformasyonların azaldığı saptanmıştır.

Yang vd., (2018) arpma yükleri altında elik kiriş-kolon birleşimlerini ABAQUS programında nümerik olarak incelemişlerdir. Sayısal ve deneysel sonuçları karşılaştırarak kiriş-kolon birleşiminde dinamik tepkilerin tahmin edilebileceğini gōsterilmiřtir. Çalışmada, birleşim bōlgesine uygulanan darbe yükünün artırılmasının dikey yer değiştirme ve yatay gerilmelerin artmasına yol açtığı, açıklık derinlik oranında etkin bir parametre olduğunu belirtilmiştir.

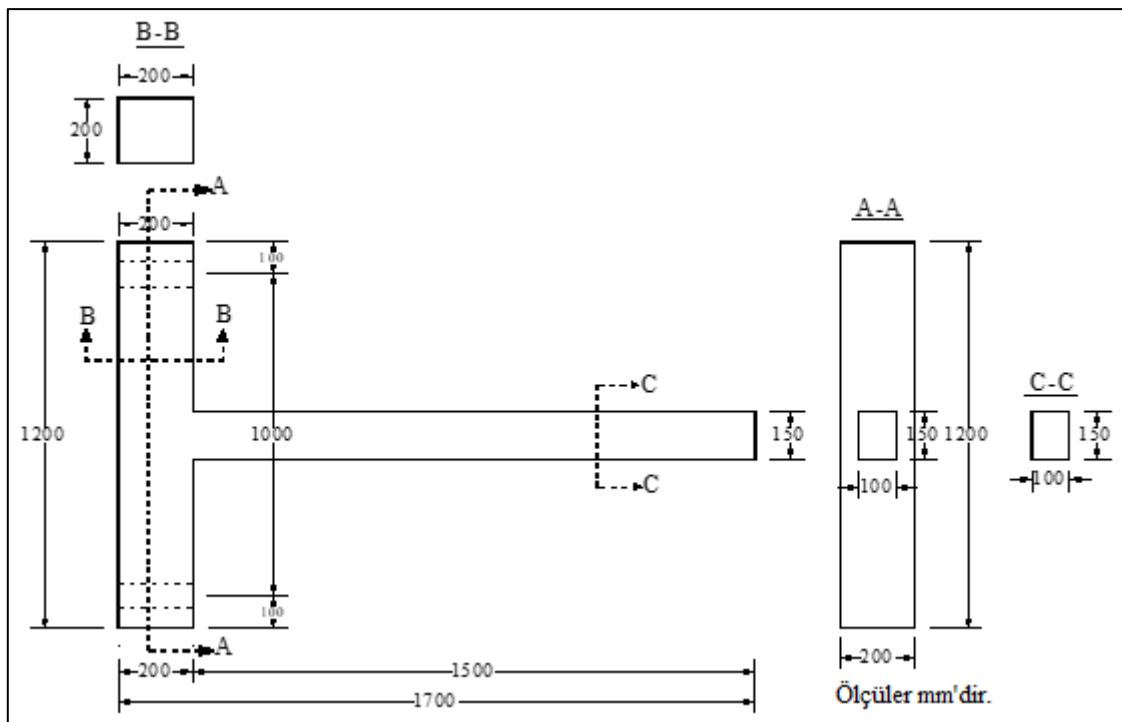
Yapılan literatür taramasında çarpma dinamik yükleme durumunun, yapılar üzerinde oluşan zemin şoku ve küresel şok dalgasının ayrı ayrı ölçülerek değerlendirildiği kapsamlı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Literatürde, patlatmanın yapılar üzerinde oluşturduğu etkilerin incelendiği çok sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup, bu çalışmaların büyük bir kısmında da sadece hava şoku profili incelenebilmiştir. Yine literatür taramasında rastlanılan bir başka eksiklik de çalışmaların çok büyük bir kısmının nümerik temelli olması ve deneyler ile doğrulanma imkanı sağlanmamış olmasıdır. Ancak yapılan incelemeler sonrasında betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin ani dinamik çarpma yükleme etkisindeki davranışlarının incelendiği bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasının konusu farklı kesme donatı oranına sahip betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin ani dinamik çarpma yükleme altında davranışlarının incelenmesi olarak belirlenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Elemanları

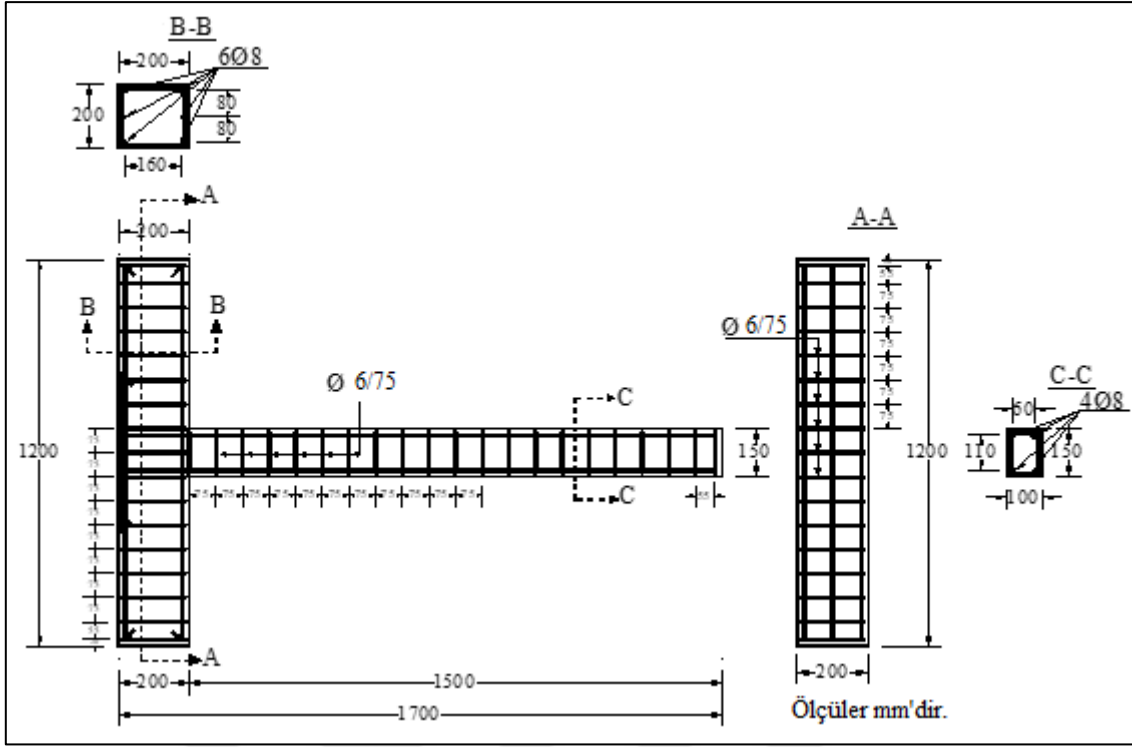
3.1.1. Geometrik özellikler

Deney elemanları dış kolon-kiriş birleşimini temsil edecek şekilde 1/3 ölçekli olarak boyutlandırılmıştır. Betonarme olarak üretilen kolon kiriş birleşimlerin kesitleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Deney elemanlarının üretiminde C10 ve C25 beton sınıfları ve S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Serbest ağırlık düşürme testleri yapılarak üretilen deney elemanlarının çarpma davranışları incelenmiştir. Deneysel çalışmada, kirişin serbest ucu çarpma noktası olarak belirlenmiştir.

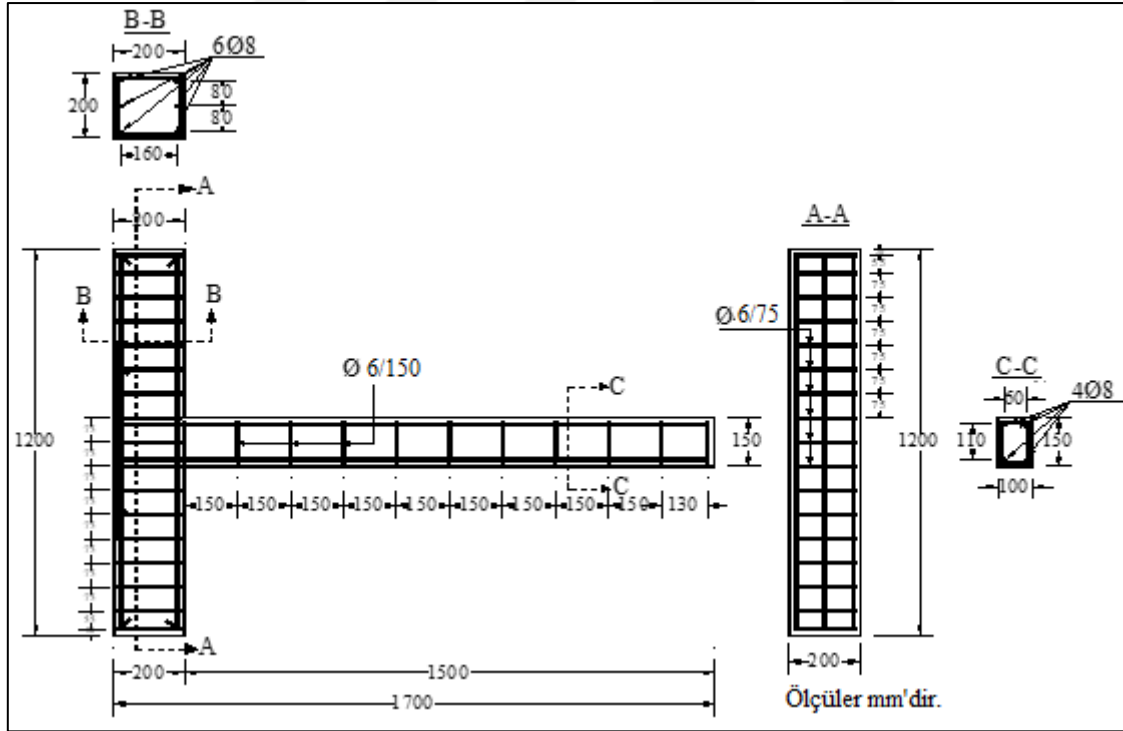


Şekil 3.1. Deney elemanlarının boyutları

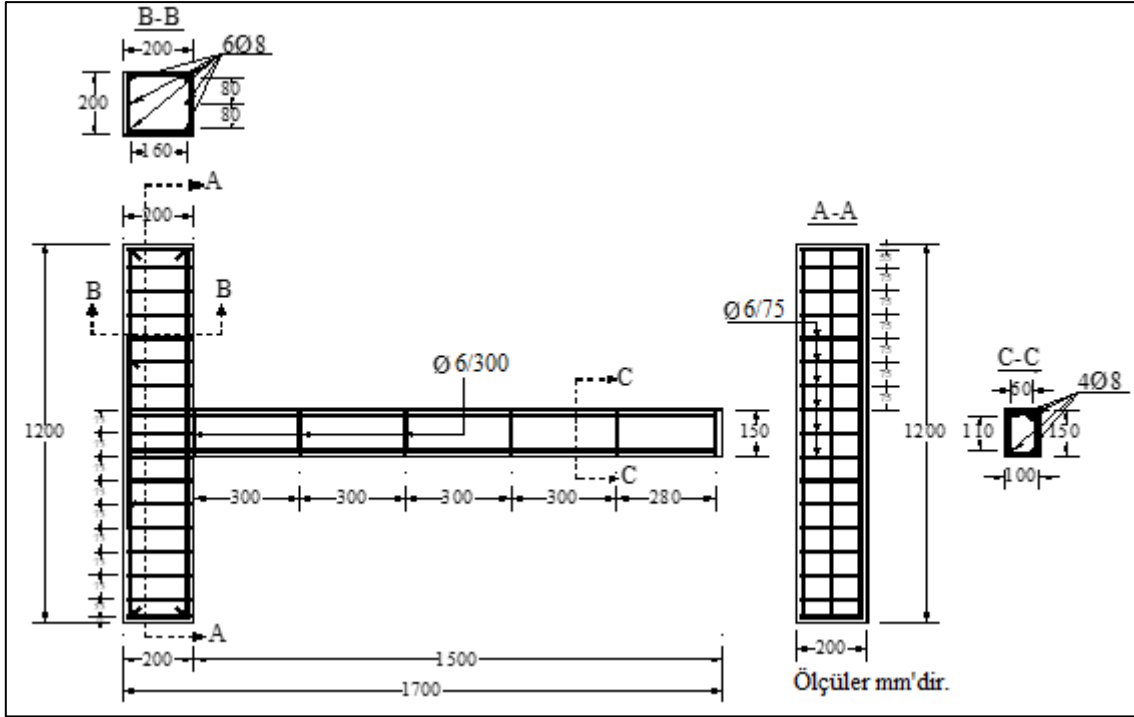
Deney numunelerinde kolon kiriş bölümlerinde ana donatılar 8 mm çapında, kesme donatıları ise 6 mm çaplı nervürlü donatı olarak teşkil edilmiştir. Kolon kiriş birleşimlerinde net beton örtüsü 20 mm olarak belirlenmiştir. Kolon bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralıkları 75 mm, kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatıları, 75 mm, 150 mm, 300 mm ve kesme donatısı olarak oluşturulmuştur. Betonarme deney elemanlarının boyut ve kesitleri kesme donatısı aralığı 75 mm olan numuneler için Şekil 3.2’de, 150 mm olan numuneler için Şekil 3.3’te, 300 mm olan numuneler için Şekil 3.4’te ve kiriş bölümlerinde kesme donatısı olmayan numuneler için boyut ve kesitleri Şekil 3.5’te verilmiştir



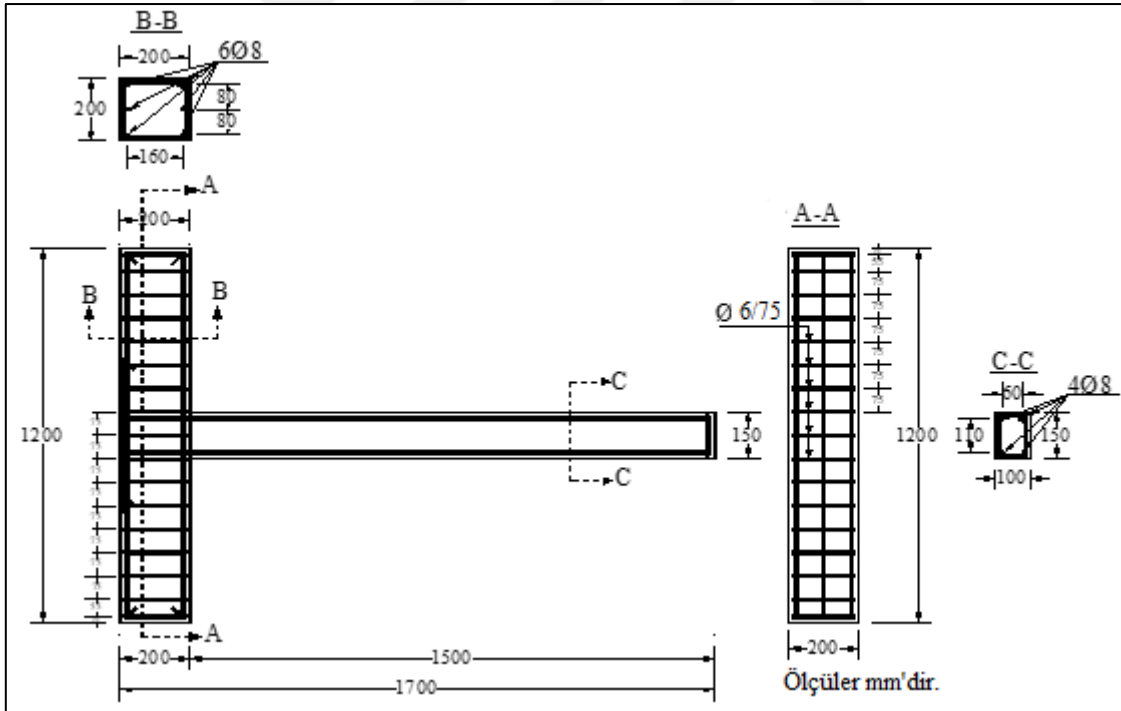
Şekil 3.2. Betonarme deney numunesi (1, 5, 9, 13)



Şekil 3.3. Betonarme deney numunesi (2, 6, 10, 14)

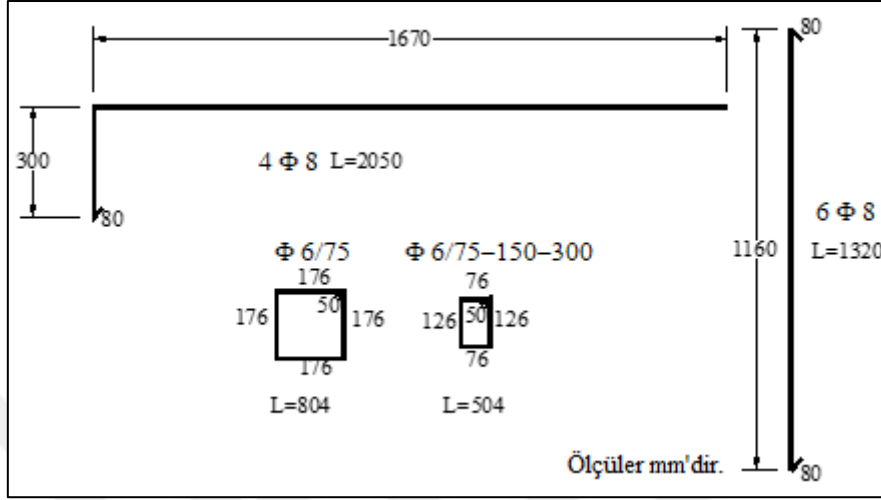


Şekil 3.4. Betonarme deney numunesi (3, 7, 11, 15)



Şekil 3.5. Betonarme deney numunesi (4, 8, 12, 16)

Betonarme kolon kiriş birleşim elemanlarında kiriş bölümlerine yerleştirilecek enine donatılar değişkenlik gösterirken boyuna donatılar kolon bölümüne bağlantılı olacak şekilde teşkil edilmiştir. Deneysel elemanlarında enine donatılar 135° açı ile bükülerek imal edilmiştir. Betonarme kesitlerinde yer alan donatı açılımları Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Donatı açılımları

3.1.2. Deneysel parametreleri

Deneysel çalışmada, kesme donatısı değişen kolon kiriş birleşimlerinde çarpma davranışının belirlenmesi için oluşturulan numune isimlendirilmesi Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Numune Parametreleri

Numune No	Hedeflenen Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Etriye Aralığı (mm)	Düşü Ağırlığı (kg)	Düşü Yüksekliği (mm)
1	10	-----	84	750
2		300		
3		150		
4		75		
5		-----		
6		300		
7		150		
8		75		
9		-----		
10	25	300		1000
11		150		
12		75		
13		-----		
14		300		
15		150		
16		75		750

Üretilen deney elemanları rijit duvara tijler yardımıyla sabitlenmiştir. Deneysel ekipmanları; 1 adet ivmeölçer, 1 adet yük ölçer, 6 adet LVDT ve veri toplama cihazı oluşturmaktadır. Serbest olarak belirli bir yükseklikte belirli bir enerji hedefiyle bırakılan ağırlık bölgesel gerilme yığılmalarını önlemek için ağırlığın bırakıldığı noktaya metal aparat çelik vida ile monte edilmiştir. Ayrıca numune ile metal aparat arasına kauçuk tabakalar yerleştirilerek hareketin en az kayıpla betonarme elemana geçmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada en hassas ölçümlerin alınması için ivmeölçerlerin çelik dübel vida içerisine yerleştirilen pirinç aparatlar konumlandırılarak sağlanmıştır.

3.2. Malzeme Özellikleri

3.2.1. Beton

Beton karışım hesapları TS802 “Beton Karışım Tasarım Hesapları” göre oluşturulmaktadır. Deney elemanlarında kullanılan betonun ortalama 28 günlük basınç dayanımları 10 ve 25 MPa olmak üzere iki farklı grupta oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmada kullanılan beton hazır beton santralinde üretilerek döküm alanına mikser ile getirilerek laboratuvar ortamında beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerin üretilmesinde hedeflenen beton sınıfları C10 ve C25'tir. Kullanılan beton sınıfların ortalama basınç dayanımları her farklı beton üretimi sırasında alınan üçer adet küp numunesinin test edilmesi ile bulunmuştur. Alınan numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesi Şekil 3.7'de gösterilen bilgisayar kontrollü pres yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen 28.gün ortalama beton basınç dayanımları Tablo 3.2'de verilmiştir. Hedeflenen C10 sınıfı için 28. Gün ortalama 9.61 MPa, C25 sınıfı için ise ortalama 30.44 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 3.7. Basınç dayanımını testinde kullanılan bilgisayar kontrollü pres

Tablo 3.2. Beton basınç dayanımları

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	
C10			
28.gün	kN	MPa	Ortalama
1.Deney	208.125	9.25	9.61
2.Deney	216	9.6	
3.Deney	224.5	9.98	

3.2.2. Donatı çeliği

Betonda oluşan çekme kuvvetlerini karşılamak için çekme bölgesine çelik donatı yerleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında S420a sınıfı donatı çeliği kullanılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan donatılar tek seferde aynı fabrikadan alınmıştır. Kullanılan donatı çapları ve mekanik özellikleri Tablo 3.3' de verilmiştir.

Tablo 3.3. S420a çubukların mekanik özellikleri

TS 708 Standart Sınır Değerleri				
Min. Akma Dayanımı (N/mm ²)		Çekme Dayanımı (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	

3.3. Numunelerin üretimi

Deneylerde kullanılmak üzere ortalama beton basınç dayanımı 30.44 MPa olan 6 adet ve ortalama beton basınç dayanımı 9.61 MPa olan 6 adet betonarme konsol-kiriş birleşim numunesi üretilmiştir. Boyutlar tüm betonarme konsol kirişler için sabit tutulmuştur. Kirişlerde ikisi altta ikisi üstte olmak üzere toplam 4 adet 8 mm çapında boyuna donatılar mevcuttur. Konsol kirişlerde farklı etriye açıklıklı olarak 4 farklı kesme donatılı eleman oluşturulmuştur. Çalışmada S420a betonarme çeliği kullanılmıştır. Betonarme kolon-kirişler birleşim numuneleri için ahşap plywood kalıplar hazırlanmıştır. Beton dökümü, her iki dayanım sınıfına göre hazır beton santralinden temin edilerek tek seferde gerçekleştirilmiştir. Beton dökme

işlemeden önce ahşap kalıplar temizlenmiş ve kalıplar ince bir tabaka oluşturacak şekilde kalıp yağı ile yağlanmıştır (Şekil 3.8).



(a)

(b)

Şekil 3.8. Numunelerin hazırlanması a) Ahşap kalıp b) Donatı

Montajı daha önce hazırlanmış olan donatılar kalıplara yerleştirilmiş ve pas payları ayarlanmıştır (Şekil 3.9, Şekil 3.10).

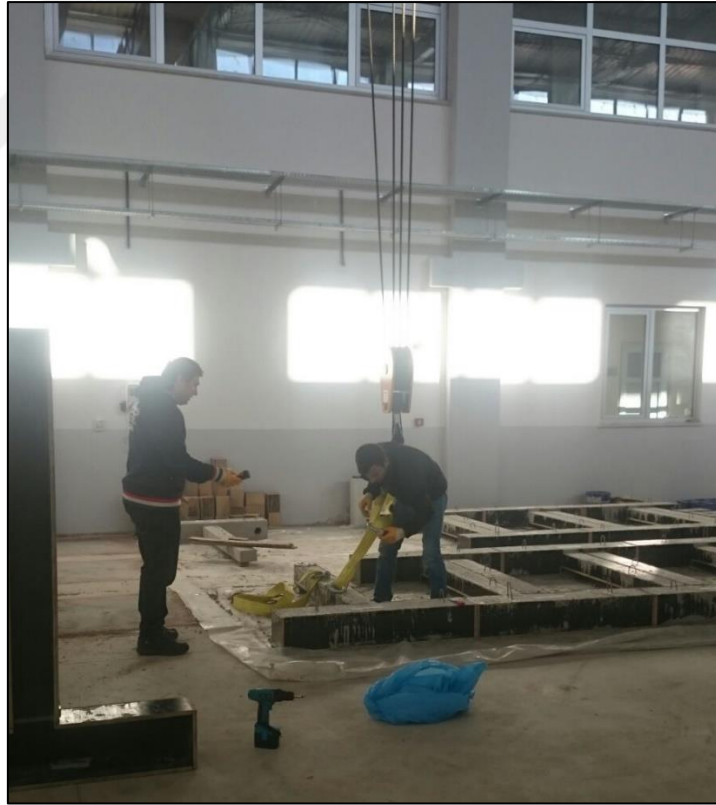


Şekil 3.9. Donatıların kalıp içine yerleşimi



Şekil 3.10. Beton dökümü

Betonarme kolon kiriş birleşimleri prizini süresi boyunca yüzey sürekli nemli tutulmuştur. Nemli kalmasını sağlamak amacıyla üzeri örtülü muhafaza edilmiştir. Betonarme kolon kiriş birleşimleri 28 gün sonucunda kalıplardan çıkartılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Numunelerin kalıplardan sökülmesi

28 günlük ortalama basınç dayanımı 9.61 MPa ve 30.44 MPa olan betonlardan üretilmiş sekizer adet kolon-kiriş numunesi üretilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Hazırlanan numuneler

3.4. Deney Düzenegi

3.4.1. Veri toplama sistemi

Veri toplayıcıları, genel olarak verileri bilgisayar ortamına aktaran aygıtlardır. Yapılan deney çeşidine göre farklı türleri mevcuttur. Bu çalışmada ölçümlerin toplanması ve bilgisayara aktarılması için National Instruments firmasının ürettiği NI 9233-USB-9162 modeli veri toplayıcı kullanılmıştır (Şekil 3.13). Bu veri toplayıcı, dört kanallı dinamik sinyal yakalayıcısı olup yüksek doğrulukta ölçüm alabilen IEPE algılayıcılarından yapılmıştır.



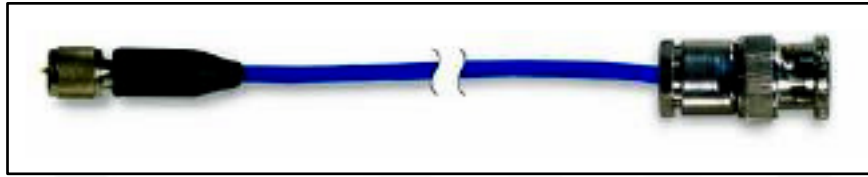
Şekil 3.13. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı.

Kullanılacak veri toplayıcı aygıt iki modülden oluşmaktadır. Birinci modül veri toplayıcısıdır. Bu modüle ölçüm aygıtları bağlanmaktadır. İkincisi sinyal taşıyıcı modülüdür. Bu modül de birinci modülden gelen sinyalleri bilgisayara aktarmaktadır. Her iki modül birbirinden bağımsızdır. Veri toplayıcıdan bilgisayar ortamına aktarılan veriler özel olarak

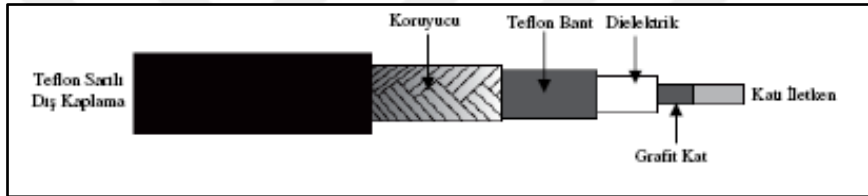
yazılmış bilgisayar programı yardımıyla alınmak istenilen veri türüne çevrilerek kaydedilmektedir.

3.4.1.1. Düşük Gürültülü Koaksiyal Kablo

Bu kablo ölçüm aygıtlarından alınan ölçüm değerlerinin değer kaybına uğramadan deney alanından veri toplayıcısına iletilmesi için kullanılan özel kablolardır. Deneylerde PCB Grup firmasının imal ettiği 003A20 Model numaralı kablo kullanılacaktır (Şekil 3.14). Bu kablo düşük gürültülü koaksiyal bir kablodur. İyapısı Şekil 3.15' te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. 003A20 Model numaralı kablo



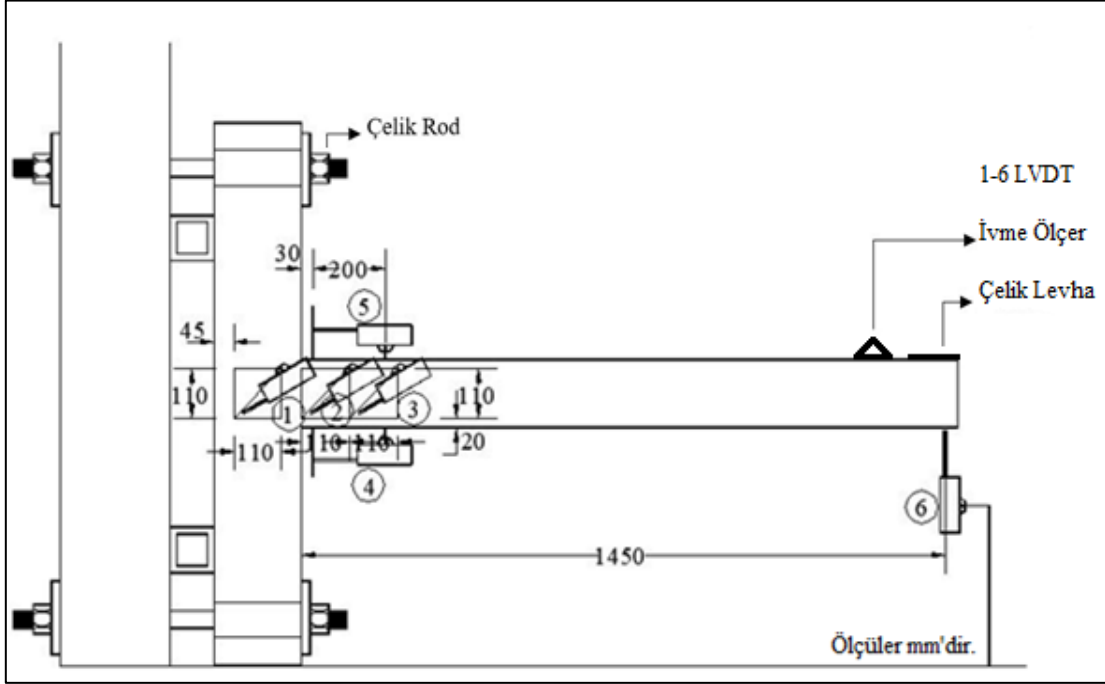
Şekil 3.15. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo ve iyapısı

Bu tip kablolar yüksek sıcaklıklarda kullanılan algılayıcılarda, yüksek empedanslı sinyallerde, ICP algılayıcılarda ve düşük empedanslı voltaj sinyallerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Kablo çapı 2 mm olup çalışma sıcaklık aralığı -90 ile 260 °C'dir. Kablo empedansı 50 ohm'dur.

3.4.2. Yükleme düzeneği

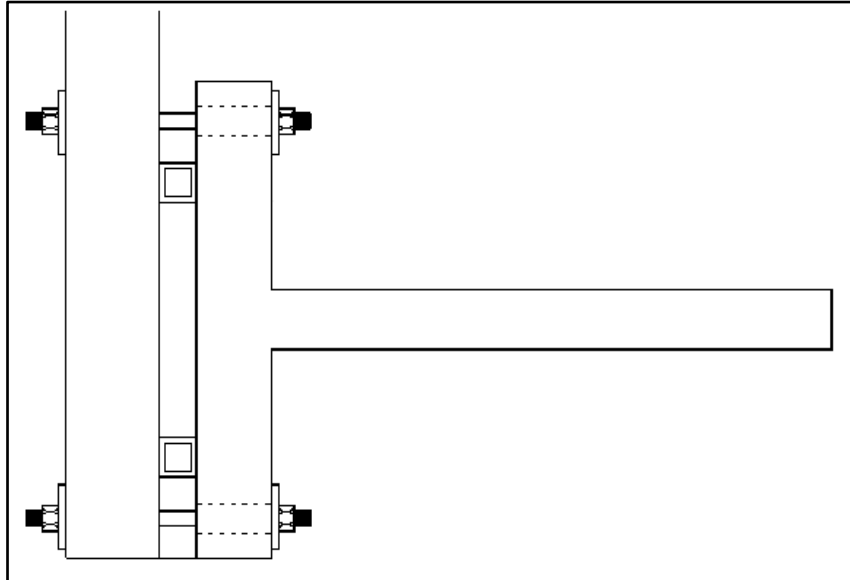
Deneysel çalışmada, kesme donatısı değişen betonarme kolon kiriş birleşimlerinde çarpma yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen deney elemanları rijit duvara tijler yardımıyla sabitlenmiştir. Deneysel ekipmanlar, 1 adet ivmeölçer, 1 adet yük ölçer, 6 adet LVDT ve veri toplama cihazından oluşturmaktadır. Deney ekipmanları numune üzerine matkap yardımıyla açılan deliklere dübellere sabitlenerek yerleştirilmiştir. İvmeölçer yerleştirilmesinde çelik dübele monte edilen başlıksız vidalar, LVDT'lerin yerleştirilmesinde bulonlar kullanılmıştır. Serbest olarak belirli bir yükseklikte belirli bir enerji hedefiyle bırakılan ağırlığın numuneye çarpmasında bölgesel gerilme yığılmaları önlemek için ağırlığın düşürüldüğü noktaya metal aparat yerleştirilmiştir. Ayrıca beton ile metal aparat arasına kauçuk tabaka yerleştirilerek hareketin en az kayıpla betonarme elemana geçmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada en

hassas ölçümlerin alınması için ivmeölçerlerin çelik dübel vida içerisine yerleştirilen piring aparatlar konumlandırılarak sağlanmıştır (Şekil 3.16).



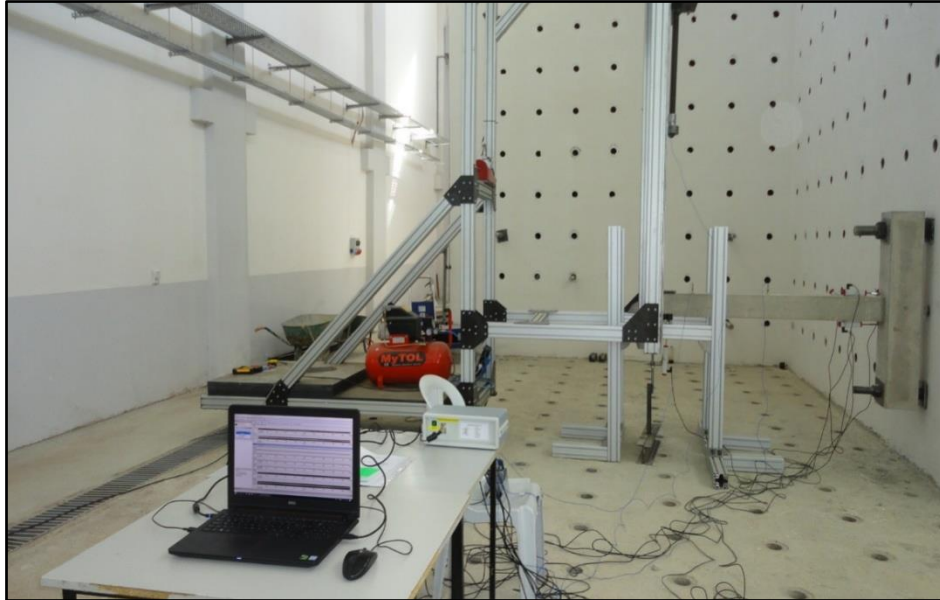
Şekil 3.16. Deney numunesinde ölçüm sistemi

Farklı kesme donatısında üretilen betonarme kolon kiriş birleşim numunelerinin rijit duvara bağlanma detayları Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Hazırlanan deney numuneleri gerekli kür işlemlerinden sonra tasarlanan serbest ağırlık düşürme deney düzeneğinde deneylere tabi tutulmuştur (Şekil 3.17).

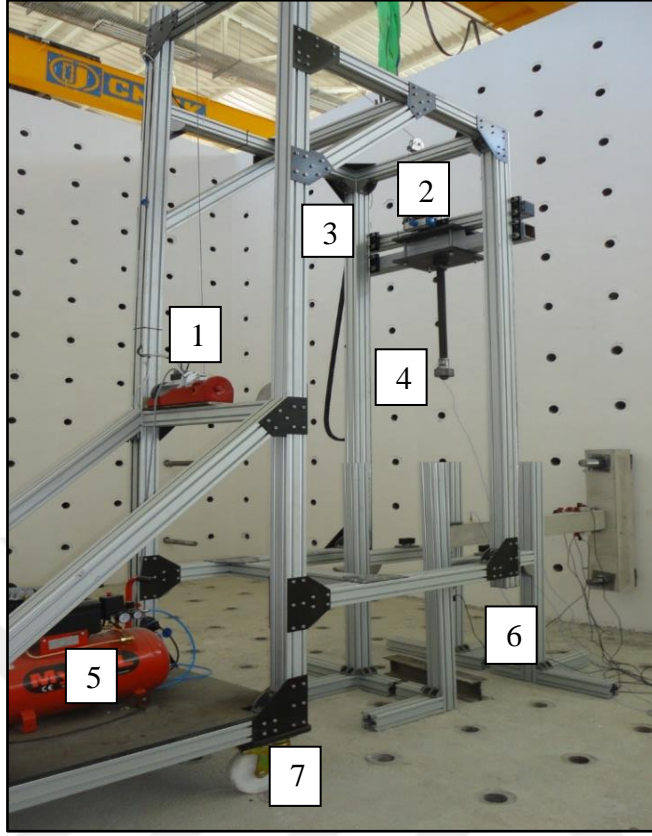


Şekil 3.17. Deney numunesinin rijit duvara bağlanması

Serbest ağırlık düşürme deneyleri için günümüze kadar birçok farklı düzenek oluşturulmuştur. Farklı malzemelerden imal edilen, hareketli veya sabit olarak tasarlanan deney düzenekleri mevcuttur. Deney düzeneklerine genel olarak bakılacak olursa sistemler, ayarlanabilir farklı yüksekliklerde bırakılan kütlelerden oluşmaktadır. Böylece araç çarpması, patlama sonrası hava şoku dalgası veya tsunami sonrası katı ve sıvı kütlelerin modellenmesi laboratuvar ortamında deneysel olarak modellenebilmektedir. Yapılan tez çalışmasında serbest ağırlık düşürme deney düzeneği için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yapı Laboratuvarında oluşturulmuş düzenek kullanılmıştır. Oluşturulmuş deney düzeneğinde ağırlık çekici 8 adet tekerlek yardımıyla iki adet düşey ray mekanizmasında sürtünmesiz olarak hareket etmektedir. Mıknatısla birleştirilen serbest bırakılacak ağırlık, elektrik vinç vasıtasıyla istenilen yüksekliğe çıkartılabilmektedir. İstenen yükseklikte ve istenen ağırlık, mıknatıslı birleşimden ayrılarak serbest bırakılabilmektedir. Bu işlem hava kompresörü yardımıyla metal yüzeyler arası manyetik kuvvetin ortadan kaldırılmasıyla gerçekleşmektedir. Deney düzeneği platformunun 4 adet döner tekerlekli hafif çerçeve sisteminden oluşması istenen yerde ve farklı türde numunelerde çalışmasına olanak vermektedir. Deney düzeneği ve veri toplama sistemine ilişkin görüntü Şekil 3.18’de, düzeneğin genel görünümü de Şekil 3.19’da verilmiştir. Deney düzeneğini oluşturan elemanlar ve elemanların işlevleri Tablo 3.6’da özetlenmiştir.



Şekil 3.18. Deney düzeneği



Şekil 3.19. Deney düzeneği genel görünümü

Tablo 3.6. Deney düzeneğinde bulunan eleman özellikleri ve işlevleri

Deney Düzeneği Elemanı	Eleman Özellikleri ve İşlevi
1	Elektrikli vinç caraskal, serbest bırakılacak ağırlığın istenen yüksekliğe çıkartılması
2	Pnömatik valf, serbest bırakılacak ağırlığın mıknatıslı birleşiminden ayrılması
3	Kızak sistemi, sürtünmesiz sekiz adet metal tekerlek yardımıyla hareket etmesi
4	Ağırlık ve yük sensörünün yerleştirildiği aparat
5	Hava kompresörü
6	Stopper, göçme sonra ağırlık düşme kontrolü
7	Döner tablalı tekerlek, düzeneğin istenen yere taşınabilmesi

3.4.3. Ölçüm araçları

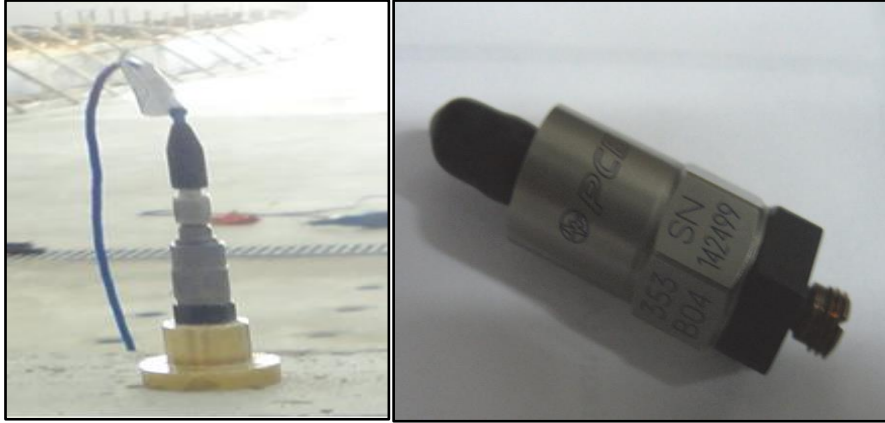
Bu çalışmada, çarpma yüklemesi genellikle serbest ağırlık düşürme testleri ile gerçekleştirilmektedir. Çalışmada kullanılan deneysel ekipmanlar başlıca; ivmeölçerler, yük ölçer, ağırlık çekici, deplasman ölçerler ve veri toplama ekipmanlarıdır.

3.4.3.1. İvmeölçer

İvmeölçerler, mutlak hareket ölçümlerinde şok ve titreşim ölçümlerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. İvme şiddeti, yapı veya makine ömrünü doğrudan etkilemektedir. Yeryüzü, inşaat, köprü, madencilik veya büyük titreşimler sismik ivmeölçerler ile doğrudan ölçülebilmektedir.

Yapının dinamik davranışının belirlenmesinde ivme kayıtları önem teşkil etmektedir. Yapıların mevcut durumlarının belirlenmesi, yapı kritik noktalarına yerleştirilen ivmelerden alınan kayıtlar ile gerçekleştirilebilmektedir.

Çarpma deneylerinde yüksek frekanslara ulaşıldığı için ivmeölçer seçimi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, piezoelektrik ivmeölçerlerden yararlanılmıştır. Kullanılan donanım oldukça kompakt olup sahada ölçüm almaya uygundur. İvmeölçerler PCB Grup firmasına ait piezoelektrik ICP tipi ivmeölçerlerden olup, model numarası 353B02'dir. Kullanılan ivmeölçerler Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



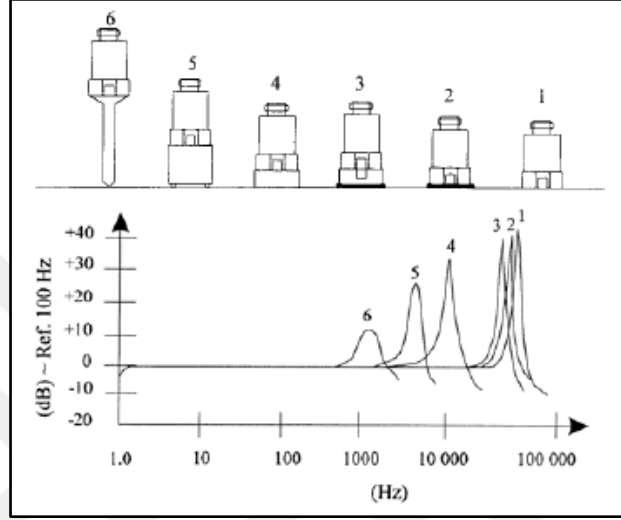
Şekil 3.20. ICP Model 353B02 piezoelektrik ivmeölçer

ICP tipi ivmeölçerlerin üstünlükleri;

- Uygun tip ve uzunlukta kabloya bakmaksızın sabit voltaj hassasiyeti
- Düşük empedanslı çıkış sinyali, oldukça uzun kablolarda bile çevre etkilerine rağmen sinyal kalitesini kaybetmeme

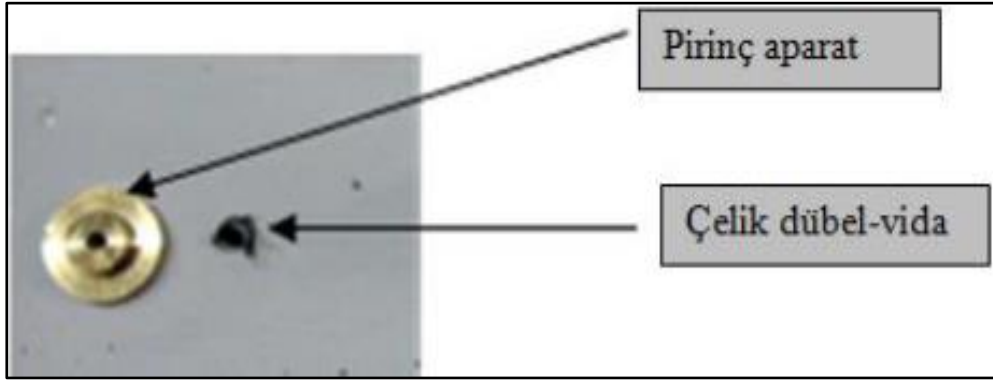
- Düşük gürültü aralığı, veri toplama donanımları, kaydedici, sinyal çözümü, standart okuyucu ile voltaj-çıkış sinyali uyuşması olarak sayılabilir.

Bu tip ivmeölçerlerle ölçümleri almak için farklı montaj şekilleri vardır. Bu montaj şekillerinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Montaj yapılan yerin karakteristik özellikleri, pürüzsüzlük, sıcaklık değişim büyüklüğü, erişilebilirlik ve taşınabilirlik son derece önem teşkil etmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri1. Vida ile 2. Yapıştırıcı ile 3. Montaj pedi ile 4. Düz mıknatıs ile 5. Çift taraflı mıknatıs ile 6. El çubuğu ile (Manual)

Çarpma anında yüksek frekanslar oluştuğu için beton üzerine ivmeölçer tutturabilmek için vida ile montaj şekli tercih edilmiştir. Optimum bağlama düzenlemeleri önemli ölçüde ölçümün doğruluk payını arttırmaktadır. En iyi performans için özellikle yüksek frekanslarda, ivmeölçerin tabanı ve test edilecek nesnenin yüzeylerinin temiz, düz, pürüzsüz, çiziksiz olmasına dikkat edilmelidir. Vidalı montaj için beton üzerine delik açılmış ve bu deliklere çelik dübel yardımı ile vidalar yerleştirilmiştir. İvmeölçerlerin ölçüm değerlerini hassas bir şekilde okuyabilmesi için iletkenliği iyi olan pirinç malzemeden montaj aparatı yapılmış ve bu aparat ile ivmeölçerler beton numune üzerine monte edilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Montaj yeri ve aparatı

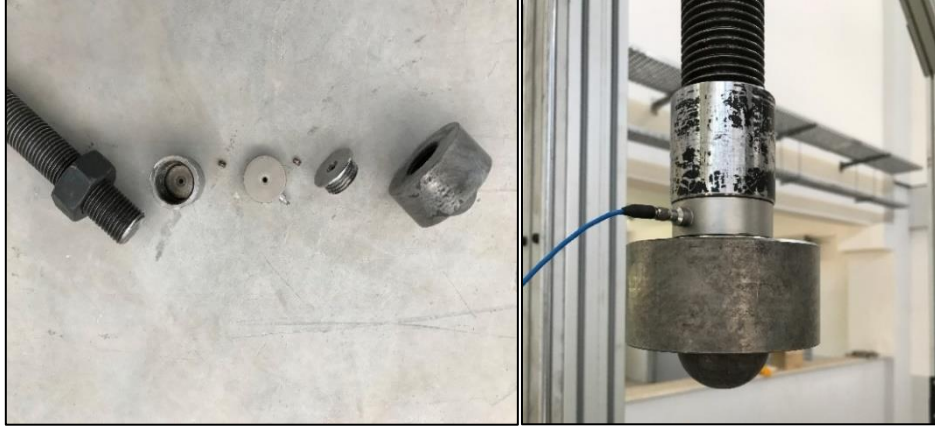
3.4.3.2. Halka Kuvvet Algılayıcı

Halka kuvvet algılayıcıları dinamik basınç ölçümleri için tasarlanmışlardır. Bu tip kuvvet algılayıcıları, soğuk şekil verme, talaşlı imalat işlemleri sırasında ortaya çıkan dinamik basma, çekme gerilme ölçmeleri için uygundur. Çeliğe yakın rijitliğe sahiptirler. Statik kalibrasyon ve kısa süreli statik ölçme özellikleri vardır. Yüksek doğrusallık ve tekrar edilebilirlik özellikleri oldukça iyidir. Presleme izlenmesinde, kuvvet kontrollü zorlanmış titreşimlerin oluştuğu yerlerde, mekanik empedans testlerinde de kullanılmaktadırlar. Deneylerde PCB Group firmasının üretimi olan kuvars halka kuvvet algılayıcılarından 201B03 Model ICP türü kullanılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. 201B03 Model ICP kuvars halka kuvvet algılayıcısı

Yapıya veya yapısal elemana etki vermek için ağırlık çekiçleri kullanılmaktadır. Oluşturulan etkinin yük olarak ölçülmesi halka tipi yük ölçerlerle gerçekleştirilmektedir. Yük ölçerin kullanımda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur montajdır. Şekil 3.24'te görüldüğü gibi kuvvet algılayıcı, ağırlık ve üst rod elemanına özel bir vida ile monte edilmiştir. Bu vida berilyum ve bakır karışımından oluşmakta, ön yüklemeye izin vermekte ve kalibrasyonun en iyi şekilde sağlanmasına izin vermektedir.

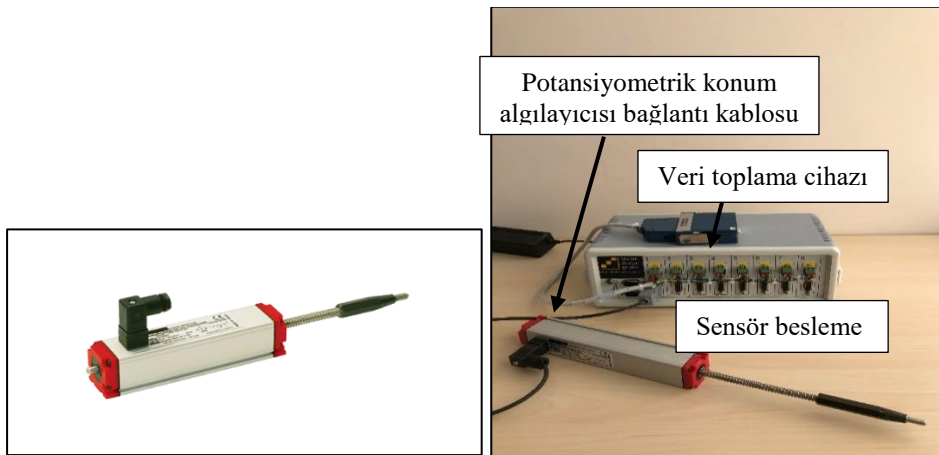


Şekil 3.24. Çelik bağlantı aparatları, çarpma kuvveti algılayıcısı.

3.4.3.3. Doğrusal Değişkenli Fark Transformatörler (LVDT)

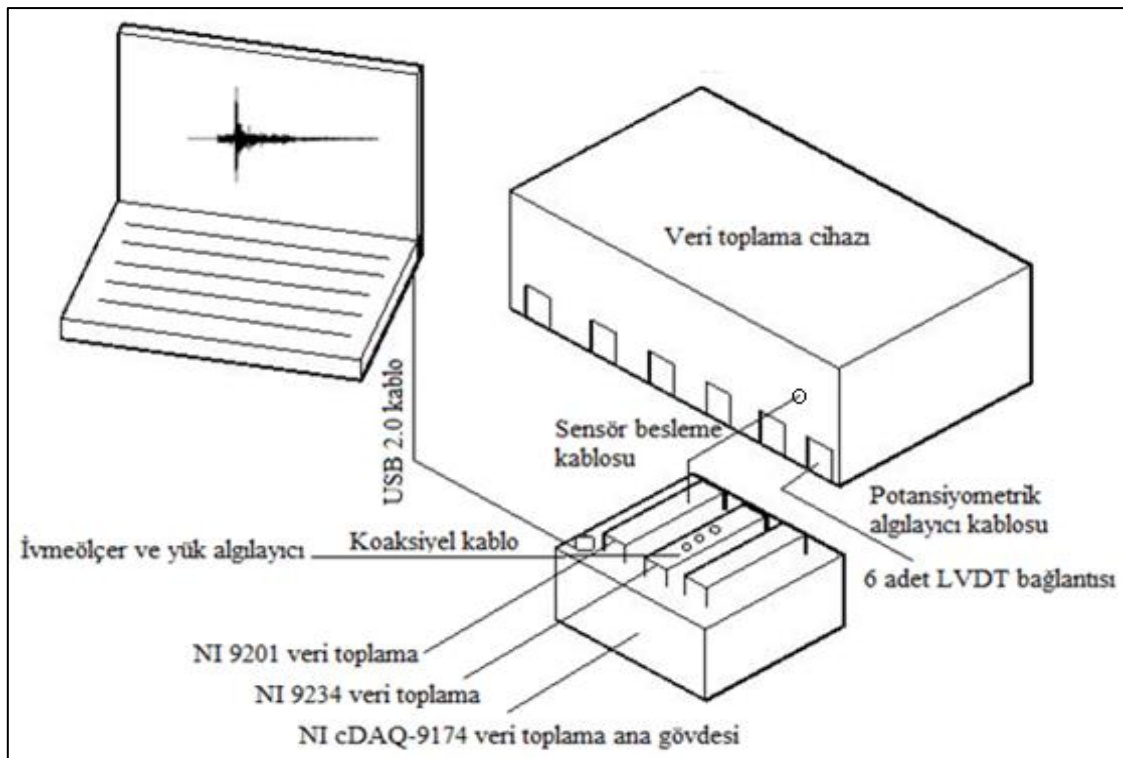
Doğrusal değişkenli fark transformatörleri (LVDT) herhangi bir nesne üzerinde mekanik hareketi elektrik sinyallerine dönüştüren bir dönüştürücüdür. Kullanılan algılayıcılar kapasiteleri 0.01μ seviyelerindedir. LVDT'nin yapısı birincil, ikincil sargılar ve merkezindeki boşlukta hareket eden bir çekirdekten oluşmaktadır. Sabit genlikli bir alternatif bir akımdan oluşan birincil sargılar merkezde manyetik bir alan oluşturmaktadır. İkincil sargılar ise çekirdeğin herhangi bir anki konumunu belirlemektedir.

Deneyisel çalışmada Opkon LPS model yaylı potansiyometrik cetveller kullanılmıştır (Şekil 3.25.a). Ölçme bölgelerine göre ölçüm boyları 5, 10 ve 15 cm'dir. Potansiyometrik konum algılayıcılar sekiz kanallı veri toplama, sensör besleme kutusuna bağlanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.25.b).



Şekil 3.25. a) Potansiyometrik cetvel, b) Sensör besleme kutusu

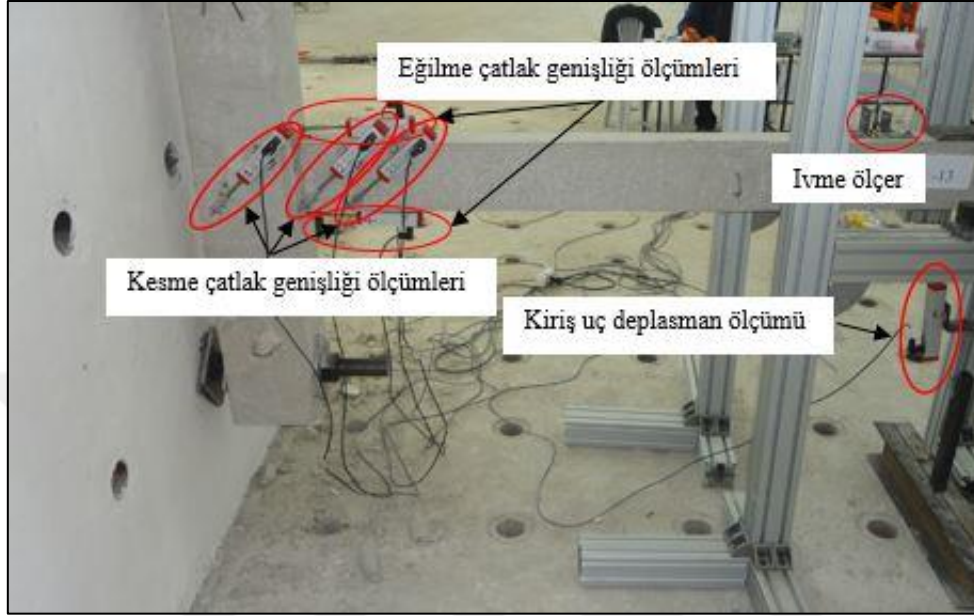
Deneyel çalışma çarpma yükü algılayıcısı, serbest bırakılan ağırlığa sabitlenmiştir. Oluşturulan deney düzeneğinde verilerin bilgisayara ortamına aktarımı için ivmeölçer ve çarpma yükü algılayıcısı NI 9234 veri toplama sistemine bağlanmıştır. Potansiyometrik cetveller sensör besleme kutusuna toplanarak NI 9201 veri toplama sistemine aktarılmıştır. İvmeölçer, kuvvet algılayıcı ve potansiyometrik konum algılayıcıların toplandığı sistem NI cDAQ-9174 veri toplama sistemine aktarılmıştır. Deney düzeneğinde toplanan tüm veriler NI cDAQ-9174 sisteminde USB 2.0 bağlantısı ile bilgisayara ortamına aktarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.26). Bilgisayar ortamına aktarılan kayıtlar LabVIEW Signal Express yazılımı yardımıyla kaydedilmiştir.



Şekil 3.26. Veri toplama sistemi

Deney elemanlarının rijit duvara bağlanmasından sonra LVDT'ler 110x110 mm alanda 45° ile yerleştirilmiştir. Bir deney elemanında, 1 adet kolon bölgesi, 2 adet kiriş bölgesi, 2 adet kolon alt üst bölgesi ve 1 adet kiriş uç bölgesi olmak üzere toplamda 6 adet LVDT konumlandırılmıştır. Ağırlığın düşürüleceği kiriş uç noktasına kauçuk üzeri çelik plaka monte edilmiştir. Böylece gerilme yığılmalarının önlenmesi hedeflenmiştir. Kiriş uç bölgesi yakın bir noktaya çelik dübel, pirinç aparatlarla ivmeölçer bağlanmıştır (Şekil 3.27). Deneyel çalışmada her bir LVDT; kesme, eğilme çatlak genişliklerinin ölçümü ve kiriş uç deplasman ölçümleri için konumlandırılmıştır. Kesme çatlakları, kolon bölgesinde bir adet, kiriş bölgesinde iki adet olmak üzere toplamda üç adet LVDT ile yardımıyla okunmuştur. Kiriş alt ve üst yüzeyinde

maksimum momentin olacağı bölgede eğilme çatlak genişlik ölçümleri alınmıştır. Kiriş uç bölgesinde alınan deplasman ölçümleriyle aynı zamanda kalıcı deplasman değerleri elde edilebilmiştir. Böylece toplamda zamana bağlı olarak 6 adet deplasman, ivme ve çarpma yükü değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 3.27. Deneysel ölçüm sistemi

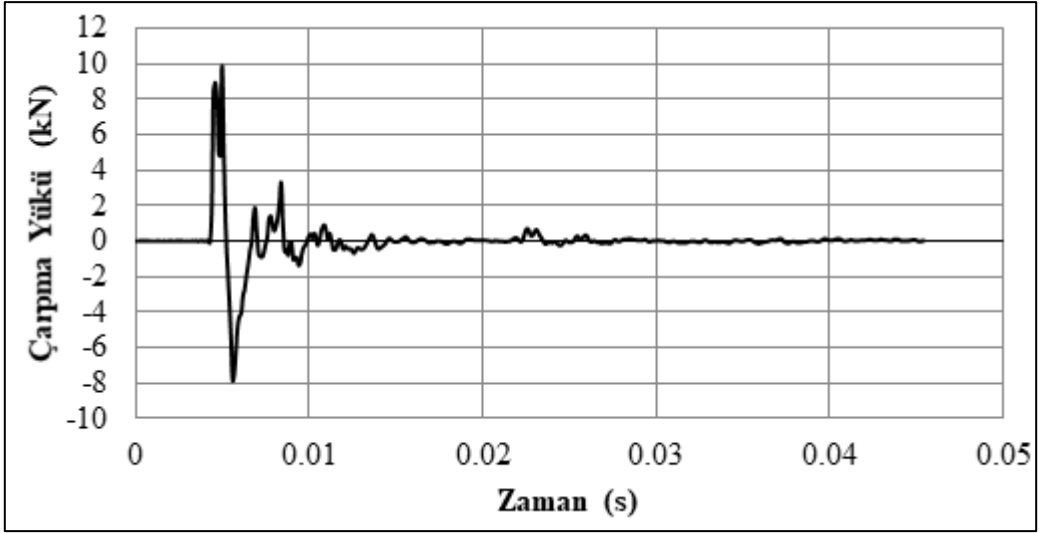
4. DENEY SONUÇLARI

Kesme donatı oranının değiştiği kolon-kiriş birleşimlerinin çarpma davranışın deneysel olarak incelendiği bu çalışmada 16 adet serbest ağırlık dūřürme deneyi yapılmıştır. Bu deneyler, 8 tanesi ortalama beton basınç dayanımı 9.61 MPa olan numunelerde, 8 tanesi de 30.44 MPa ortalama beton basınç dayanımına sahip numunelerde gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde, 16 adet betonarme kolon-kiriş birleşim elemanlarının çarpma yüklemesi sonrası ivme, çarpma yükü, kiriş uç deplasmanı, kesme çatlakları, kiriş alt-üst deplasmanlarının zaman tanım alanındaki değişimi her deney elemanı için ayrı ayrı sunulmuş ve numunelerde meydana gelen çatlak dağılımları incelenmiştir.

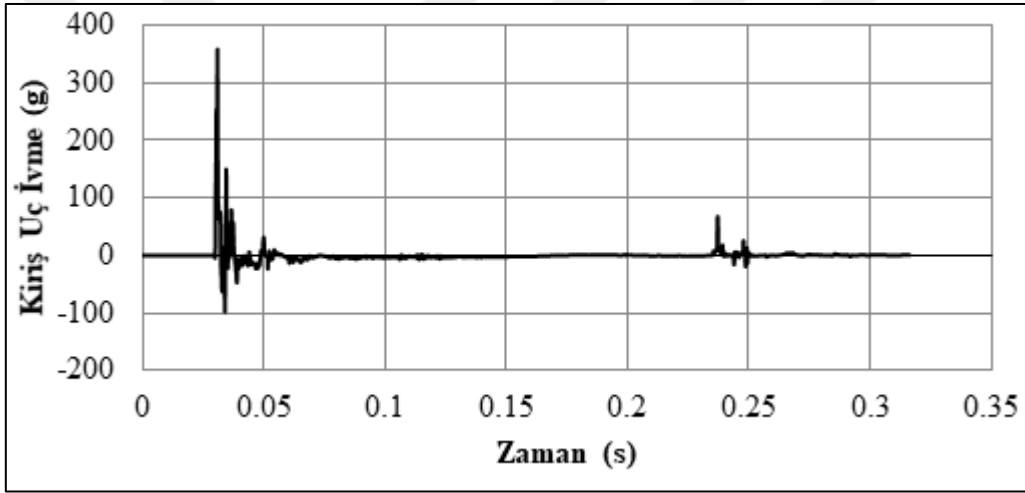
4.1. S1 deney elemanı

S1 deney elemanı, C10 beton sınıfında etriyesiz olarak tasarlanmıştır. Deneysel programda ilk dört deney elemanında dūřü yüksekliği 750 mm, dūřü ağırlığı 84 kg'dır. Serbest ağırlık dūřürme deneyi sonucunda çarpma yükü 9.88 kN olarak elde edilmiştir. Çarpma yüklemesi sonucunda kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 357.86 g, minimum değeri -96.67 g olarak ölçülmüştür. Çarpma yüklemesi sonucunda kiriş ucunda meydana gelen maksimum deplasman 125.50 mm, kalıcı deplasman 83.52 mm olarak kaydedilmiştir. Kesme çatlakları, kolon bölgesinde 4.91 mm, kiriş bölgesinde 14.20 mm ve 12.44 mm elde edilmiştir. Deney elemanında kiriş alt bölgesinde okunan deplasman değeri 61.46 mm, üst bölgesinde okunan deplasman değeri ise 65.57 mm'dir.

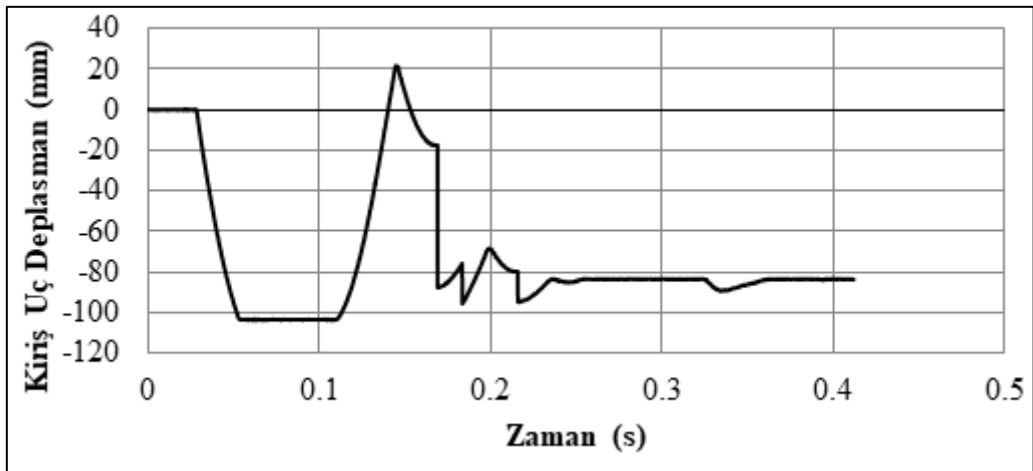
S1 deney elemanında, çarpma yükünün zaman tanım alanında değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.2'de deney elemanında kiriş uç bölgesinde konumlandırılmış ivme ölçerden elde edilen ivme zaman grafiği sunulmuştur. Kiriş uç deplasman-zaman tanım alanında grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Kolon yüzeyinde kesme atlağı Şekil 4.4'te, kiriş yüzeyi kesme çatlakları zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de sırasıyla kiriş alt yüzey eğilme çatlağı ve üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafikleri verilmiştir.



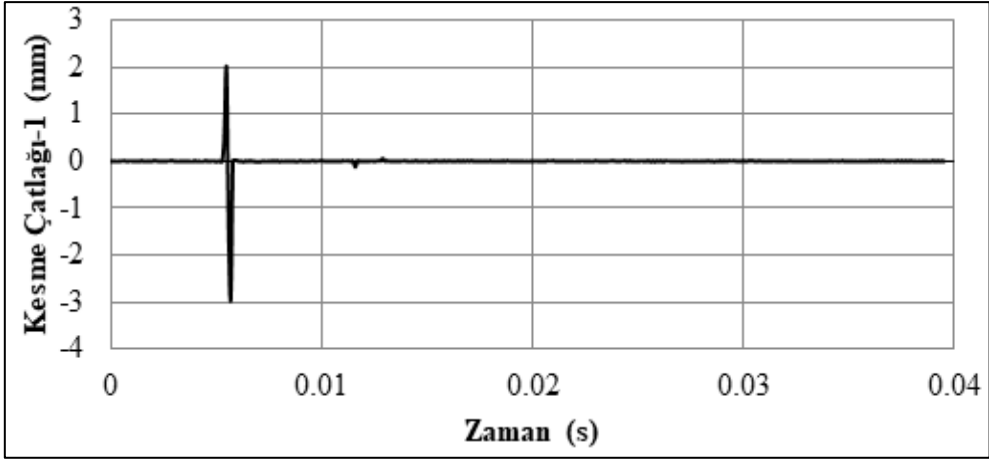
Şekil 4.1. S1 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



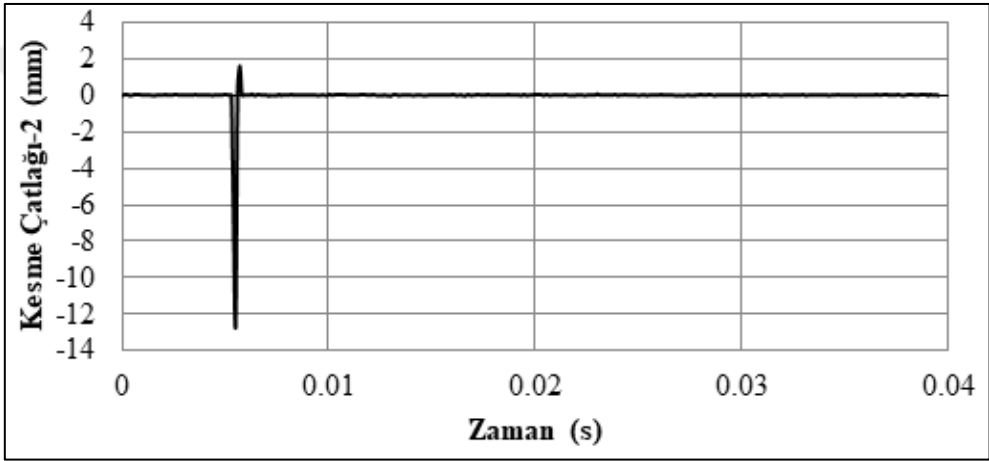
Şekil 4.2. S1 deney elemanına ivme-zaman grafiği



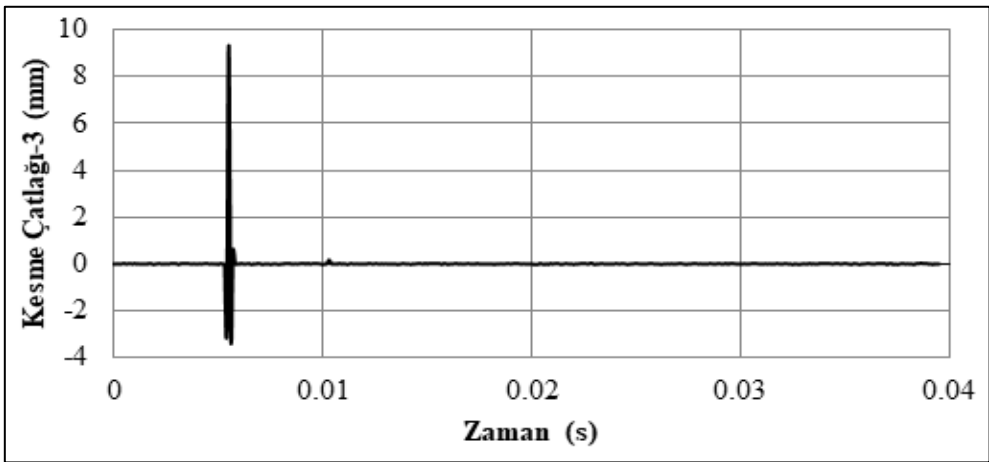
Şekil 4.3. S1 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



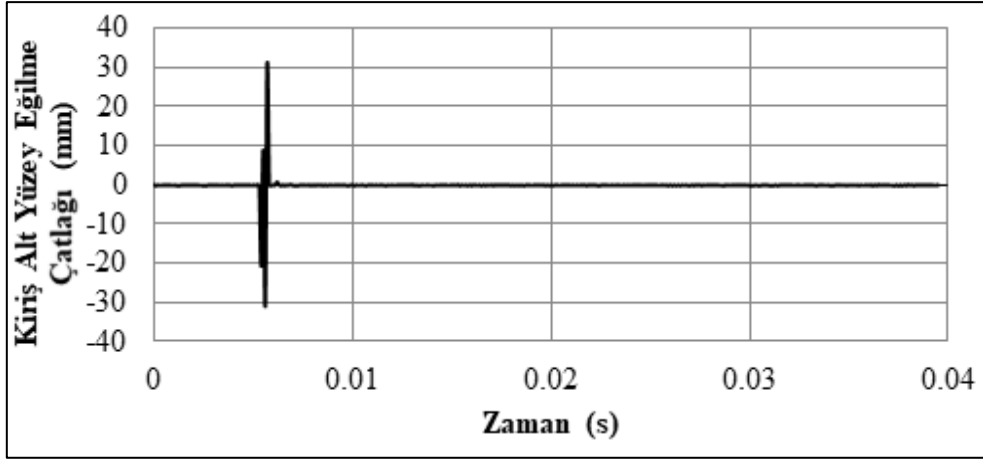
Şekil 4.4. S1 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



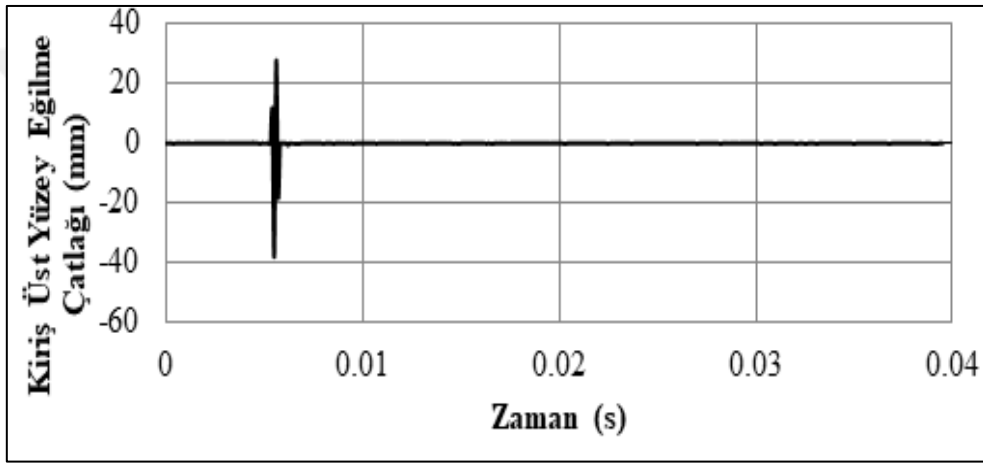
Şekil 4.5. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.6. S1 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

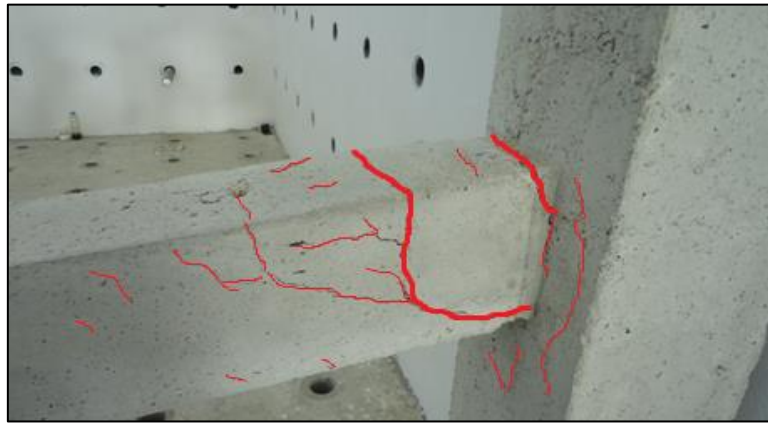


Şekil 4.7. S1 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği



Şekil 4.8. S1 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

Çarpma yüklemesi sonrasında, S1 deney elemanı üzerinde gerçekleştirilen incelemelerde, kolon birleşim bölgesinde kılcal çatlakların, kirişin mesnetlendiği bölgede eğilme çatlakların ayrıca kiriş bölgesinde mesnete yaklaştıkça genişleyen kesme çatlakları meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.9).

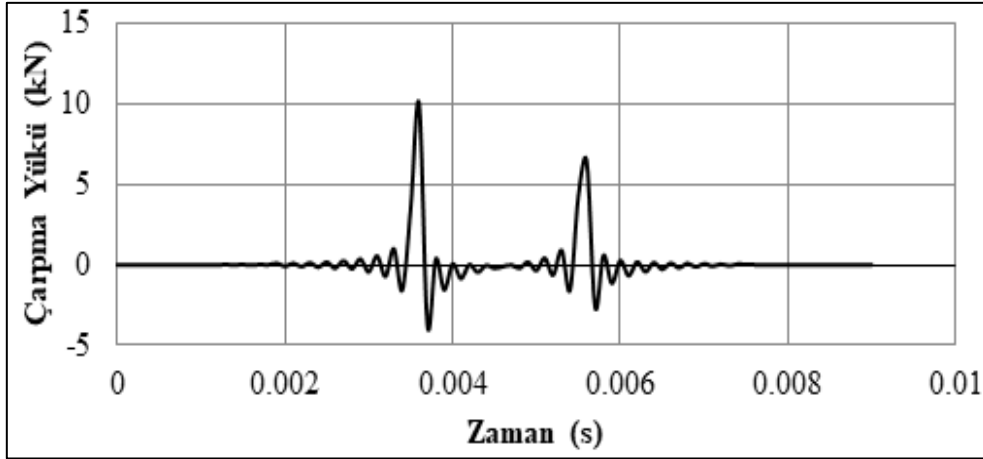


Şekil 4.9. S1 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

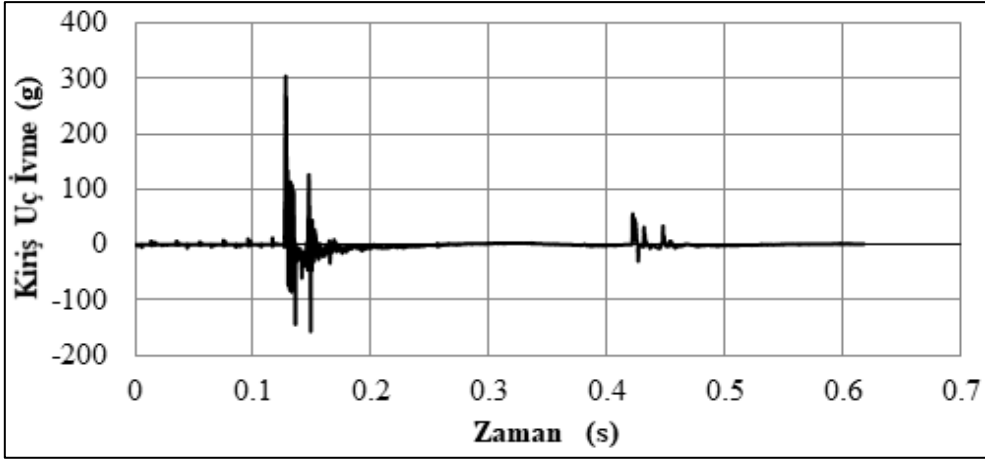
4.2. S2 deney elemanı

S2 betonarme kolon kiriş deney elemanı, C10 beton sınıfında 300 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Serbest ağırlık düşürme deneyi sonucunda çarpma yükü 10.01 kN olarak elde edilmiştir. Çarpma yüklemesi sonucunda kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 303.01 g, minimum değeri -155.96 g olarak ölçülmüştür. Çarpma yüklemesi sonucunda kiriş ucunda meydana gelen maksimum deplasman 104.16 mm, kalıcı deplasman 76.27 mm olarak kaydedilmiştir. Kesme çatlakları, kolon bölgesinde 3.60 mm, kiriş bölgesinde 12.30 mm ve 11.06 mm elde edilmiştir. Deney elemanında kiriş alt yüzeyden okunan deplasman değeri 56.68 mm, üst yüzeyden okunan deplasman değeri ise 59.71 mm'dir.

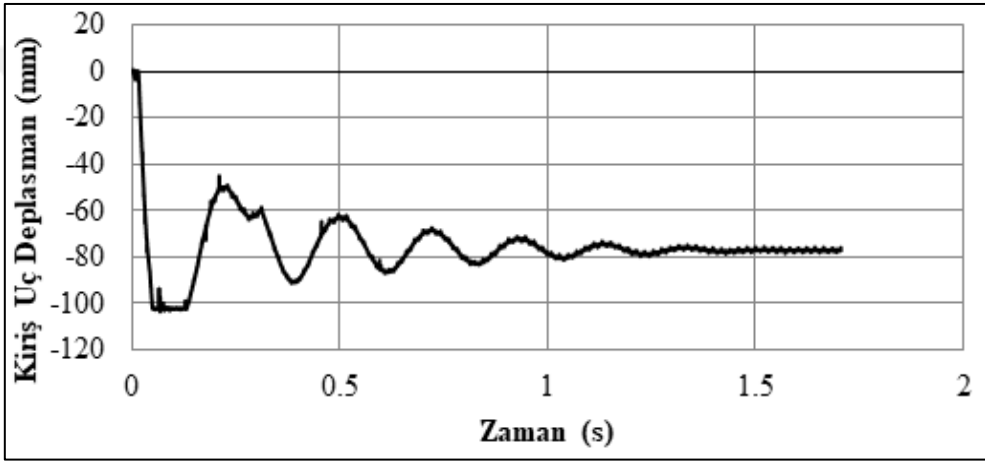
S2 deney elemanında etkiyen çarpma yükünün zaman tanım alanında değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.11'de deney elemanında kiriş uç bölgesinde konumlandırılmış ivme ölçerden elde edilen ivme zaman grafiği sunulmuştur. Kiriş uç deplasman zaman tanım alanında grafiği Şekil 4.12'de verilmiştir. Kolon kiriş birleşim detayında kolon yüzeyi kesme çatlak zaman grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir. Kiriş yüzeyi kesme çatlakları zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sırasıyla kiriş alt yüzey ve üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri verilmiştir.



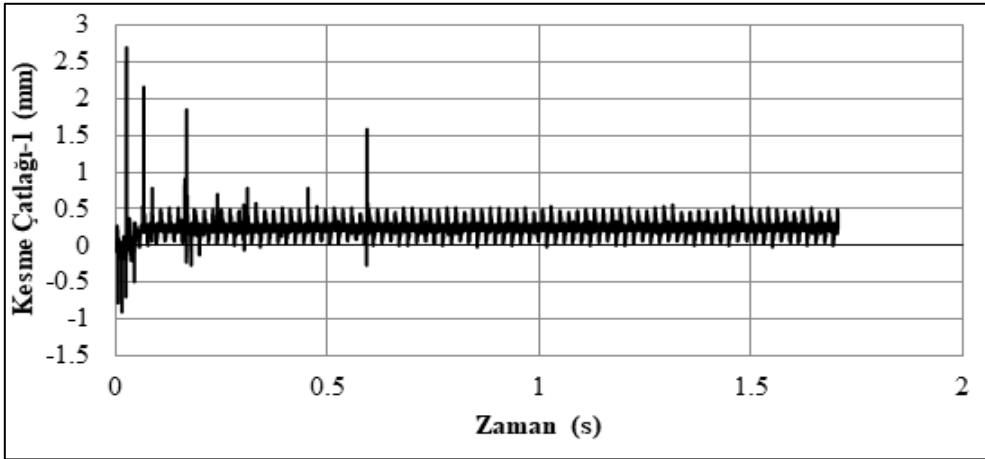
Şekil 4.10. S2 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



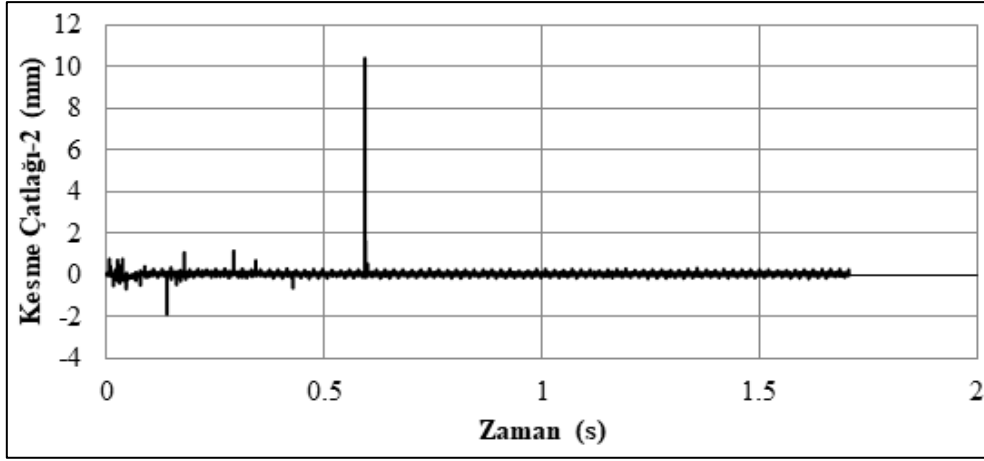
Şekil 4.11. S2 deney elemanına ivme-zaman grafiği



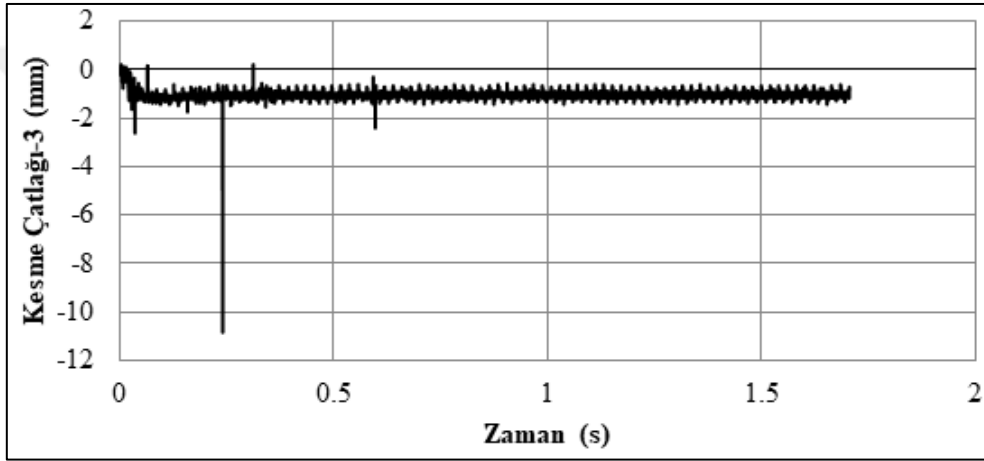
Şekil 4.12. S2 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



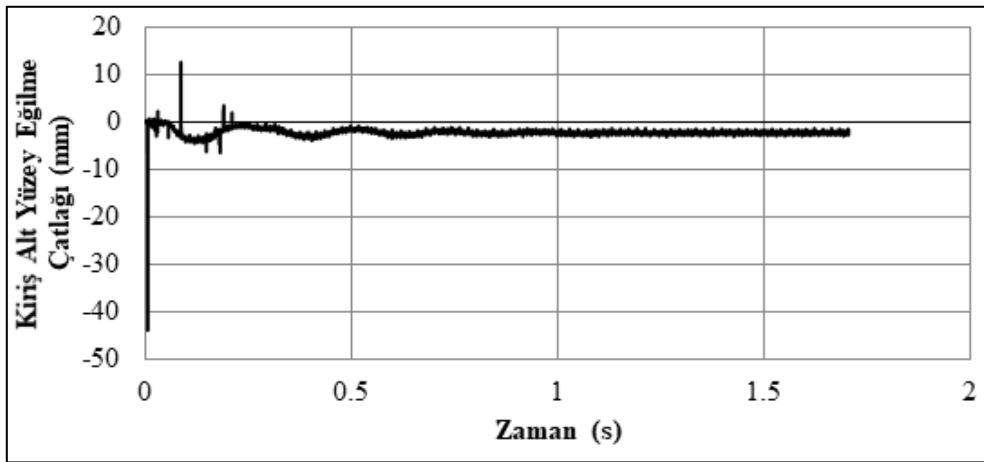
Şekil 4.13. S2 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



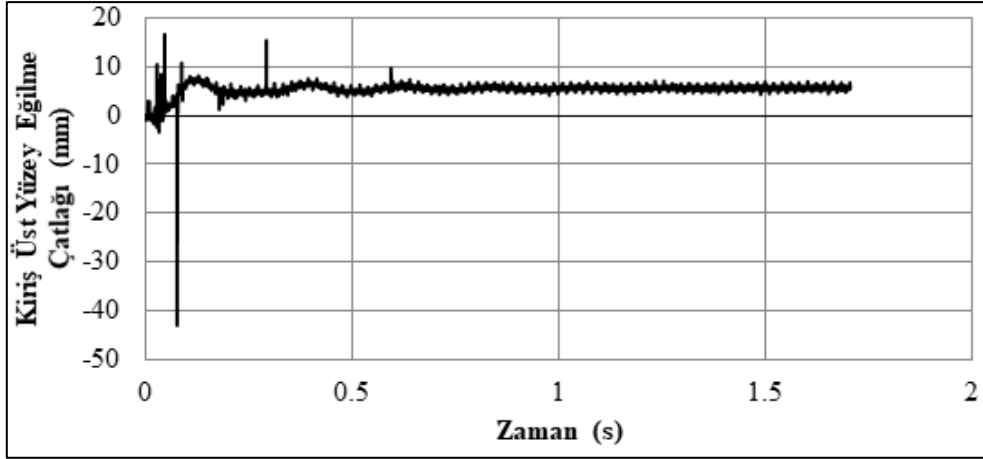
Şekil 4.14. S2 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.15. S2 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.16. S2 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.17. S2 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

Çarpma yüklemesi sonrasında, S2 deney elemanı üzerinde gerçekleştirilen incelemelerde, kolon birleşim bölgesinde kılcal çatlakların, kirişin mesnetlendiği bölgede geniş eğilme çatlakları ayrıca kiriş bölgesinde ise kesme çatlakları meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.18).

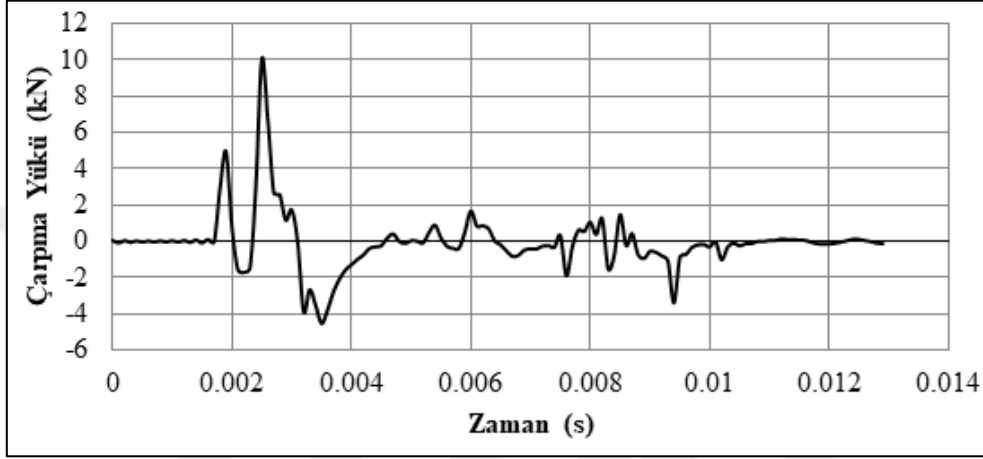


Şekil 4.18. S2 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

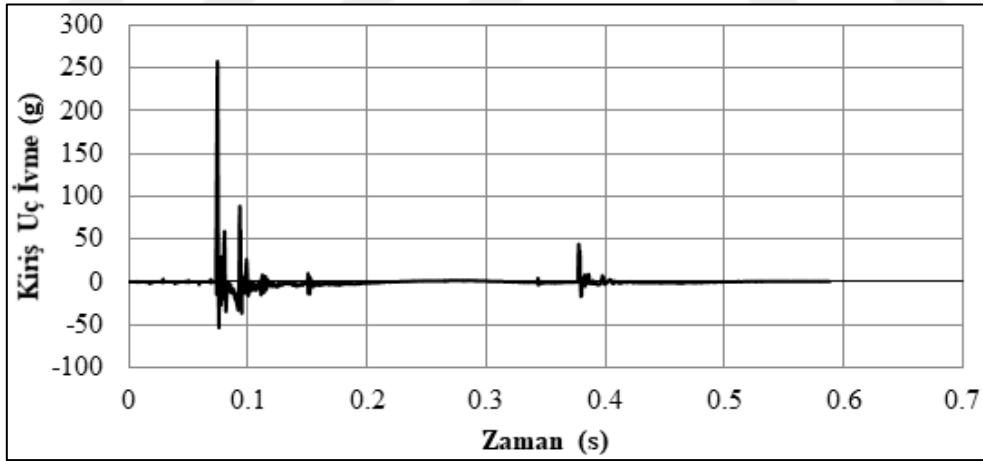
4.3. S3 deney elemanı

S3 deney elemanı, C10 beton sınıfında 150 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Deney sonucunda çarpma yükü 10.05kN olarak elde edilmiştir. Serbest ağırlık çarpma deneyi sonucunda kiriş uç ivmesinin maksimum değeri 257.87 g, minimum değeri -53.12 g olarak okunmuştur. Kiriş uç noktasında meydana gelen maksimum deplasman değeri 93.92 mm, kalıcı deplasman değeri ise 75.84 mm'dir. Deney elemanı kesme çatlakları olarak ele alındığında, kolon bölgesinde 3.31 mm, kiriş bölgesinde 11.45 mm ve 10.36 mm'dir. Kiriş alt yüzey eğilme çatlakları genişliği 51.38 mm, üst yüzey eğilme çatlakları genişliği 52.46 mm olarak elde edilmiştir.

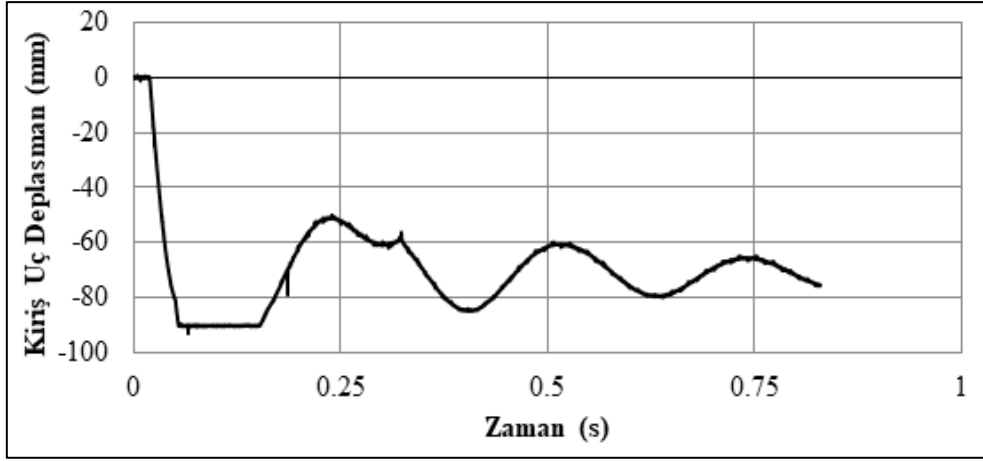
Çarpma yükünün zaman tanım alanında değişimi S3 deney elemanı için Şekil 4.19'da verilmiştir. Maksimum ve minimum ivme değerlerinin zaman tanım alanında sonuçları Şekil 4.20'de sunulmuştur. Şekil 4.21'de kiriş uç deplasman-zaman grafiği verilmiştir. Kolon yüzeyi kesme çatlağı zaman grafiği Şekil 4.22'de sunulmuştur. Kiriş yüzeyi kesme çatlakları zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sırasıyla deney elemanından elde edilen kiriş alt yüzey ve üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafikleri verilmiştir.



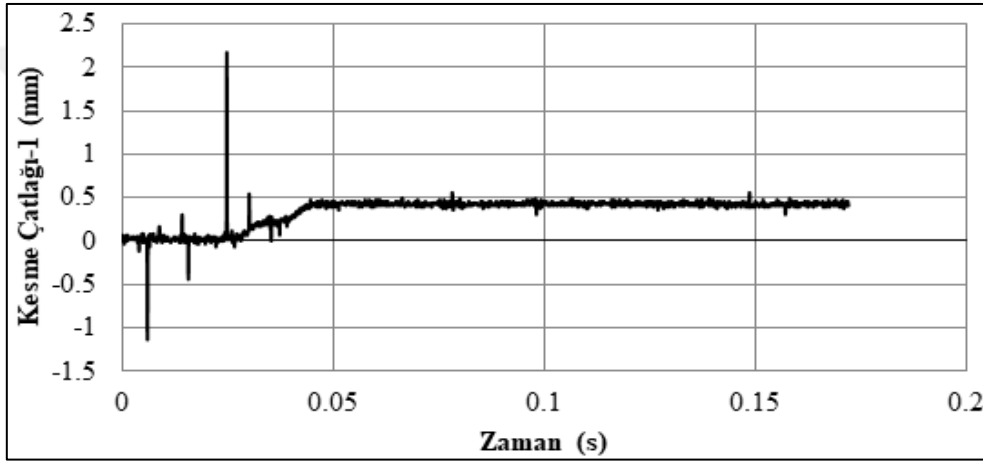
Şekil 4.19. S3 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



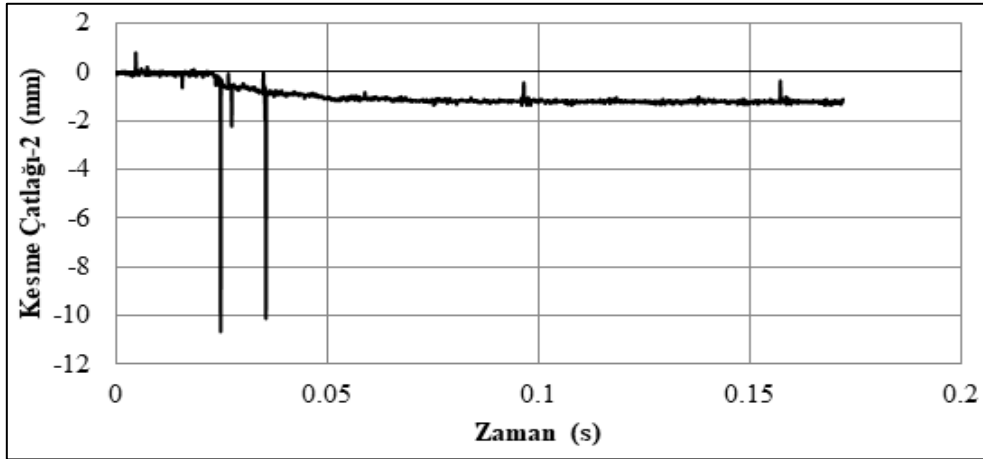
Şekil 4.20. S3 deney elemanına ivme-zaman grafiği



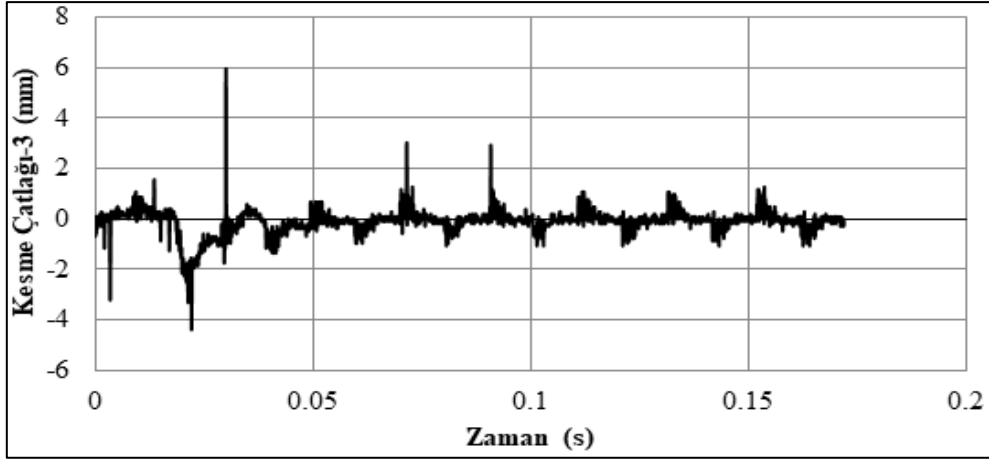
Şekil 4.21. S3 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



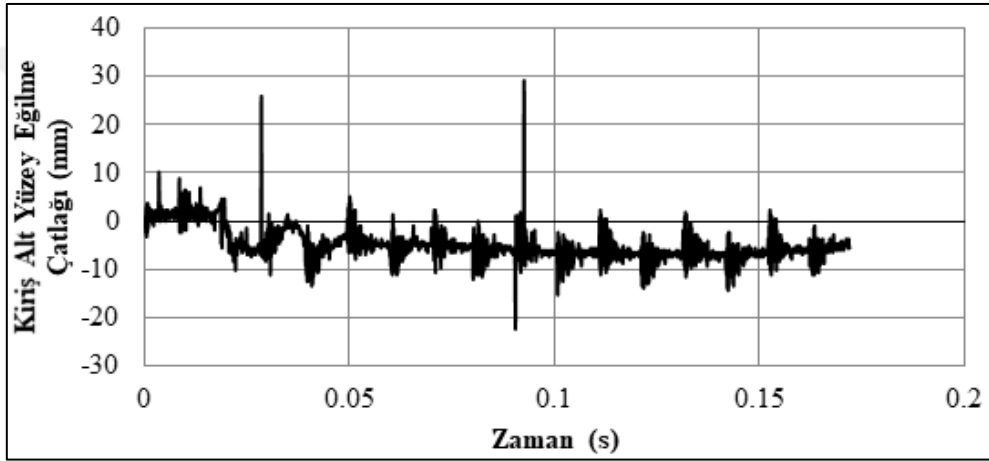
Şekil 4.22. S3 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



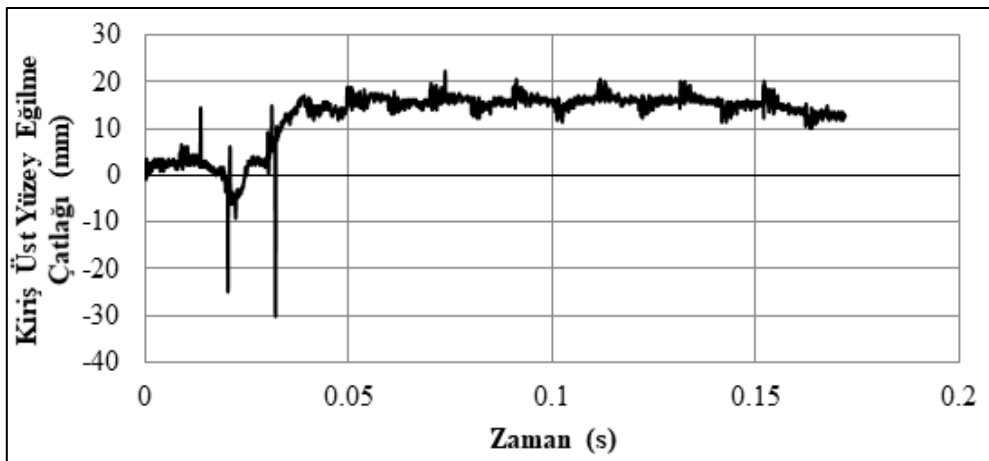
Şekil 4.23. S3 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.24. S3 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.25. S3 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.26. S3 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

Deney sonrasında S3 deney elemanında kolon birleşim noktasında eğilme çatlakları görülmüştür. Kiriş yüzeyinde kesme çatlaklarının kılcal boyutlarda olduğu gözlenmiştir.

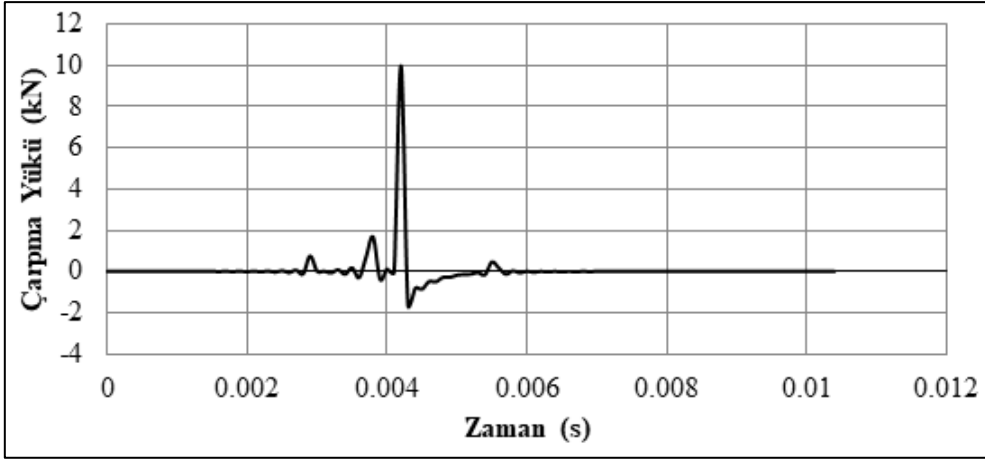


Şekil 4.27. S3 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

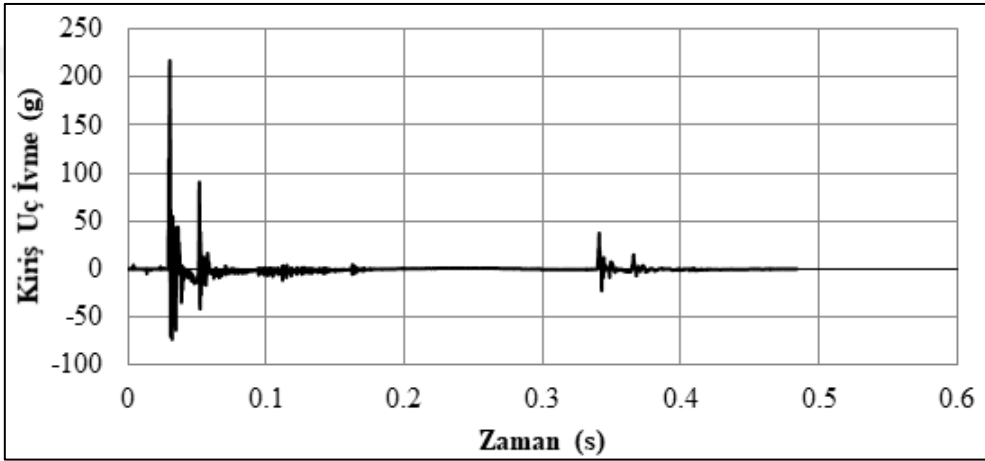
4.4. S4 deney elemanı

C10 beton sınıfında 75 mm etriye aralıklı kesme donatısıyla üretilen S4 deney elemanında çarpma yükü 9.97 kN olarak elde edilmiştir. Düşü yüksekliği 750 mm ve beton sınıfı C10 olan ilk dört deney elemanlarında çarpma yükleri 9.88-10.05 kN arasında değerler almıştır. Böylece farklı kesme donatılarına sahip ilk dört deney elemanlarında yaklaşık aynı düzeyde enerjilerle çarpma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Serbest ağırlık deneyleri sonucunda kiriş uç ivmesinin maksimum 216.40 g, minimum -73.37 g değerleri okunmuştur. S4 deney elemanında uç noktasında meydana gelen maksimum deplasman değeri 87.85 mm, kalıcı deplasman değeri ise 64.19 mm'dir. Kolon yüzeyi maksimum kesme çatlak değeri 2.81 mm, kiriş yüzeyi kesme çatlak değerleri 9.92 mm ve 7.87 mm'dir. Kiriş bölgesinde alt yüzey eğilme çatlak genişliği 45.60 mm, üst yüzey eğilme çatlak genişliği 41.69 mm olarak elde edilmiştir.

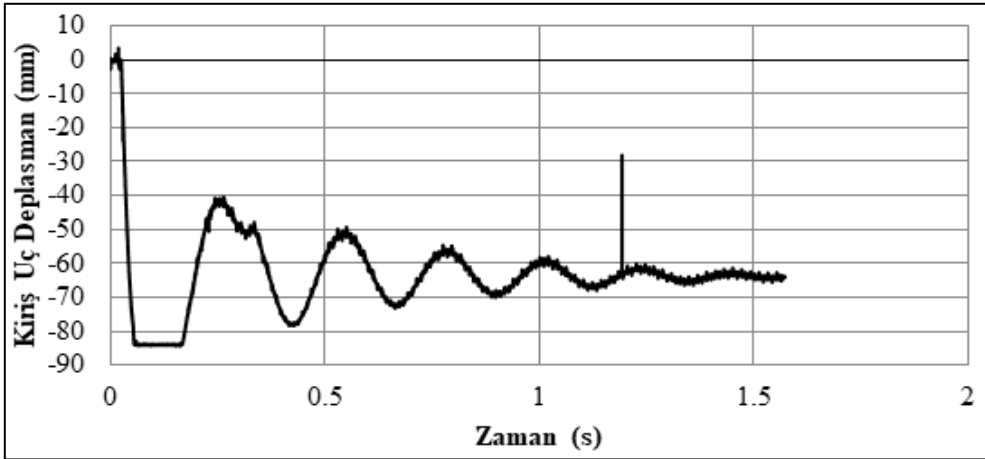
S4 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir. Çarpma anı deney elemanına ait maksimum ve minimum ivme-zaman grafiği Şekil 4.29'da sunulmuştur. Kiriş uç bölgesinde elde edilen maksimum deplasman zaman grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir. Kesme çatlakları zaman grafikleri kolon bölgesi ve kiriş bölgesi olmak üzere sırasıyla Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te verilmiştir. Kiriş alt ve üst yüzey eğilme çatlakları zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te sunulmuştur.



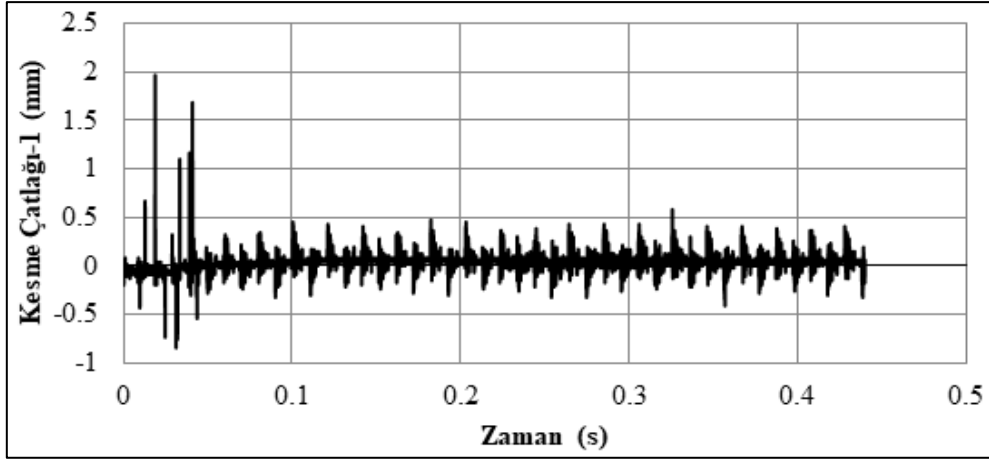
Şekil 4.28. S4 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



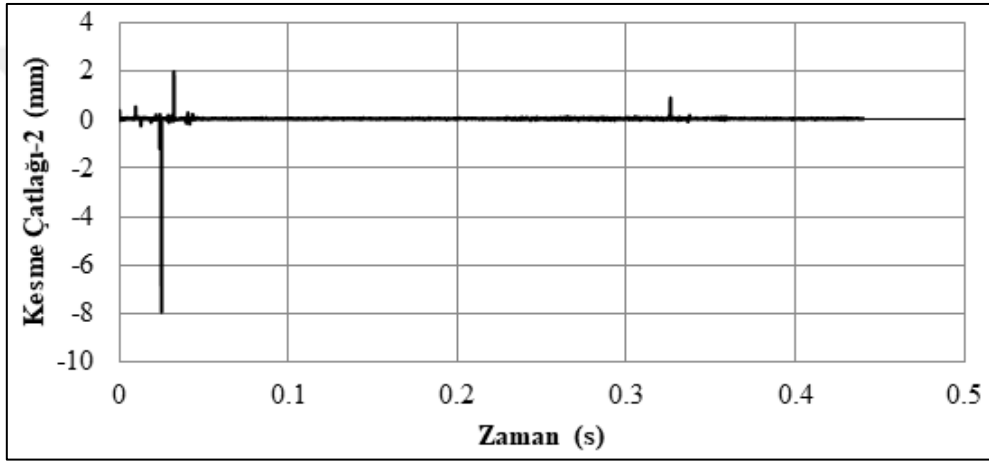
Şekil 4.29. S4 deney elemanına ivme-zaman grafiği



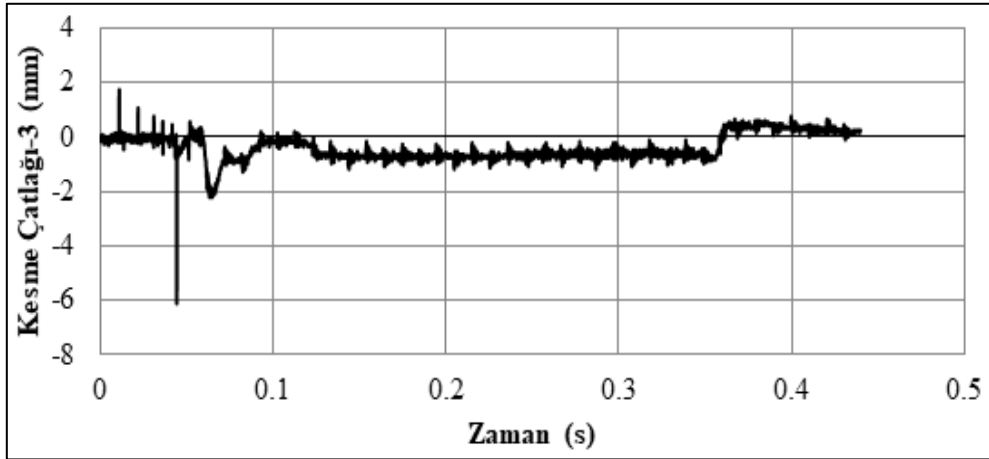
Şekil 4.30. S4 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



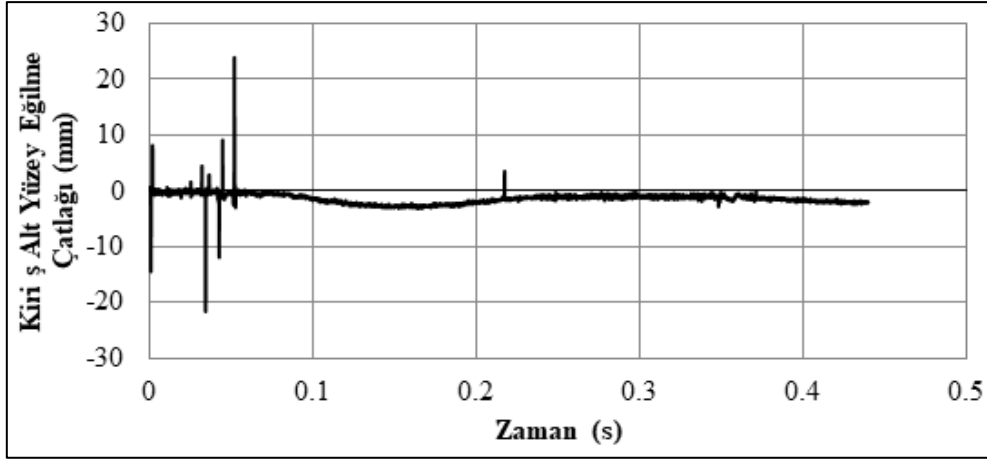
Şekil 4.31. S4 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



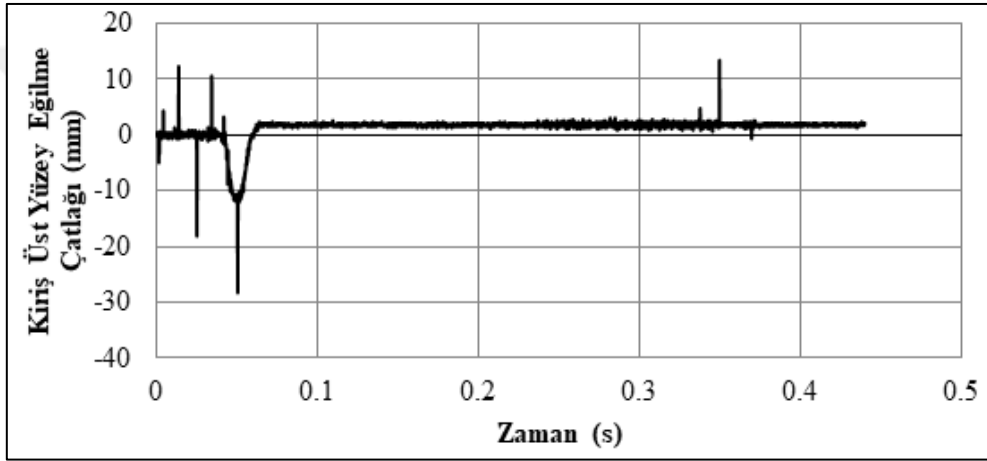
Şekil 4.32. S4 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.33. S4 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.34. S4 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği



Şekil 4.35. S4 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

Şekil 4.36'da S4 deney elemanında çarpma sonrası meydana gelen çatlak dağılımını göstermektedir. C10 beton sınıfında, 750 mm düşü yüksekliğinden ve yaklaşık olarak 10 kN çarpma yüküyle ilk dört deney elemanlarında kesme donatısının artmasıyla kılcal çatlaklarda azalmalar görülmektedir.

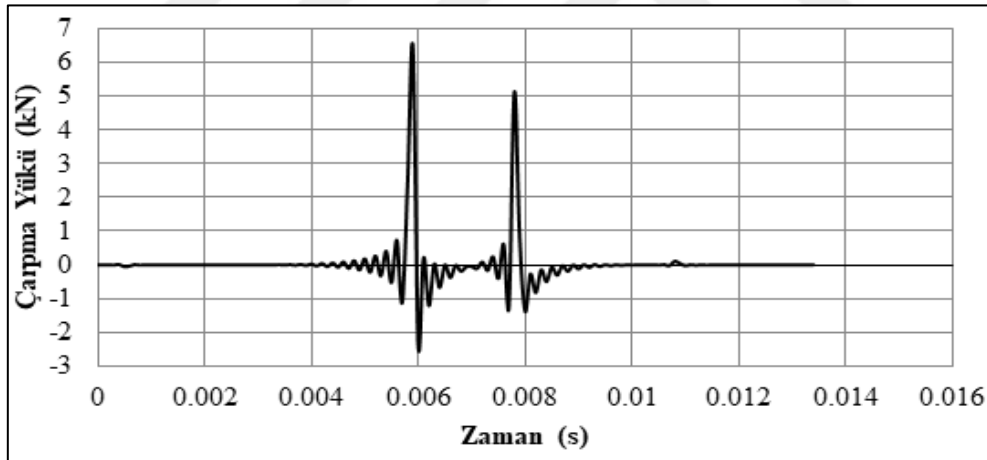


Şekil 4.36. S4 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

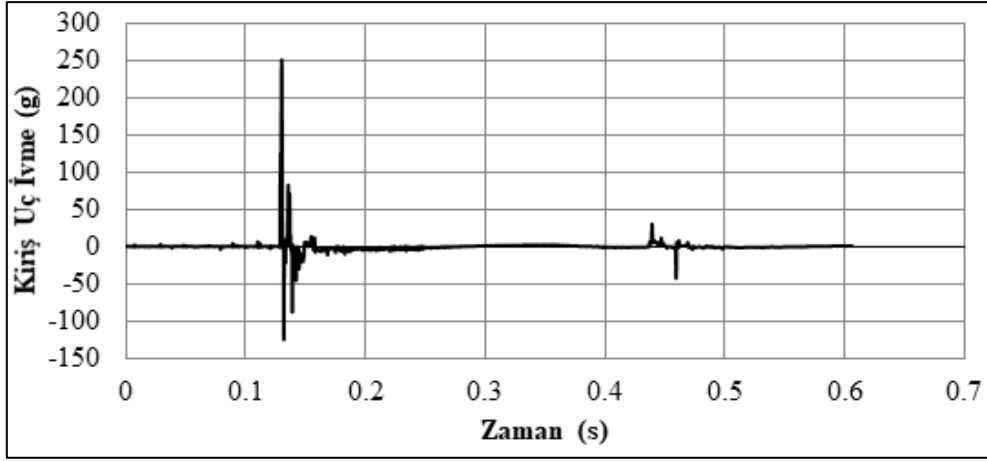
4.5. S5 deney elemanı

S5 deney elemanı, C10 beton sınıfında etriyesiz olarak tasarlanmıştır. Deneysel programın ikinci dört deney elemanında düşü yüksekliği 500 mm ve düşü ağırlığı 84 kg'dır. Deney sonrasında çarpma yükü 6.47 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum kiriş uç ivme değeri 251.18 g, minimum kiriş uç ivme değeri -124.13 g olarak ölçülmüştür. S5 deney elemanında kiriş uç maksimum deplasman değeri 87.85 mm, kalıcı deplasman değeri 39.44 mm'dir. Deney elemanında kesme çatlakları açısından kolon bölgesinde 2.72 mm kiriş yüzeylerinde ise 8.91 mm ve 7.66 mm elde edilmiştir. Kiriş alt ve üst yüzey eğilme çatlak genişlikleri ise sırasıyla 32.61 mm ve 33.82 mm'dir.

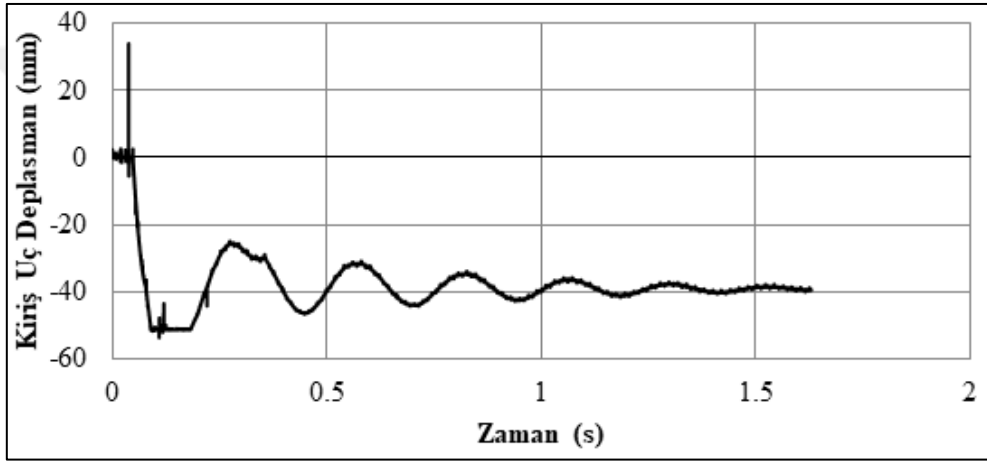
Çarpma yükünün zaman tanım alanında değişimi grafiği Şekil 4.37'de verilmiştir. Kiriş uç bölgesinden elde edilen ivme okumalarının zaman tanım alanında değerleri Şekil 4.38'de sunulmuştur. Şekil 4.39'da kiriş uç noktasından elde edilen deplasman-zaman grafiği verilmiştir. Kesme çatlak grafikleri kolon bölgesi, kiriş yüzeyleri kesme çatlak-zaman grafikleri ve kiriş alt yüzey ve üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



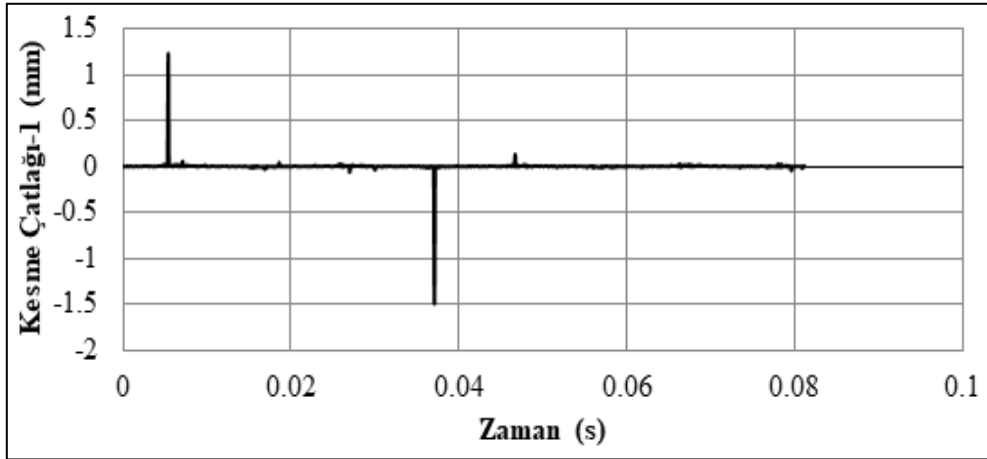
Şekil 4.37. S5 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



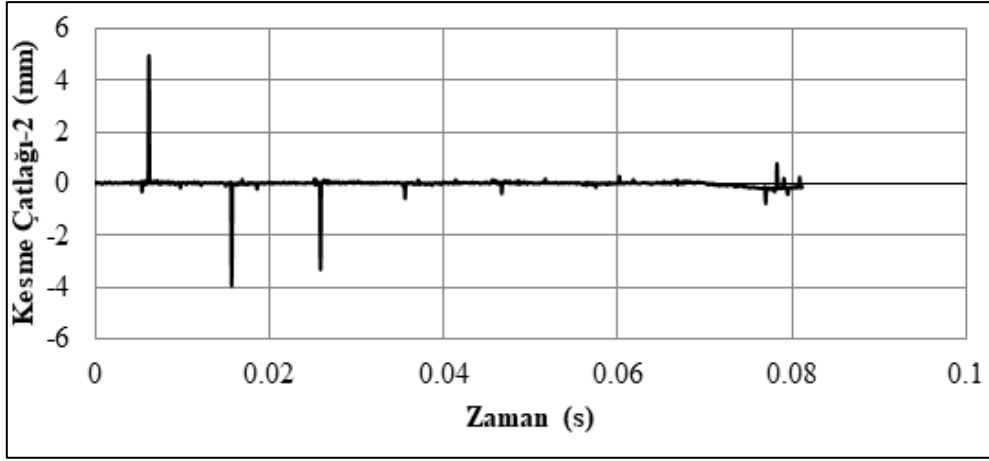
Şekil 4.38. S5 deney elemanına ivme-zaman grafiği



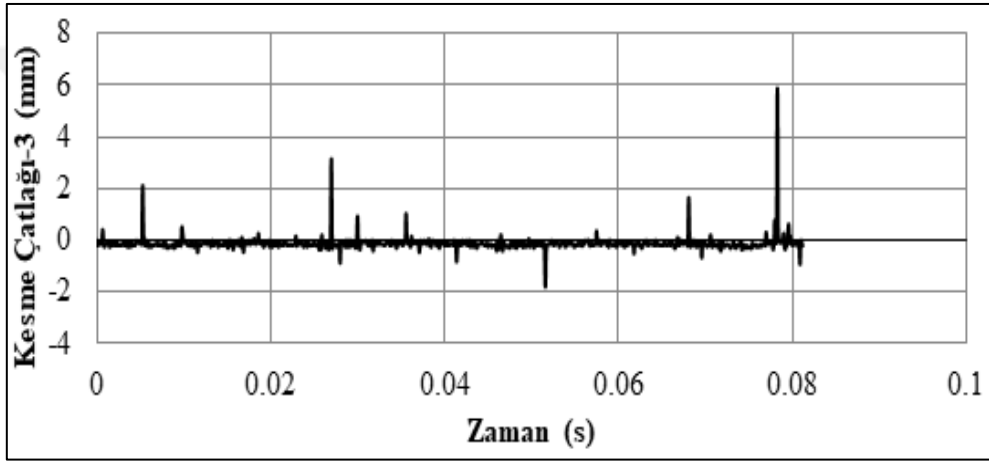
Şekil 4.39. S5 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



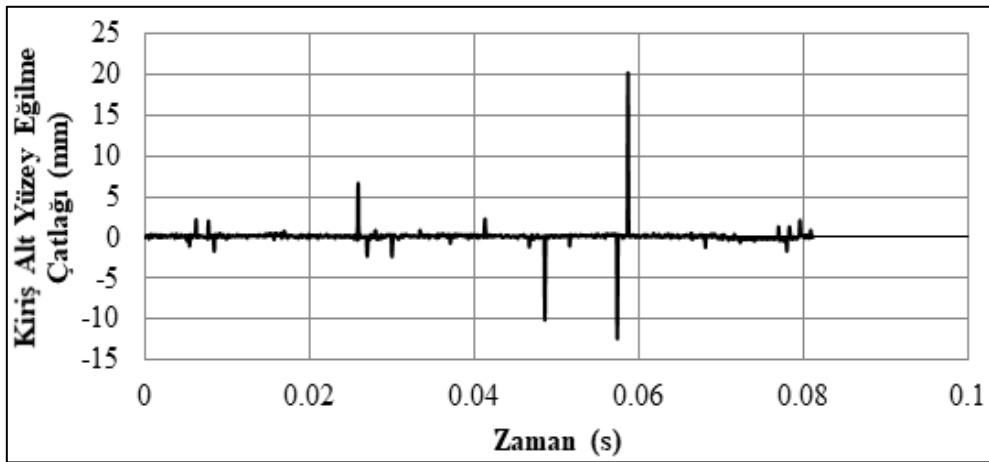
Şekil 4.40. S5 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



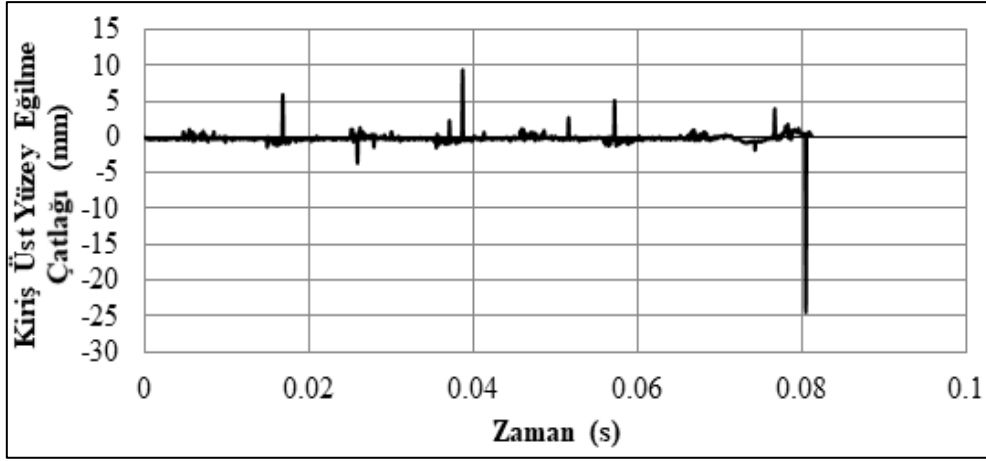
Şekil 4.41. S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.42. S5 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.43. S5 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.44. S5 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

S5 deney elemanında çarpma yüklemesi sonrasında çatlak dağılımları Şekil 4.45'te verilmiştir. Deney elemanında birleşim bölgesinde derin çatlaklar gözlenmiştir. Deney programında ikinci dörtlü deney grubunun etriyesiz olarak tasarlanan deney elemanında çatlak gelişimi kesme çatlakları kılcal boyutlarda kalmıştır. Kiriş üst uzama bölgesinde mesnete doğru kesme çatlakları görülmüştür.



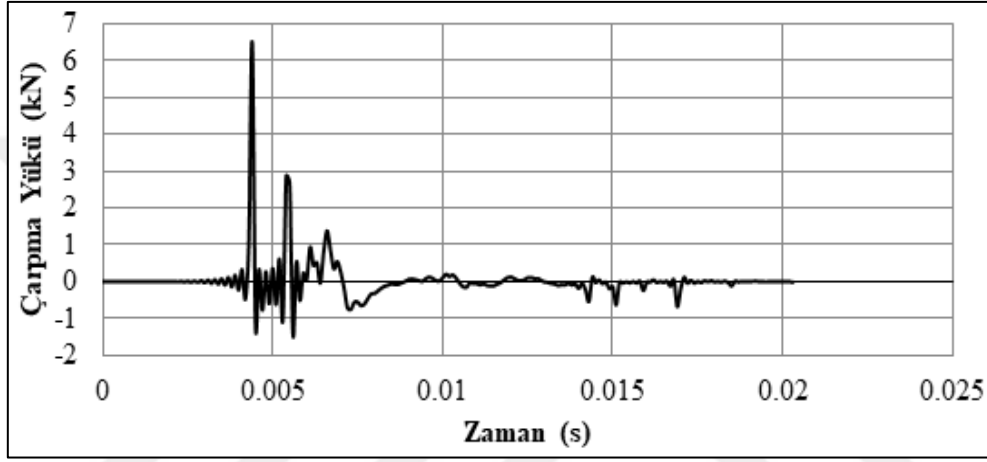
Şekil 4.45. S5 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

4.6. S6 deney elemanı

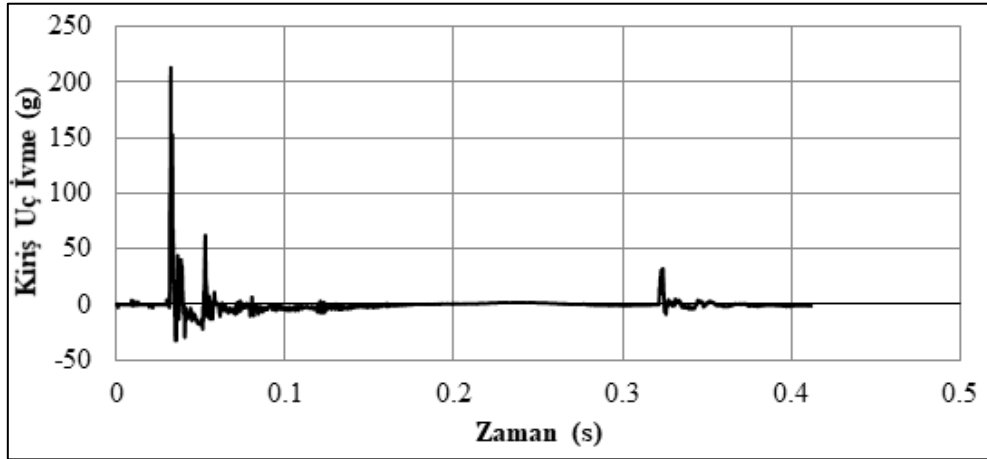
C10 beton sınıfında 300 mm etriye aralıklı olarak S6 deney elemanı tasarlanmıştır. S6 deney elemanında çarpma yükü 6.51 kN değeri almıştır. Kiriş uç maksimum ivme ve minimum ivme değerleri sırasıyla 213.12 g ve -32.15 g olarak kaydedilmiştir. Kiriş uç maksimum

deplasman değeri 65.74 mm, kalıcı deplasman değeri 38.37 mm elde edilmiştir. Kolon bölgesinde maksimum kesme çatlağı 2.54 mm, kiriş bölgesinde 8.50 mm ve 6.58 mm olarak elde edilmiştir. Kiriş alt ve üst yüzey eğilme çatlak genişlikleri sırasıyla 28.72 mm ve 26.46 mm' dir.

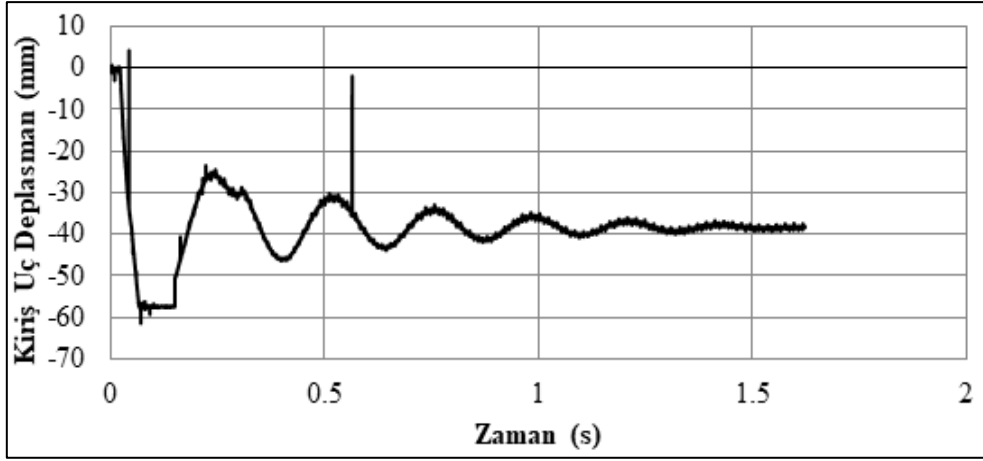
S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir. Kiriş uç bölgesinde alınan ivme zaman değerleri Şekil 4.47'de sunulmuştur. S6 deney elemanından kiriş uç, kolon-kiriş bölgesi kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'te gösterilmiştir.



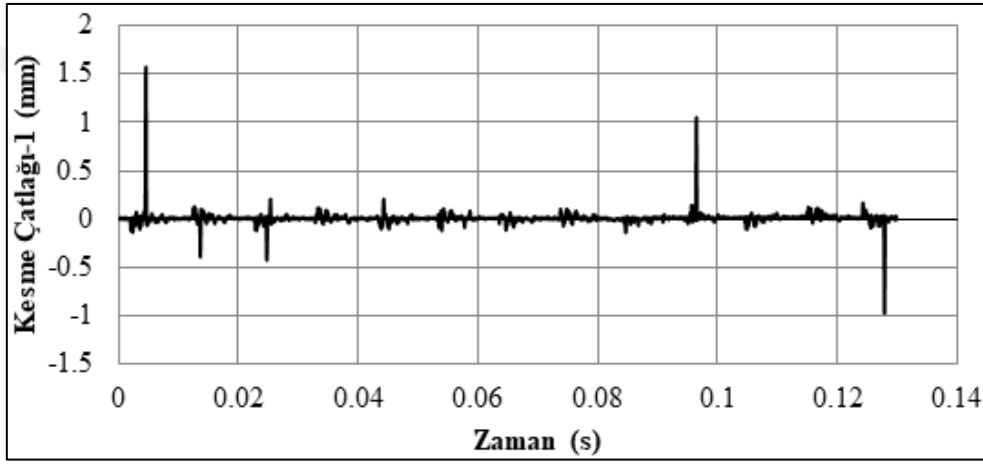
Şekil 4.46. S6 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



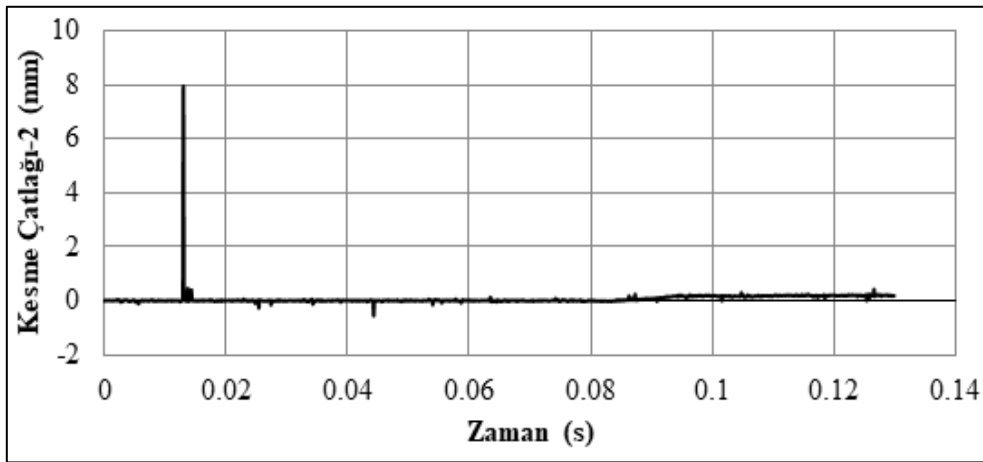
Şekil 4.47. S6 deney elemanına ivme-zaman grafiği



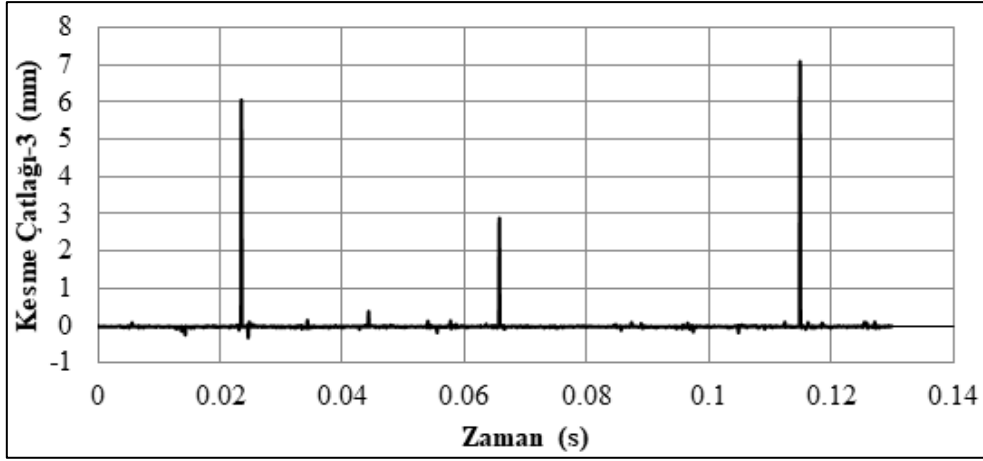
Şekil 4.48. S6 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



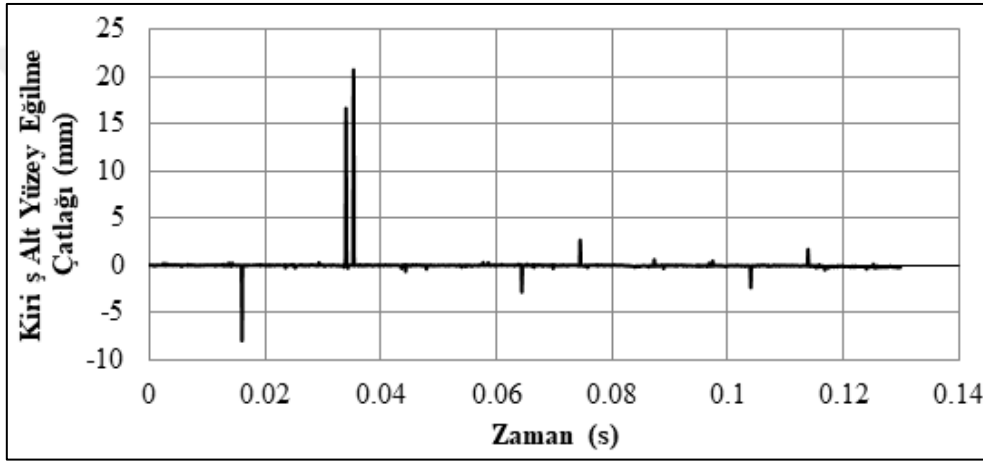
Şekil 4.49. S6 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



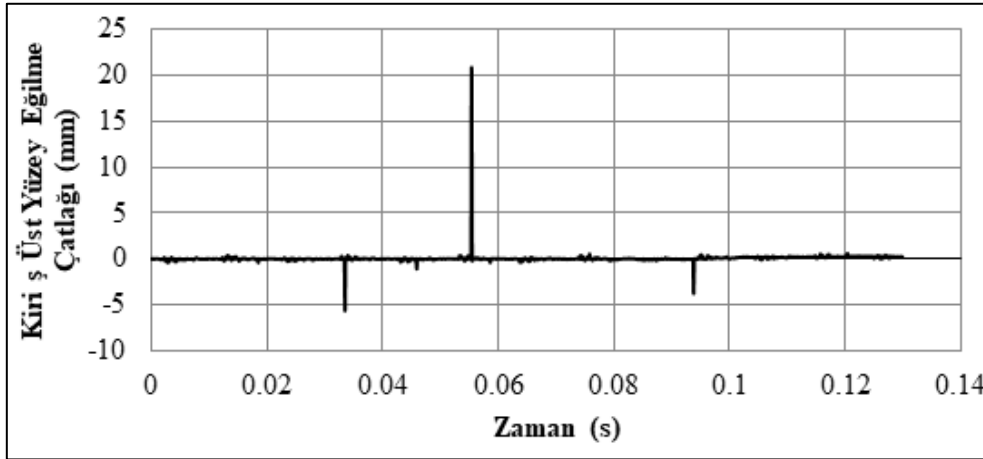
Şekil 4.50. S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği



Şekil 4.51. S6 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.52. S6 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.53. S6 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

S6 deney elemanında deney sonrası çatlak dağılımı incelendiğinde birleşim bölgesinde geniş çatlaklar görülmüştür. Ayrıca kiriş üst bölgesinde kılcal kesme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 4.54).

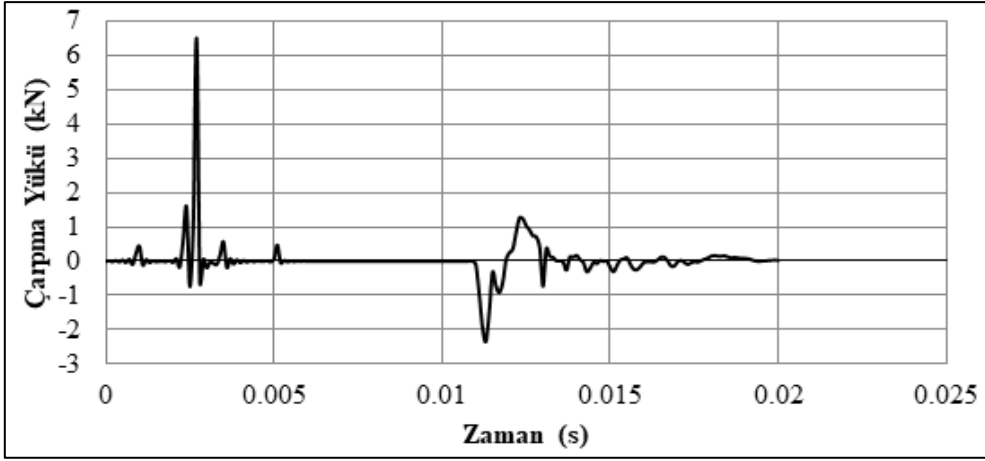


Şekil 4.54. S6 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

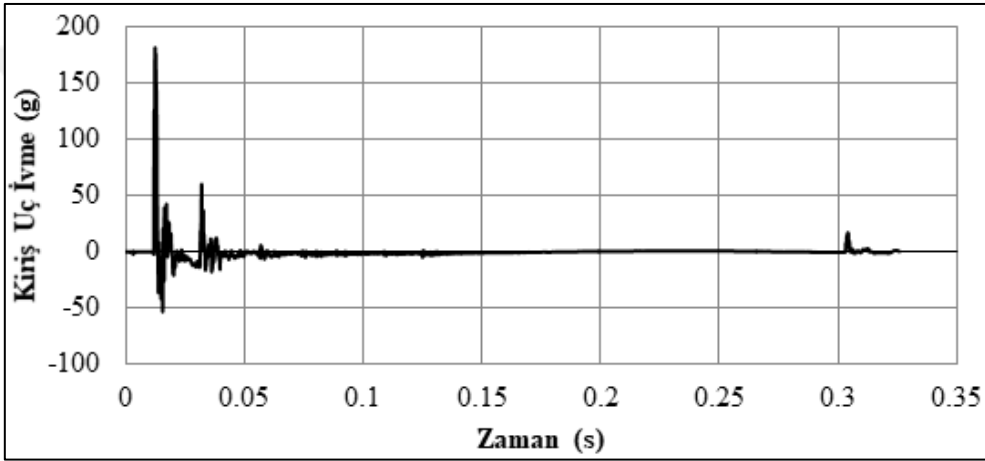
4.7. S7 deney elemanı

S7 deney elemanı, C10 beton sınıfında 150mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükü 6.50 kN olarak elde edilmiştir. Kiriş uç maksimum ivme değeri 180.50 g minimum ivme değeri -53.13 g elde edilmiştir. Kiriş uç maksimum deplasman değeri 61.36 mm, kalıcı deplasman değeri 36.36 mm olarak kaydedilmiştir. S7 deneye elemanı çatlak genişlikleri açısından ele alındığında kolon bölgesinde 2.29 mm, kiriş bölgesinde 8.03 mm ve 6.58 mm elde edilmiştir. Kiriş alt bölge ve üst bölge deplasman değerler sırasıyla 23.88 mm ve 22.40 mm'dir.

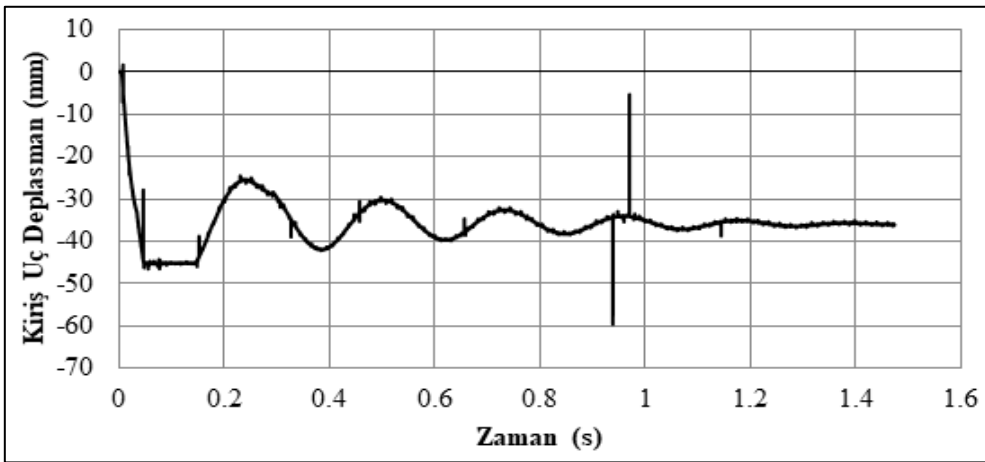
Çarpma deney sonucunda elde edilen çarpma yükü-zaman grafiği Şekil 4.55'te verilmiştir. S7 deney elemanına ivme zaman grafiği Şekil 4.56, kiriş uç deplasman zaman grafiği Şekil 4.57, kesme çatlakları zaman grafikleri; kolon bölgesi için Şekil 4.58, kiriş bölgesi için Şekil 4.59, Şekil 4.60, kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği Şekil 4.61 ve üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği Şekil 4.62'de verilmiştir.



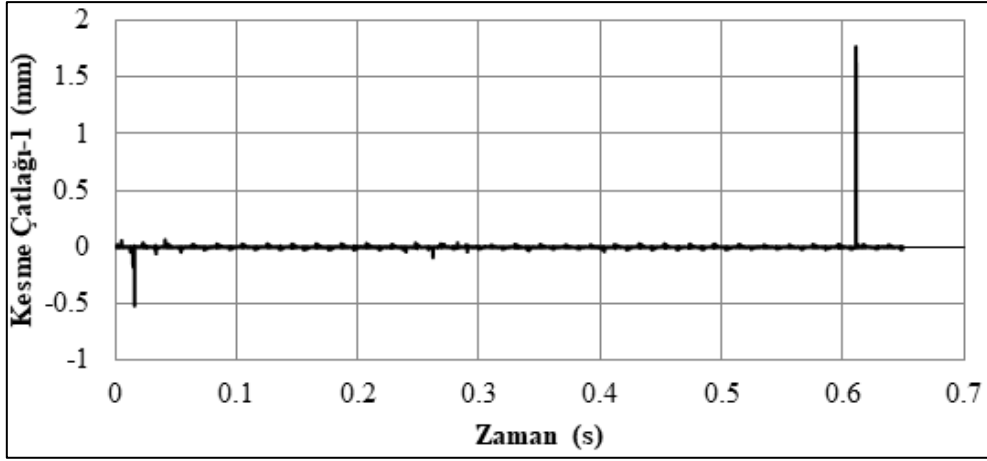
Şekil 4.55. S7 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



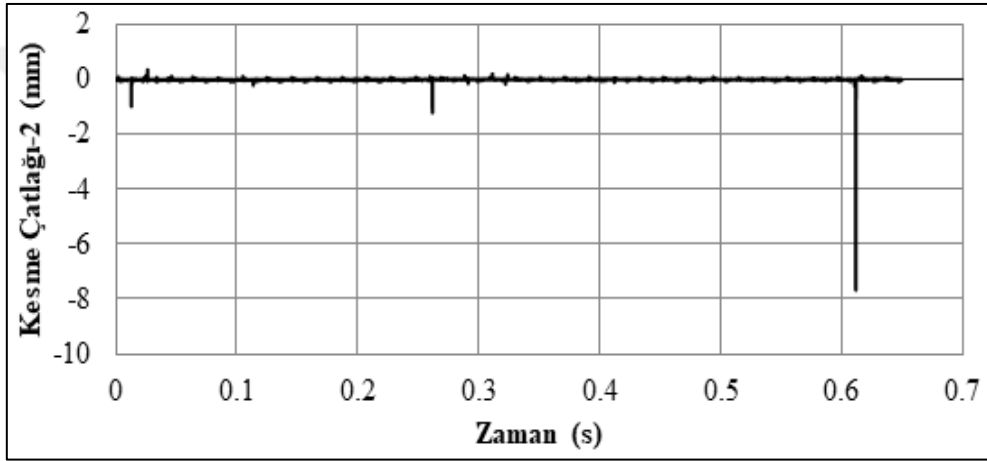
Şekil 4.56. S7 deney elemanına ivme-zaman grafiği



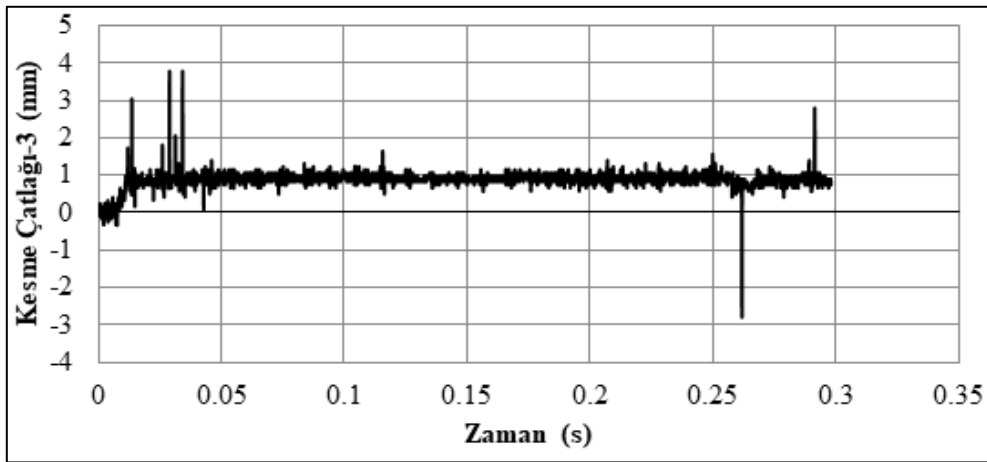
Şekil 4.57. S7 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



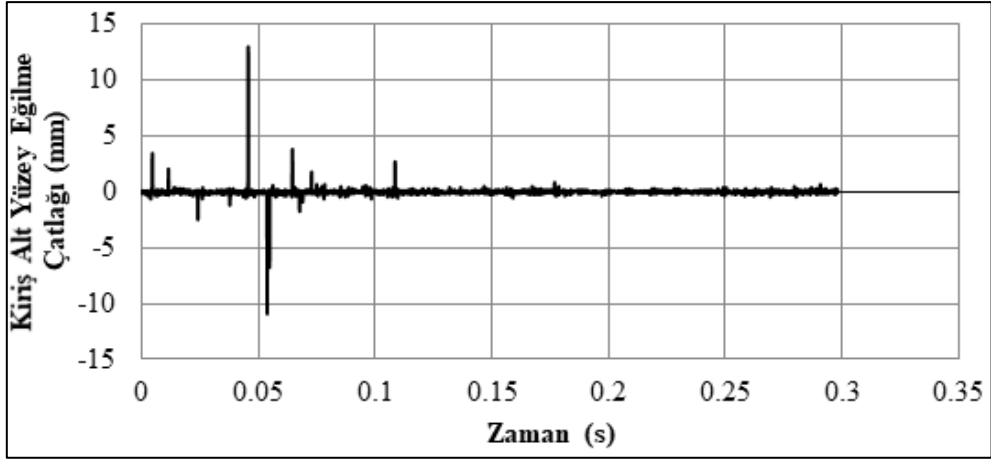
Şekil 4.58. S7 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



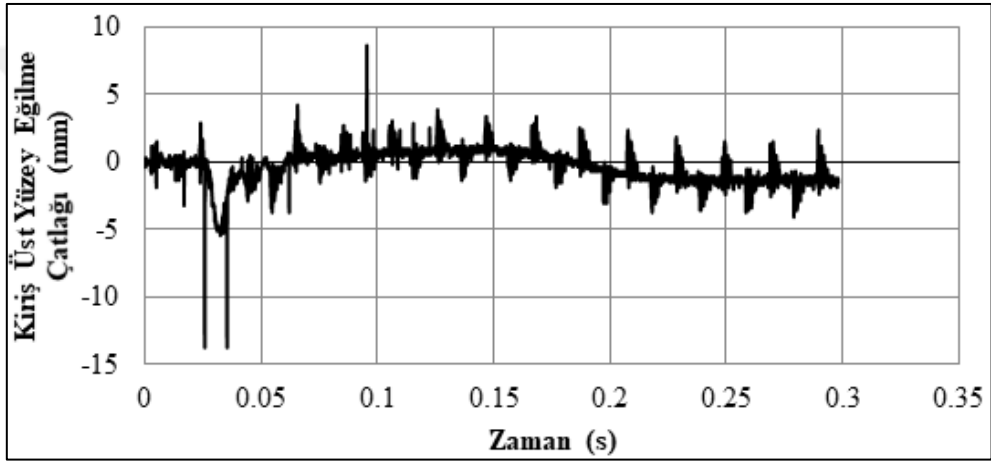
Şekil 4.59. S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.60. S7 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.61. S7 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.62. S7 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

Çarpma yüklemesi sonrasında, S7 deney elemanı üzerinde gerçekleştirilen incelemelerde, kolon birleşim bölgesinde kılcal çatlakların, kirişin mesnetlendiği bölgede ise eğilme çatlaklarının meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.63).

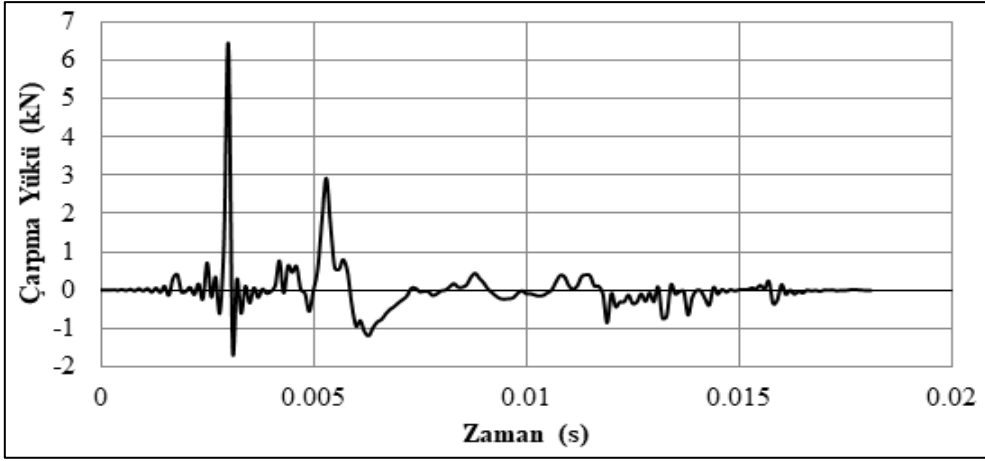


Şekil 4.63. S7 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi.

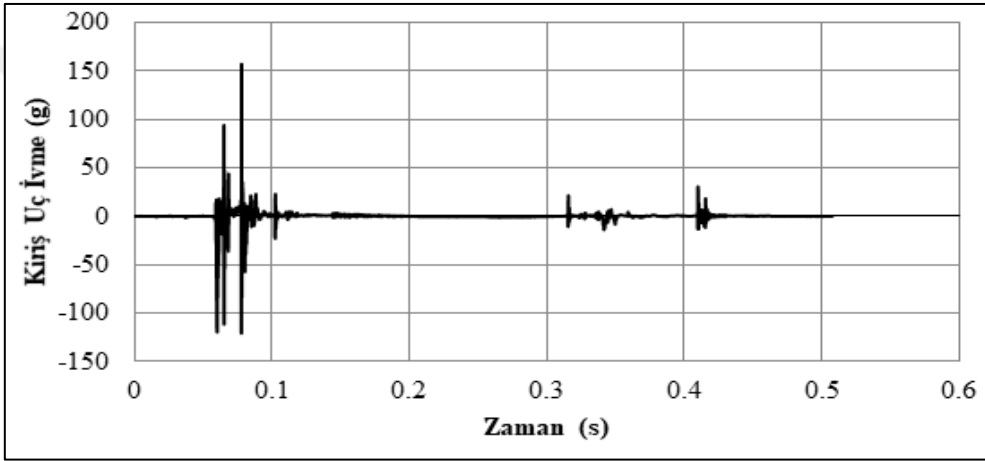
4.8. S8 deney elemanı

S8 deney elemanı, C10 beton sınıfında 75 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 6.43 kN olarak elde edilmiştir. Deney programında ikinci dördü grup deney elemanında çarpma yükleri 6.43-6.47 kN arasında birbirine yakın düzeyde çıkmıştır. Maksimum kiriş uç ivme değeri 151.60 g, minimum kiriş uç ivme değeri -119.51 g olarak kaydedilmiştir. Çarpma yüklemesinde kiriş uç maksimum deplasman değeri 52.41 mm, kalıcı deplasman değeri 31.71 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.22 mm, kiriş bölgesinde ise 5.78 mm ve 4.52 mm'dir. Kiriş alt yüzey eğilme çatlak genişliği 19.08 mm, üst yüzey eğilme çatlak genişliği 19.13 mm'dir.

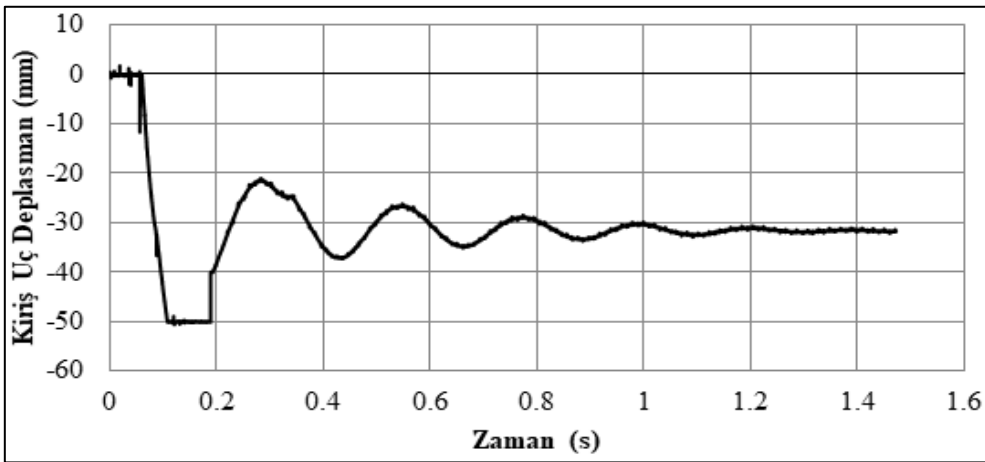
Çarpma deney sonucunda elde edilen çarpma yükü zaman grafiği Şekil 4.63'te verilmiştir. S8 deney elemanına ivme-zaman grafiği Şekil 4.64, kiriş uç deplasman zaman grafiği Şekil 4.65, kesme çatlakları zaman grafikleri; kolon bölgesi için Şekil 4.66, kiriş bölgesi için Şekil 4.67, Şekil 4.68, kiriş alt yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği Şekil 4.69 ve üst yüzey eğilme çatlak-zaman grafiği Şekil 4.70'te verilmiştir.



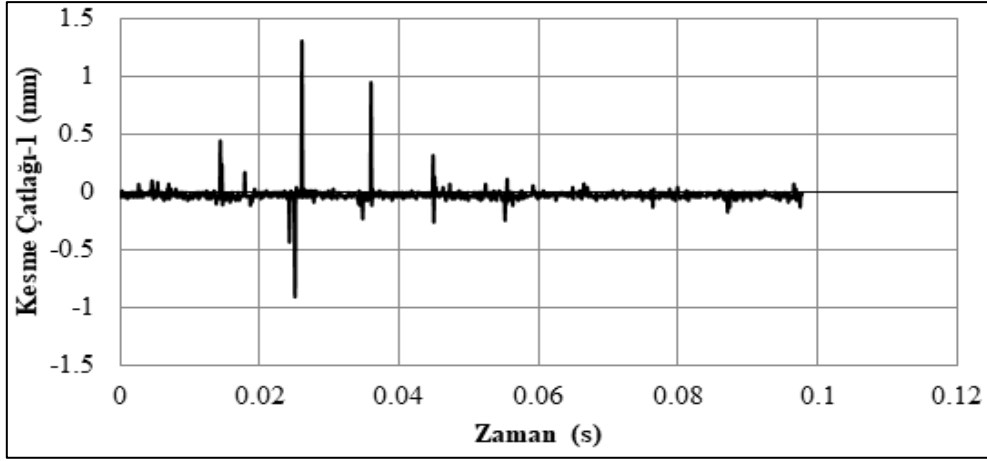
Şekil 4.64. S8 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



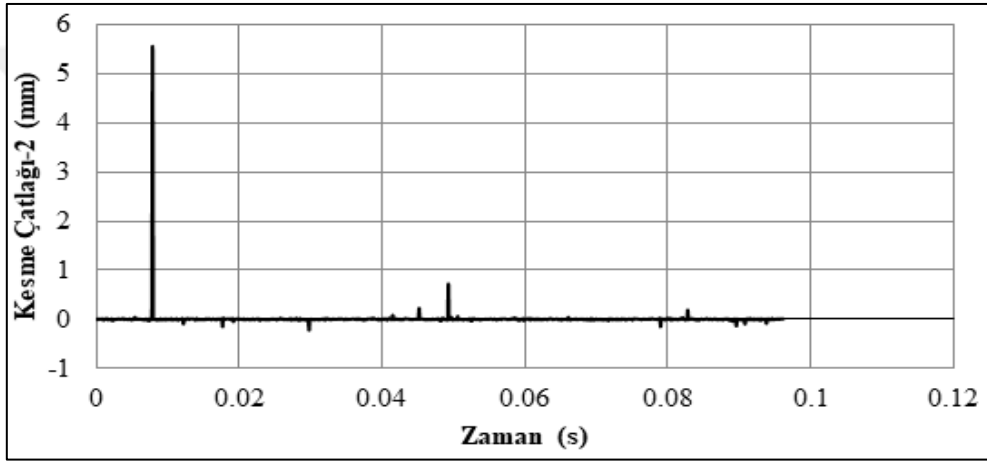
Şekil 4.65. S8 deney elemanına ivme-zaman grafiği



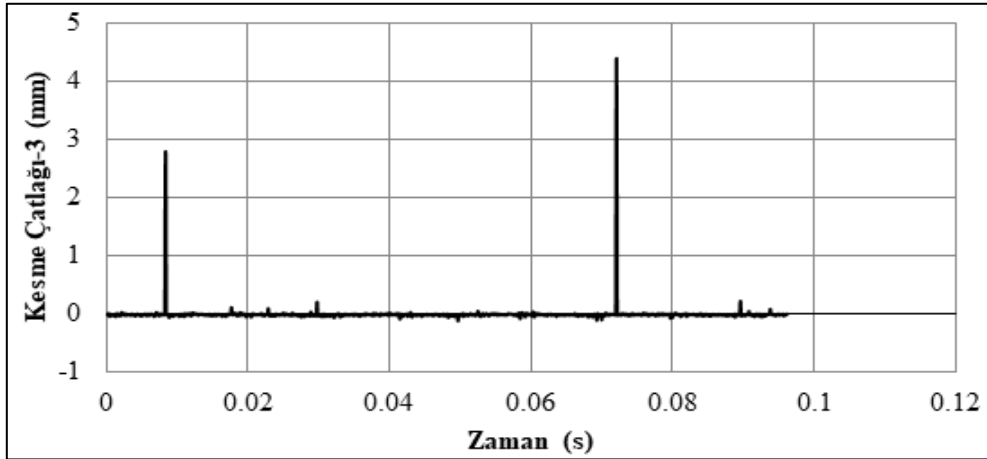
Şekil 4.66. S8 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



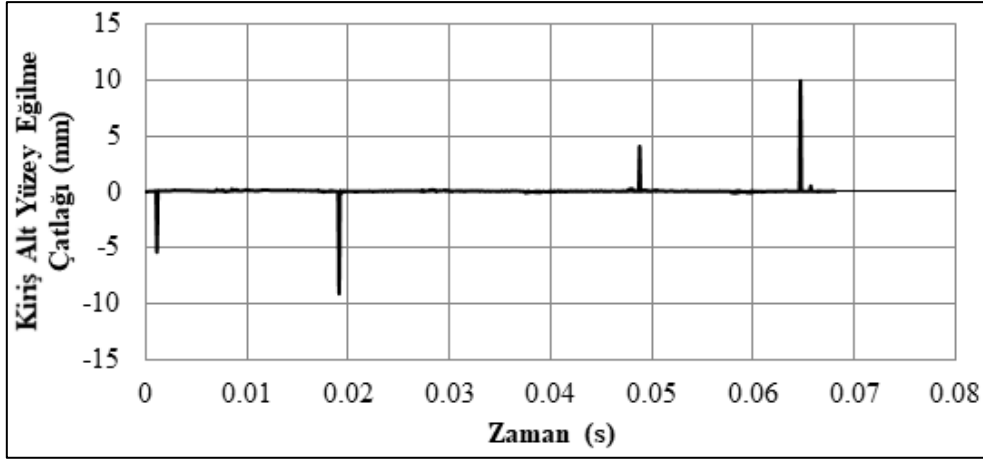
Şekil 4.67. S8 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



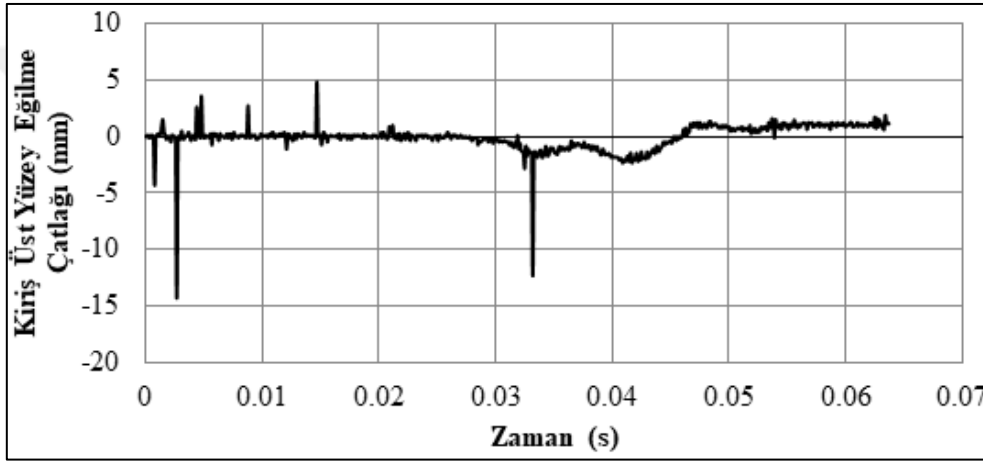
Şekil 4.68. S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.69. S8 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.70. S8 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği



Şekil 4.71. S8 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

Şekil 4.72'de S8 deney elemanında çarpma sonrası meydana gelen çatlak dağılımını göstermektedir. C10 beton sınıfında, 750 mm düşü yüksekliğinden ve yaklaşık olarak 6.5 kN çarpma yüküyle ikinci dört deney elemanlarında kesme donatısının artmasıyla kesme kılcal çatlaklarda azalmalar görülmektedir (Şekil 4.72).

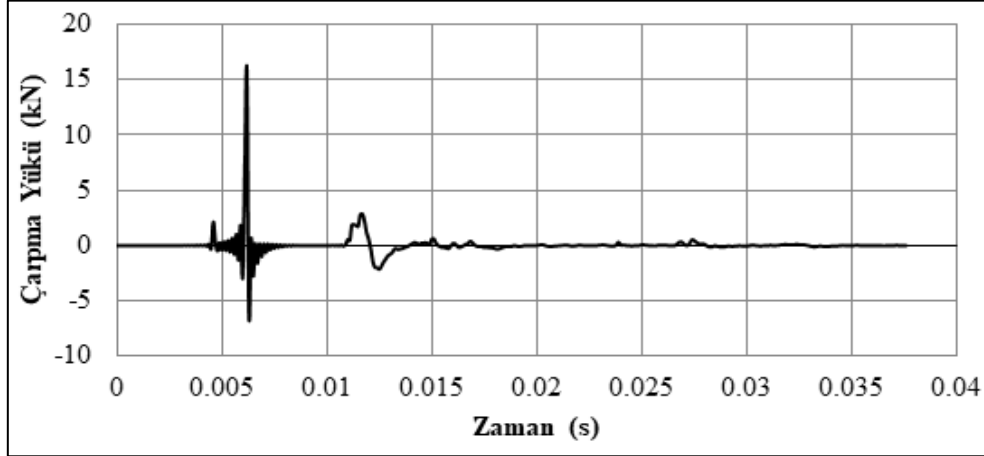


Şekil 4.72. S8 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

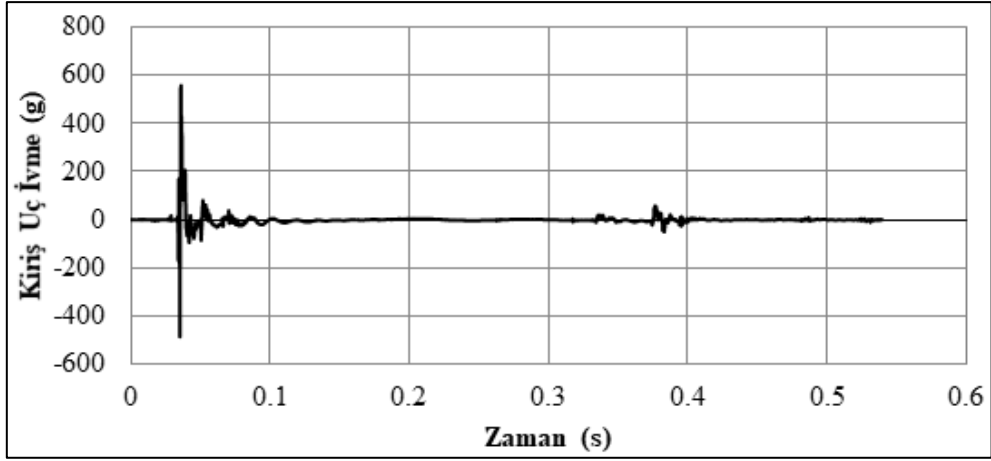
4.9. S9 deney elemanı

S9 deney elemanı, C25 beton sınıfında etriyesiz olarak tasarlanmıştır. Deneysel programda üçüncü dört deney elemanında düşü yüksekliği 1000 mm, düşü ağırlığı 84 kg'dır. C25 beton sınıfında ve düşü yüksekliği 1000 mm olacak şekilde tasarlanan deney elemanları, deneysel programda maksimum çarpma yüklerine ulaşılmıştır. S9 deney elemanında çarpma yükü 15.92 kN elde edilmiştir. Kiriş uç ivme değerleri maksimum ve minimum olmak üzere 556.88 g ve -480.49 g olarak kaydedilmiştir. Kiriş uç maksimum deplasman değeri 99.05 mm, kalıcı deplasman değeri 39.26 mm'dir. Deney elemanını kesme çatlakları açısından ele alındığında, kolon bölgesi 2.83 mm, kiriş bölgesinde 10 mm ve 8.22 mm kesme çatlakları elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.22 mm, kiriş bölgesinde ise 5.78 mm ve 4.52 mm'dir. S9 deney elemanın kiriş alt ve üst yüzünde okunan maksimum deplasman değerleri sırasıyla 34.52 mm ve 64.05 mm'dir.

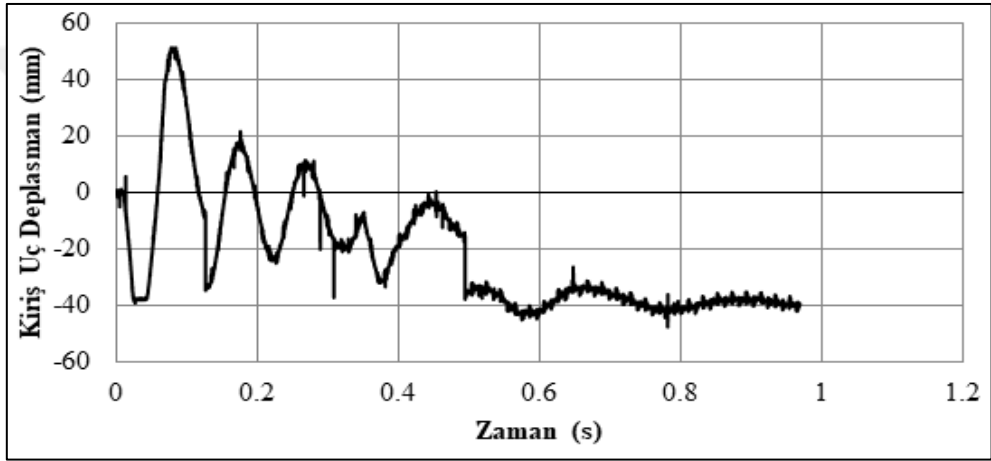
Deney sonrası elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.73, Şekil 4.74, Şekil 4.75, Şekil 4.76, Şekil 4.77, Şekil 4.78, Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de sunulmuştur.



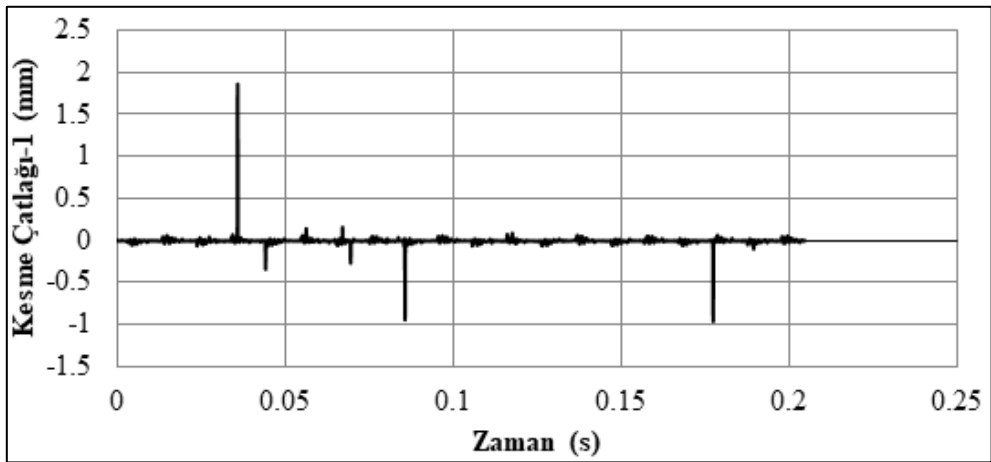
Şekil 4.73. S9 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



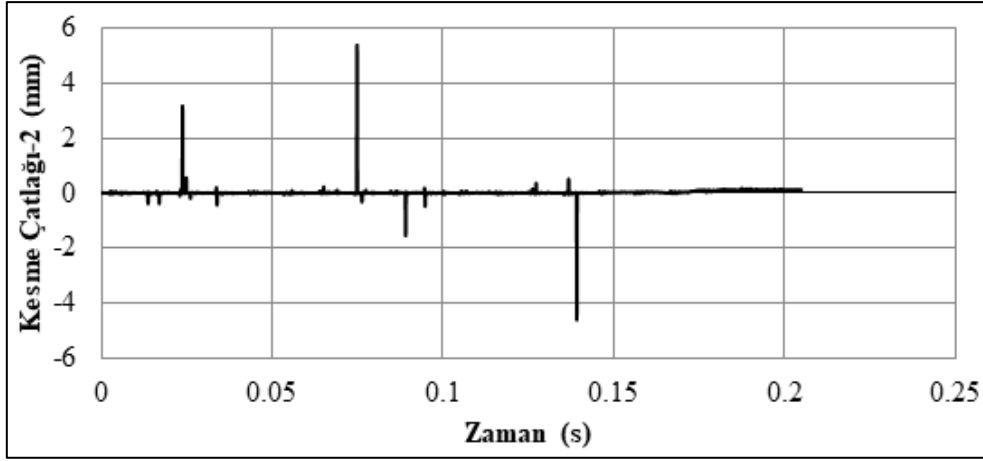
Şekil 4.74. S9 deney elemanına ivme-zaman grafiği



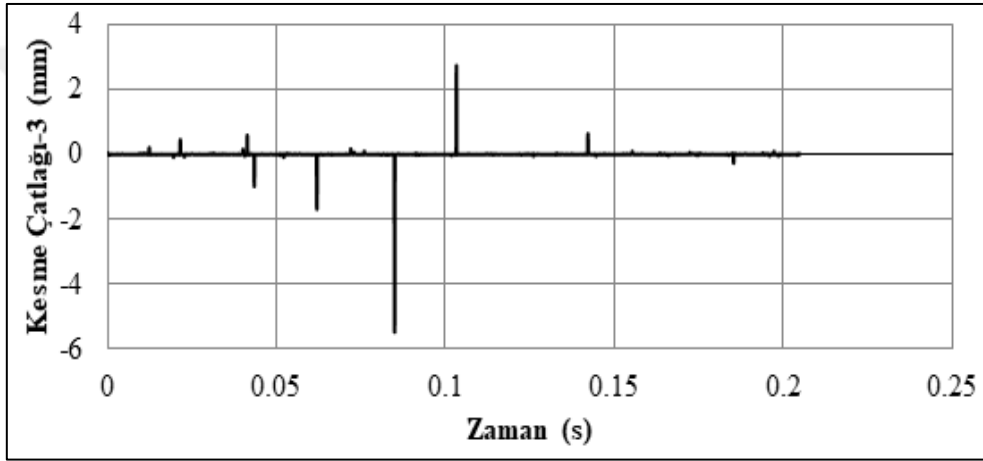
Şekil 4.75. S9 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



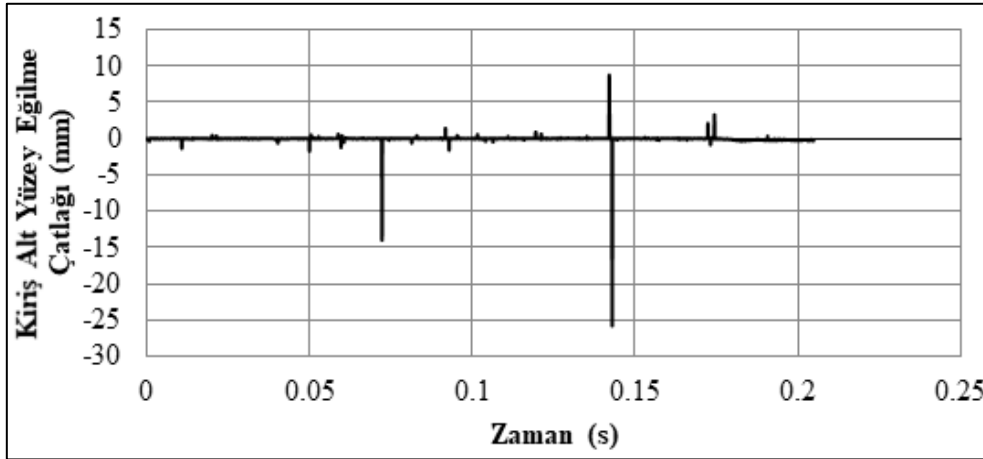
Şekil 4.76. S9 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



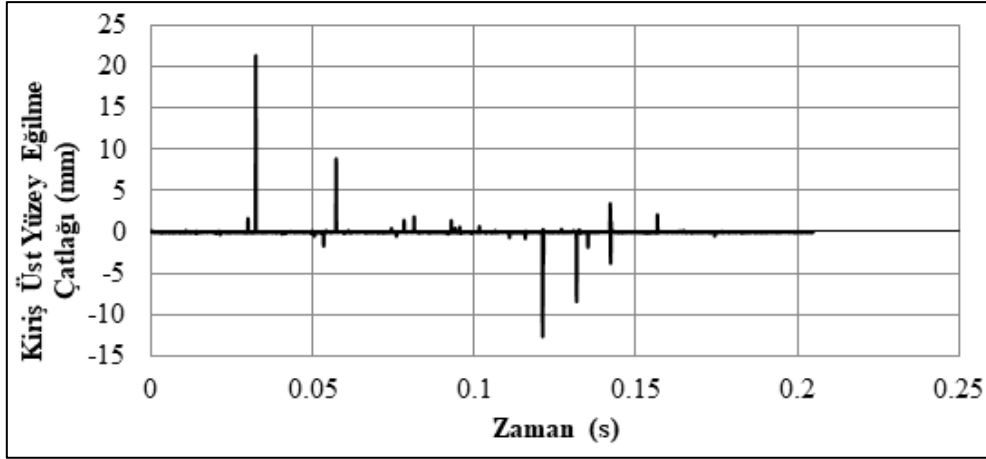
Şekil 4.77. S9 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.78. S9 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.79. S9 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.80. S9 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

S9 deney elemanında çarpma yüklemesi sonrasında gerçekleştirilen incelemelerde, kolon bölgesinde kılcal çatlaklar, kiriş bölgesinde mesnete doğru ilerleyen geniş kesme çatlakları gözlenmiştir (Şekil 4.81).



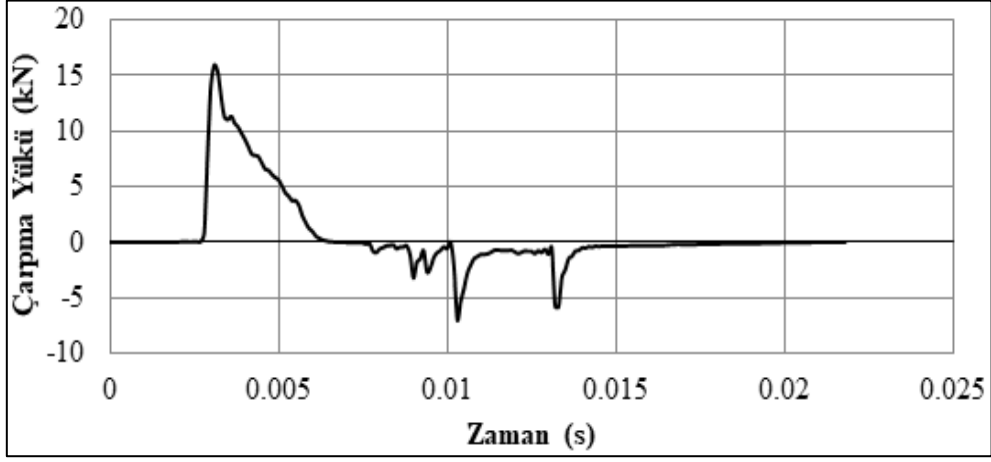
Şekil 4.81. S9 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

4.10. S10 deney elemanı

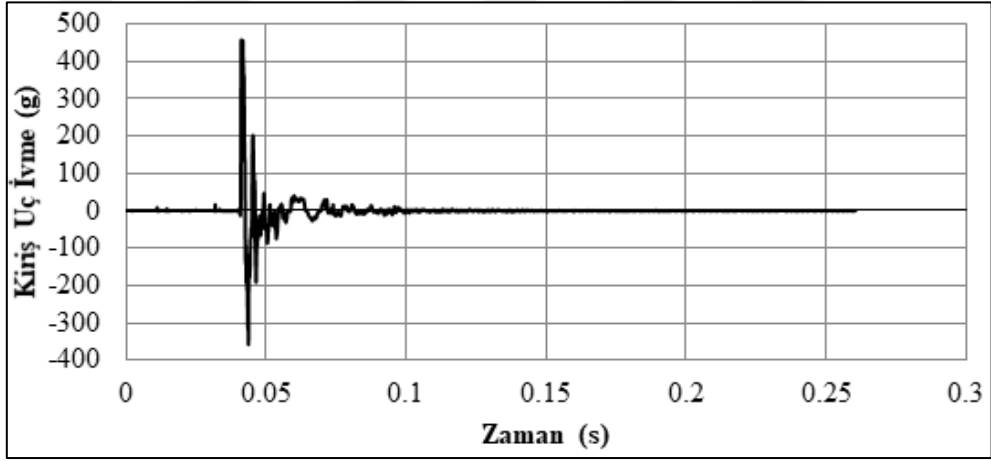
S10 deney elemanı, C25 beton sınıfında 300 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükü 15.95 kN, kiriş uç ivme maksimum değeri 454.52 g ve minimum değeri ise -201.09 g elde edilmiştir. S10 deney elemanı, kiriş uç maksimum deplasman 83.33 mm, kalıcı deplasman değeri 36.82 mm'dir. Kolon bölgesi maksimum kesme çatlakları genişliği 2.52 mm, kiriş bölgesinde 9.15 mm ve 7.95 mm olarak kaydedilmiştir. Kiriş alt ve üst yüzünden okunan maksimum deplasman değerleri sırasıyla 33.01 mm ve 32.78 mm'dir.

S10 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil

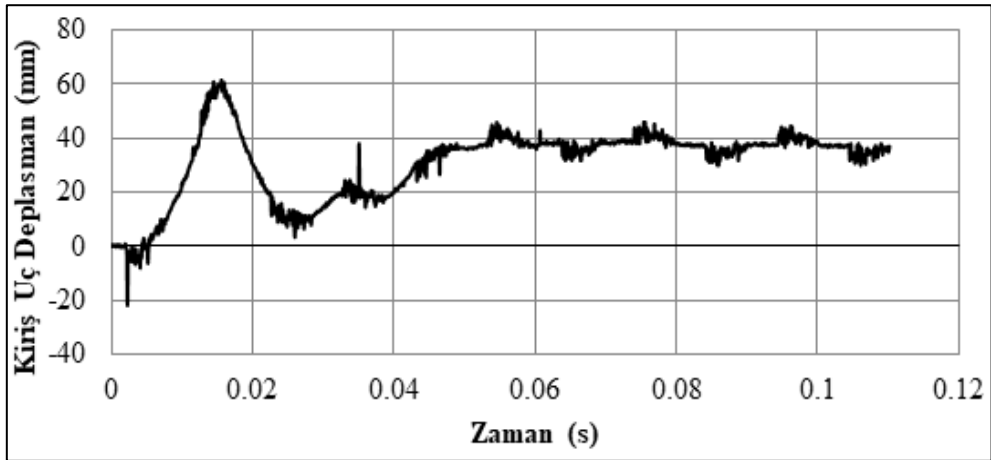
4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’da sunulmuştur.



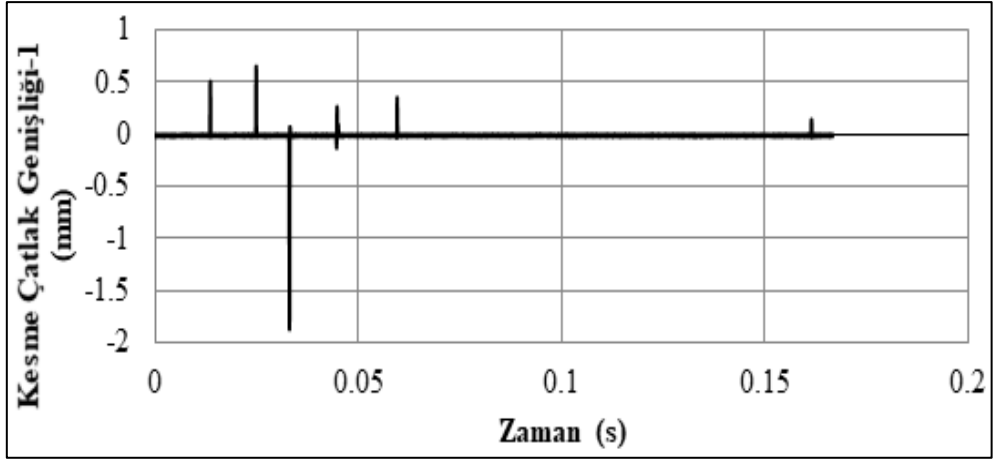
Şekil 4.82. S10 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



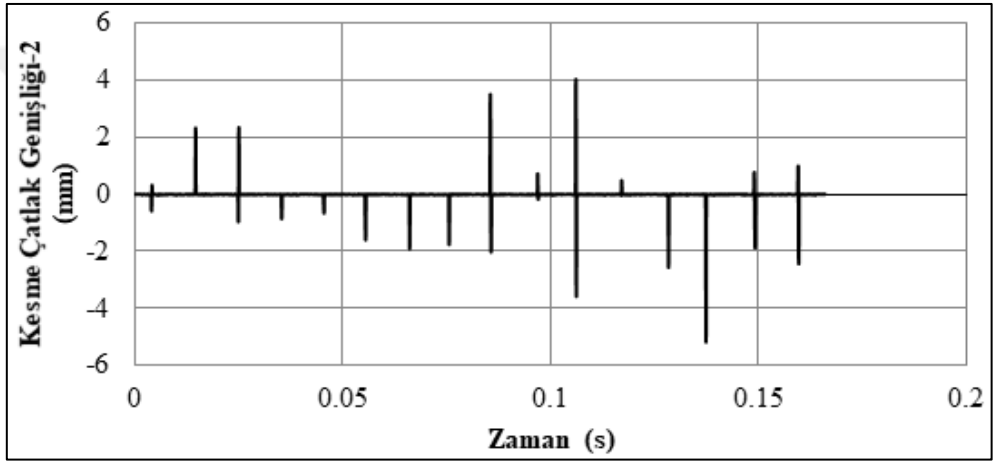
Şekil 4.83. S10 deney elemanına ivme-zaman grafiği



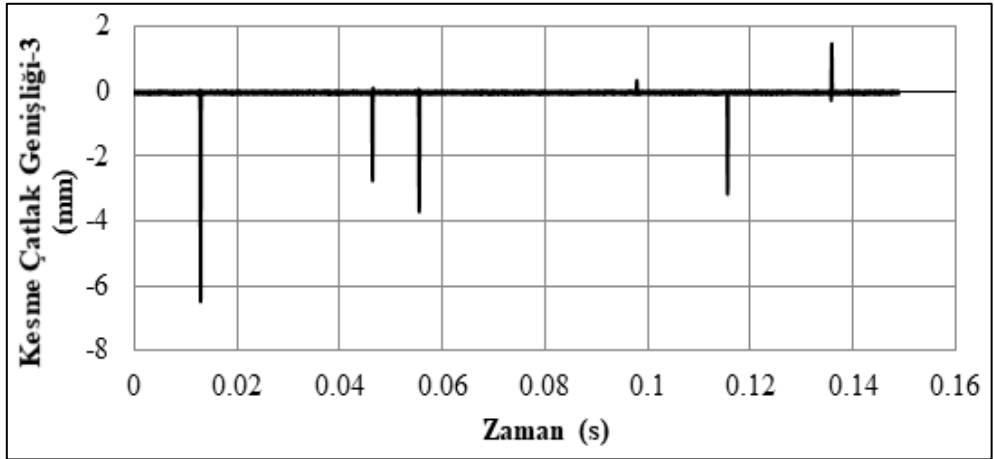
Şekil 4.84. S10 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



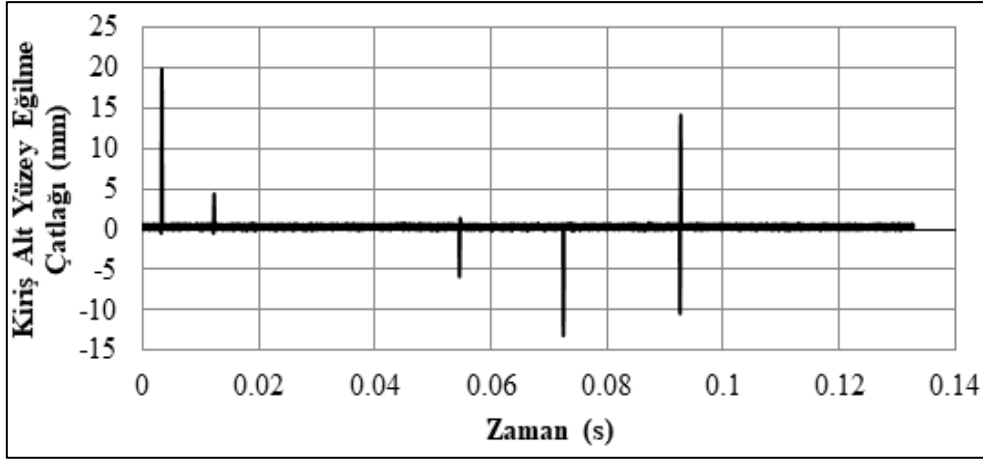
Şekil 4.85. S10 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



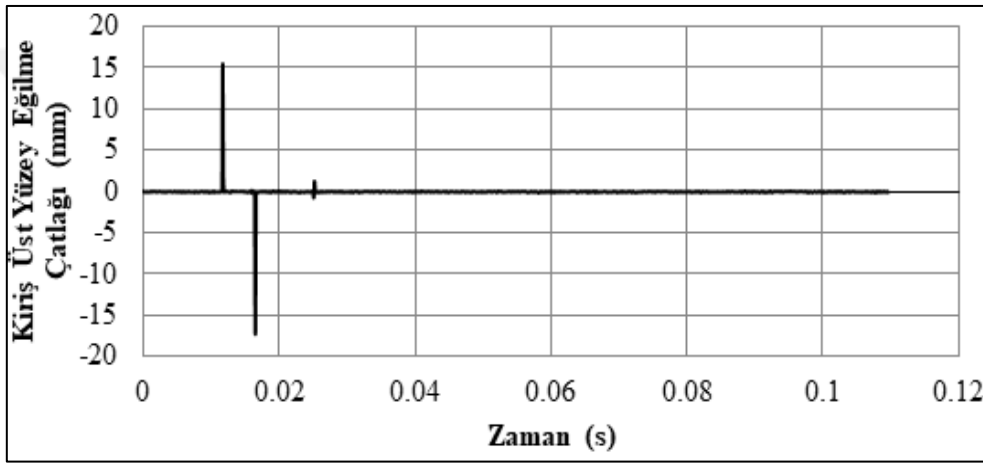
Şekil 4.86. S10 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.87. S10 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.88. S10 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği



Şekil 4.89. S10 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

S10 deney elemanında çarpma yüklemesi sonrasında gerçekleştirilen incelemelerde, kolon bölgesinde kılcal çatlaklar, kiriş bölgesinde ise mesnete doğru ilerleyen geniş kesme çatlakları gözlenmiştir (Şekil 4.90).

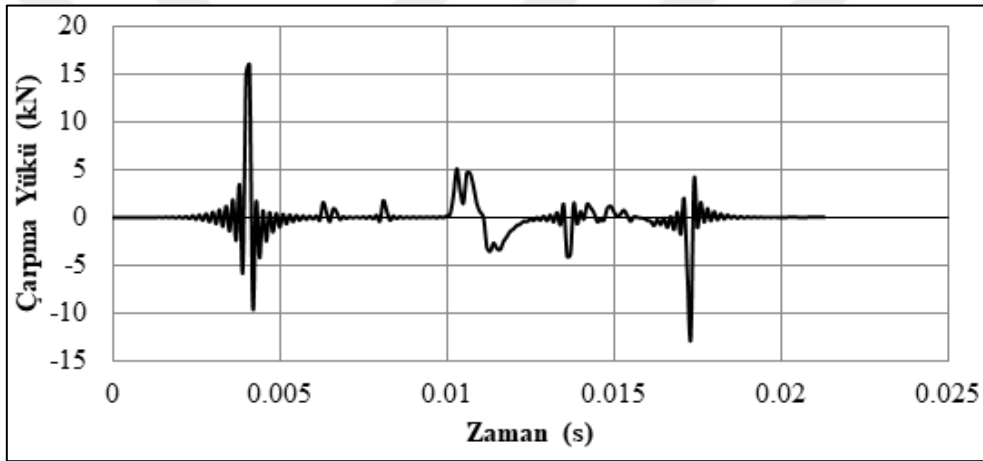


Şekil 4.90. S10 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

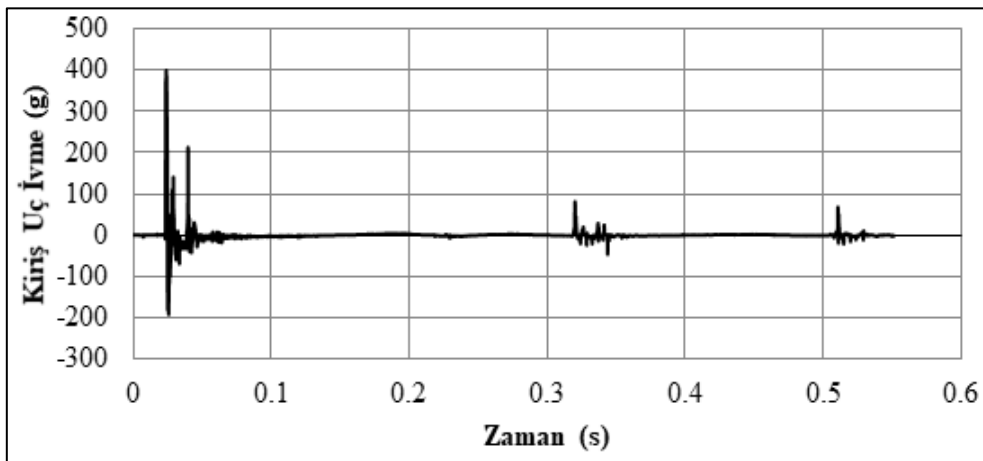
4.11. S11 deney elemanı

S11 deney elemanı, C25 beton sınıfında 150 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükü 15.96 kN, kiriş uç ivme maksimum değeri 399.50 g ve minimum değeri -190.13 g elde edilmiştir. S11 deney elemanı, kiriş uç maksimum deplasman 73.64 mm, kalıcı deplasman değeri 34.99 mm'dir. Kolon bölgesi maksimum kesme çatlak genişliği 2.24 mm, kiriş bölgesinde 8.55 mm ve 7.89 mm olarak kaydedilmiştir. Kiriş alt ve üst yüzünden okunan maksimum deplasman değerleri sırasıyla 32 mm ve 31.72 mm'dir.

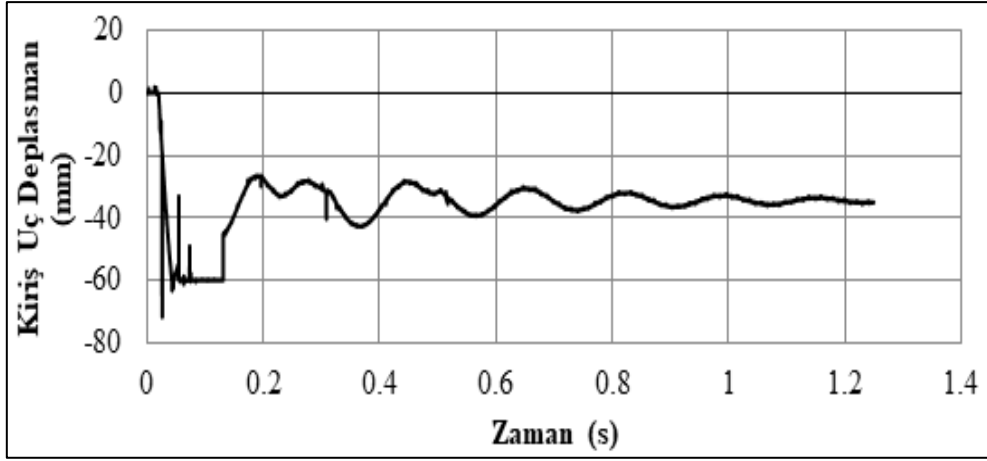
S11 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.91, Şekil 4.92, Şekil 4.93, Şekil 4.94, Şekil 4.95, Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98'de sunulmuştur.



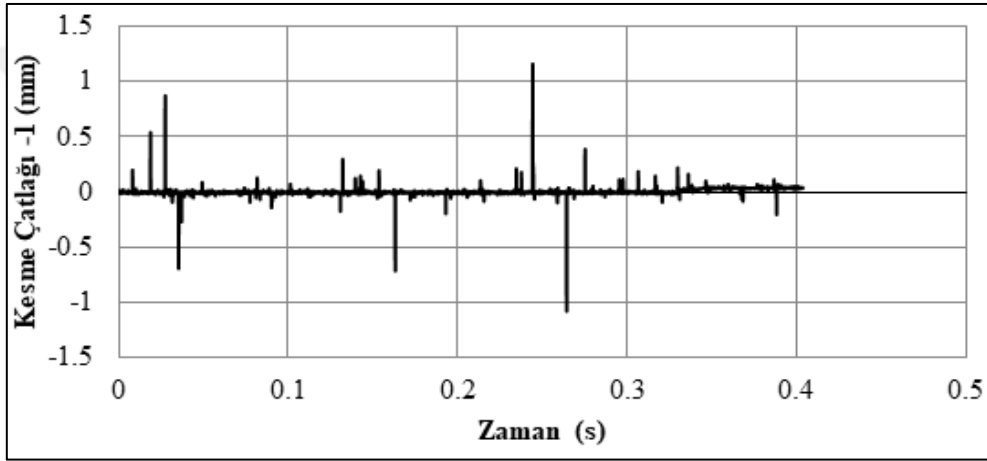
Şekil 4.91. S11 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



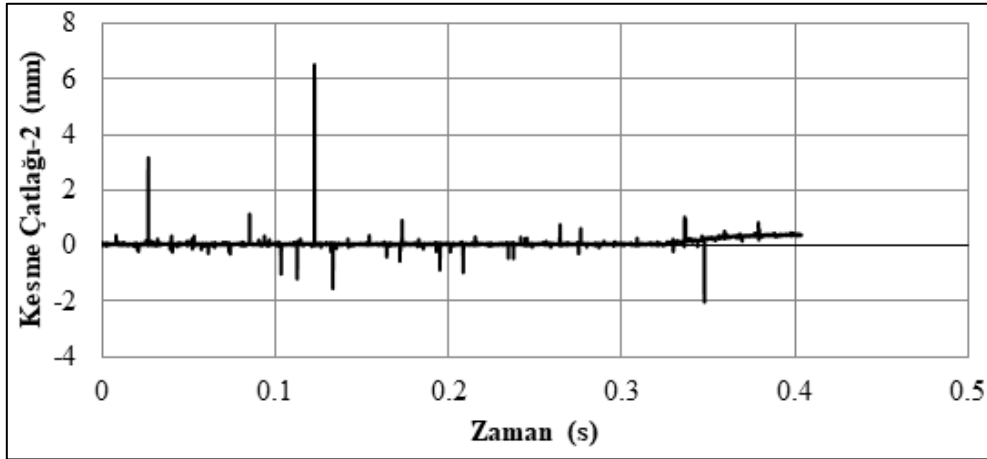
Şekil 4.92. S11 deney elemanına ivme-zaman grafiği



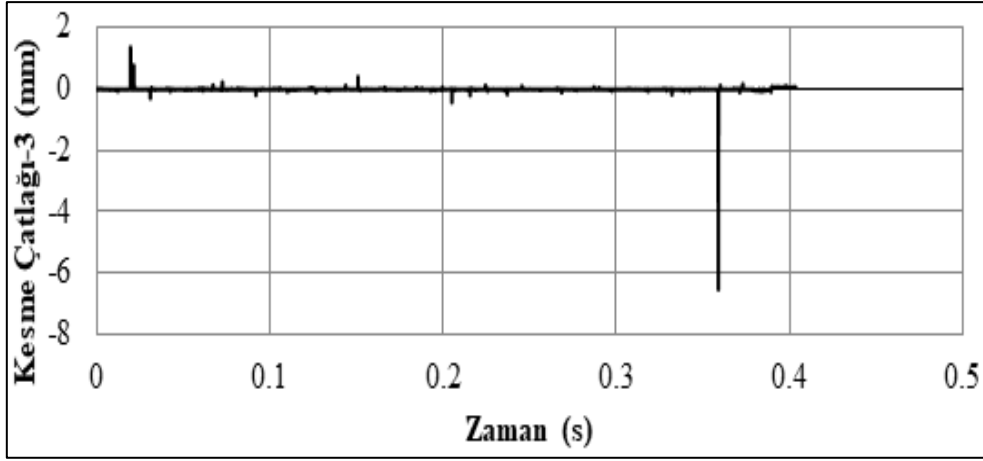
Şekil 4.93. S11 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



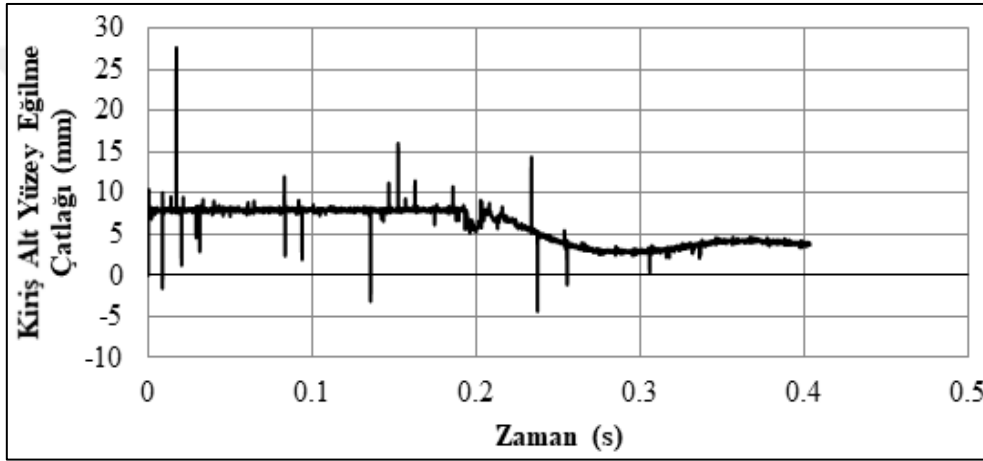
Şekil 4.94. S11 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



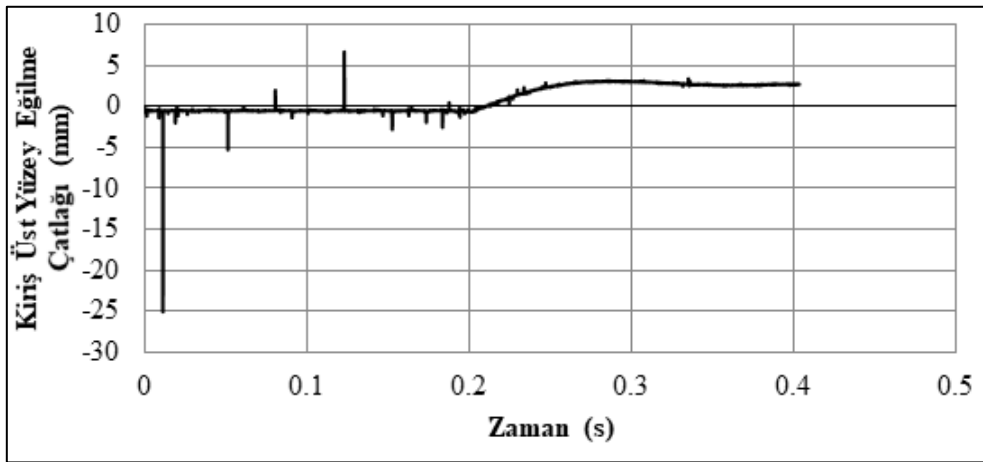
Şekil 4.95. S11 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.96. S11 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlakları- zaman grafiği



Şekil 4.97. S11 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği



Şekil 4.98. S11 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

Deney sonrası incelenen numunede, kolon birleşim bölgesinde çatlaklar ve kiriş bölgesinde ise kesme çatlakları gözlenmiştir (Şekil 99).

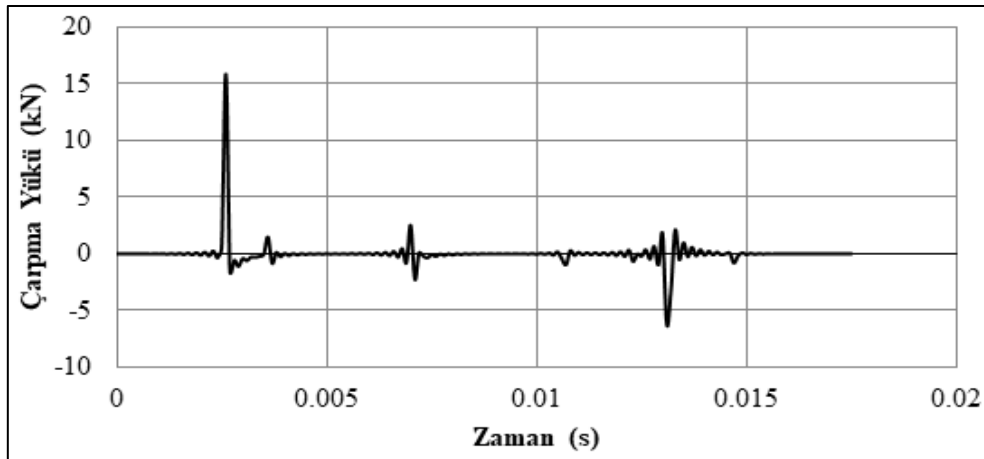


Şekil 4.99. S11 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

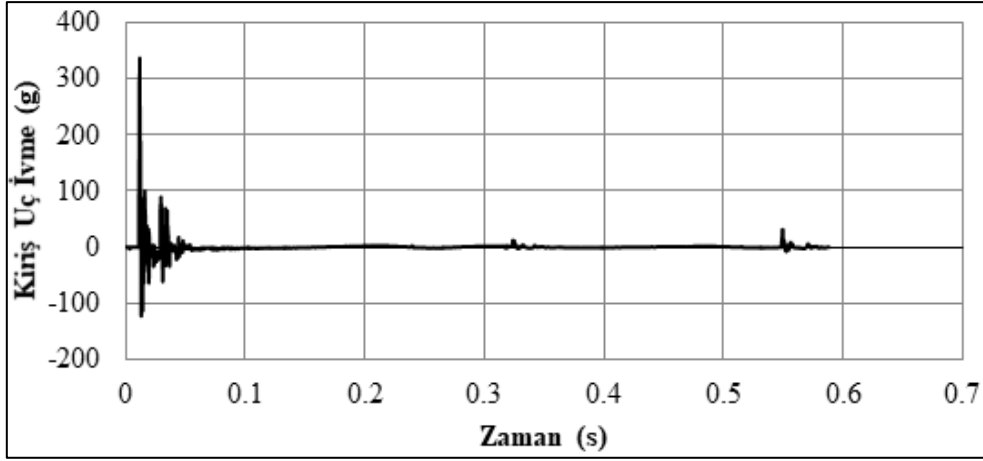
4.12. S12 deney elemanı

S12 deney elemanı, C25 beton sınıfında 75 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 15.87 kN olarak elde edilmiştir. Deney programında üçüncü dördü grup deney elemanında çarpma yükleri 15.87-15.96 kN arasında birbirine yakın düzeyde çıkmıştır. S12 deney elemanında maksimum kiriş uç ivme değeri 335.69 g, minimum kiriş uç ivme değeri -122.58 g olarak kaydedilmiştir. Çarpma yüklemesinde kiriş uç maksimum deplasman değeri 54.35 mm, kalıcı deplasman değeri 26.81 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.02 mm, kiriş bölgesinde ise 8.12 mm ve 7.89 mm'dir. Kiriş alt yüzünden okunan maksimum deplasman değeri 25.13 mm, üst yüzünde okunan maksimum deplasman değeri ise 23.75 mm'dir.

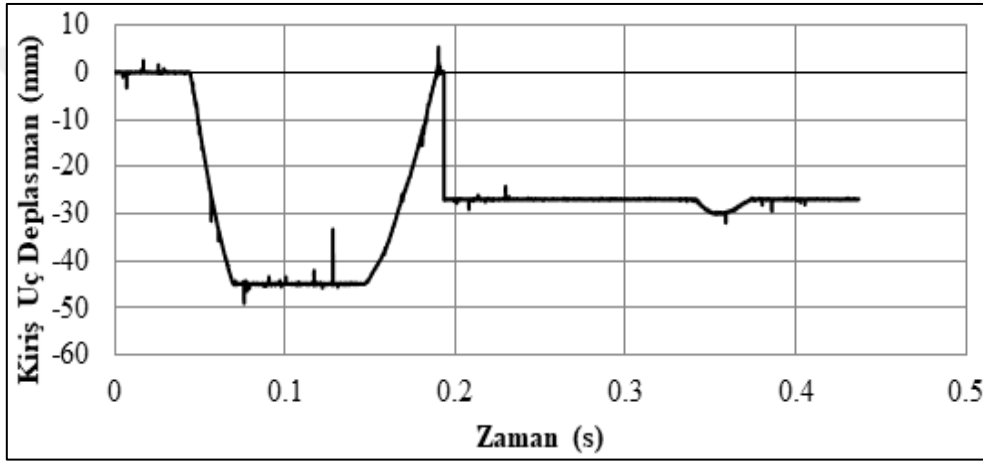
S12 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.100, Şekil 4.101, Şekil 4.102, Şekil 4.103, Şekil 4.104, Şekil 4.105, Şekil 4.106 ve Şekil 4.107'de sunulmuştur.



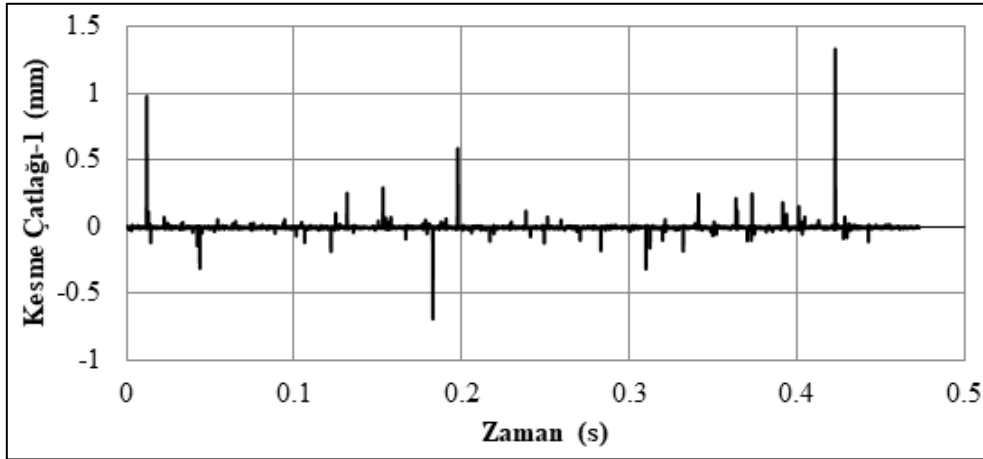
Şekil 4.100. S12 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



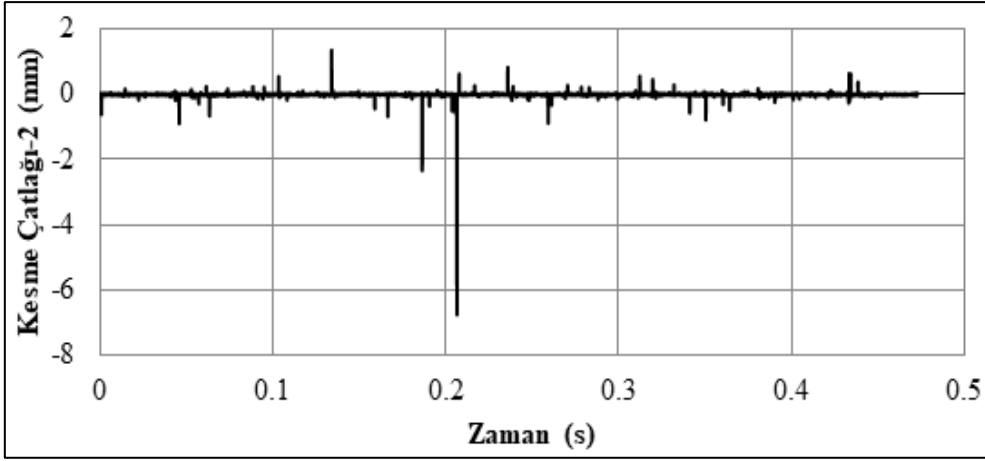
Şekil 4.101. S12 deney elemanına ivme-zaman grafiği



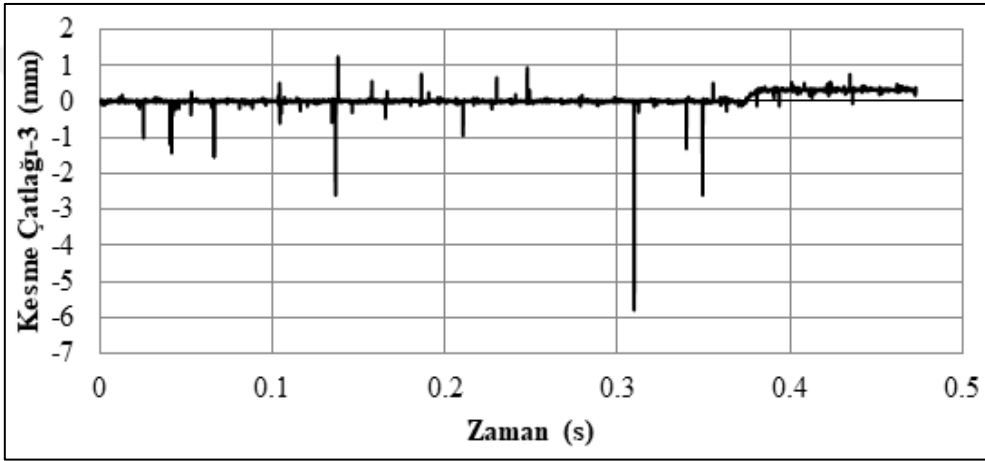
Şekil 4.102. S12 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



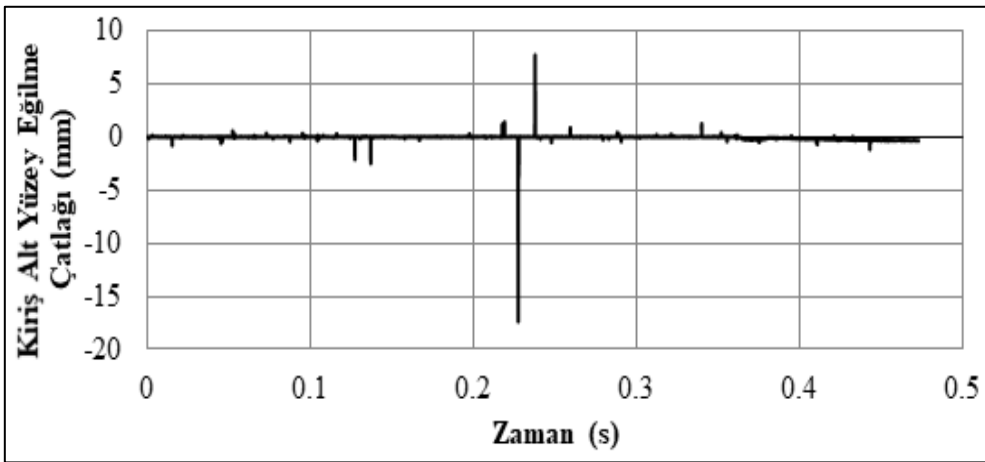
Şekil 4.103. S12 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



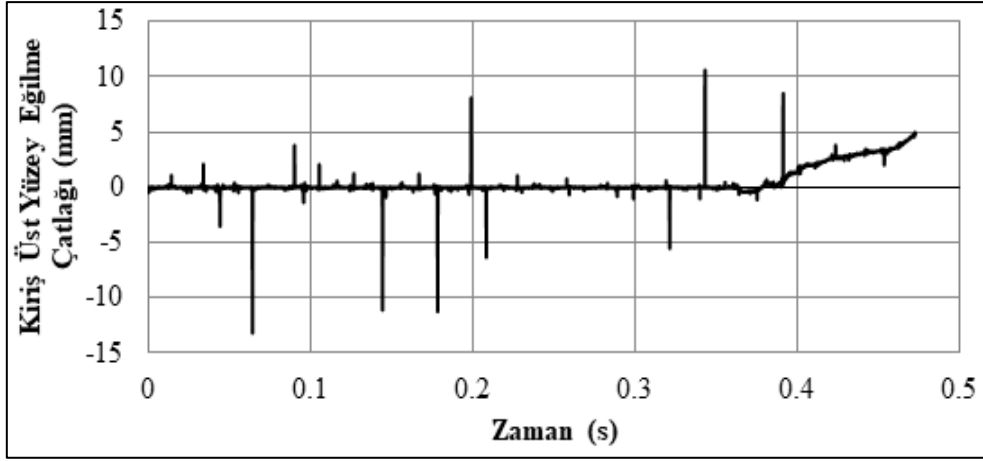
Şekil 4.104. S12 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.105. S12 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.106. S12 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.107. S12 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

S12 deney elemanı deney sonrası incelendiğinde kolon birleşim bölgesinde kılcal çatlakların, kirişin mesnetlendiği bölgede eğilme çatlaklarının ayrıca kiriş bölgesinde ise mesnete yaklaştıkça genişleyen kesme çatlakları meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.108).



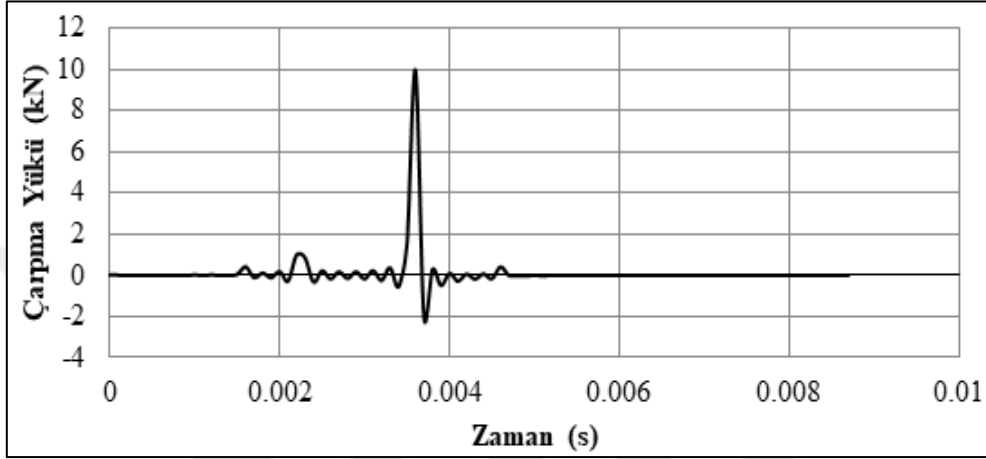
Şekil 4.108. S12 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

4.13. S13 deney elemanı

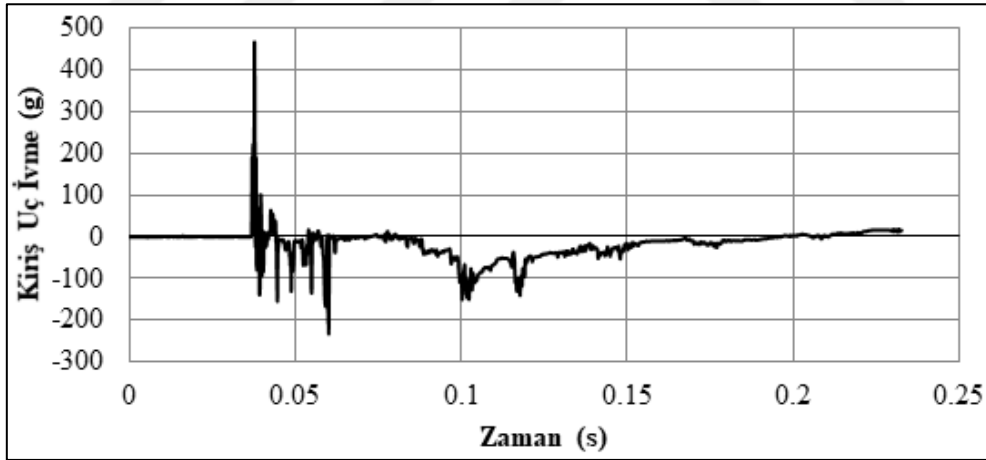
S13 deney elemanı, C25 beton sınıfında etriyesiz olarak tasarlanmıştır. Dördüncü dörtlü grup olarak düşü yüksekliği 750 mm, düşü ağırlığı 84 kg'dır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 9.94 kN olarak elde edilmiştir. S13 deney elemanında maksimum kiriş uç ivme değeri 460.89 g, minimum kiriş uç ivme değeri -229.99 g olarak kaydedilmiştir. Çarpma yüklemesinde kiriş uç maksimum deplasman değeri 84.35 mm, kalıcı deplasman değeri 37.99 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.47 mm,

kiriş bölgesinde ise 8.56 mm ve 7.60 mm'dir. Kiriş alt yüzünden okunan maksimum deplasman değeri 32.04 mm, üst yüzünde okunan maksimum deplasman değeri ise 31.48 mm'dir.

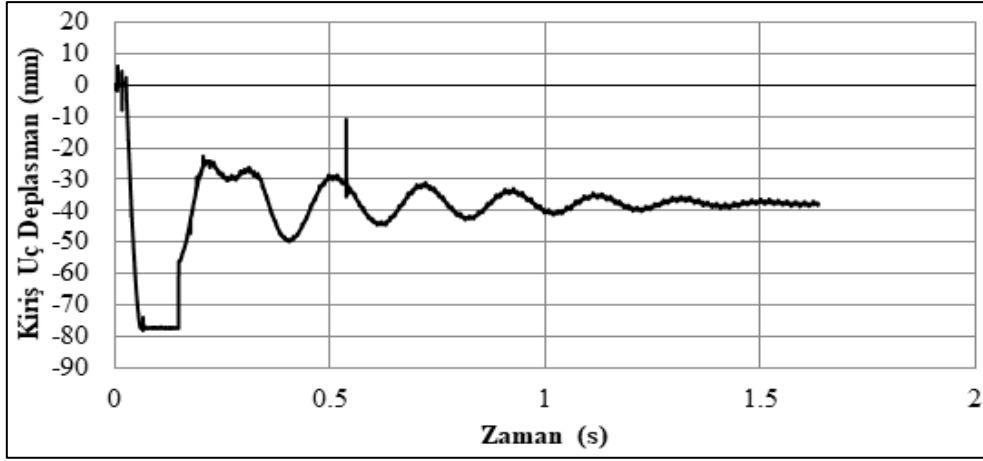
S13 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.109, Şekil 4.110, Şekil 4.111, Şekil 4.112, Şekil 4.113, Şekil 4.114, Şekil 4.115 ve Şekil 4.116'da sunulmuştur.



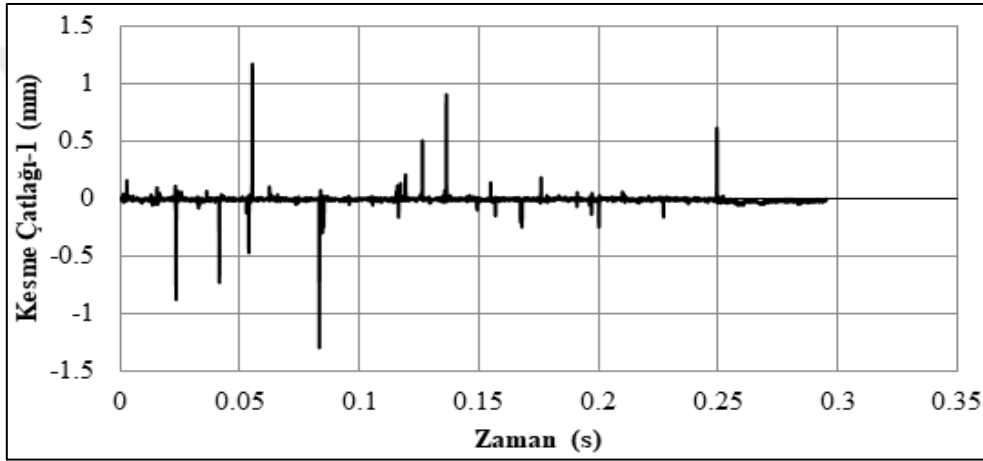
Şekil 4.109. S13 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



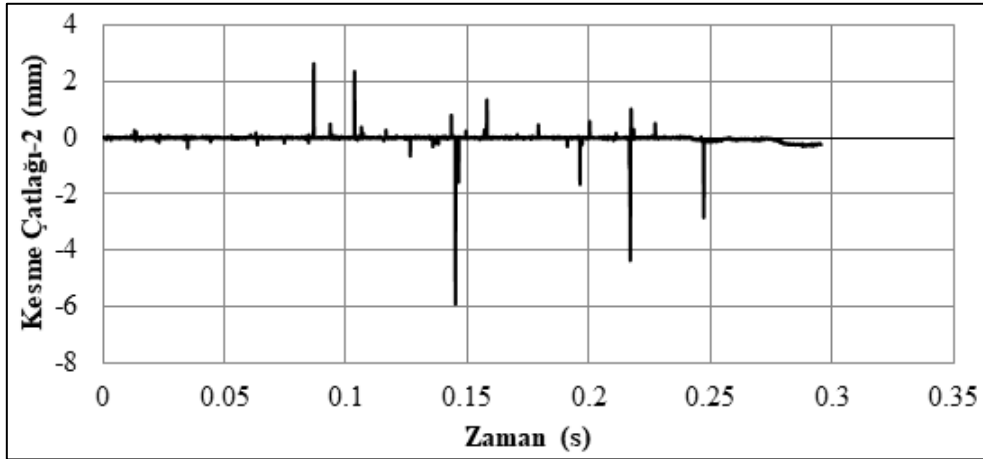
Şekil 4.110. S13 deney elemanına ivme-zaman grafiği



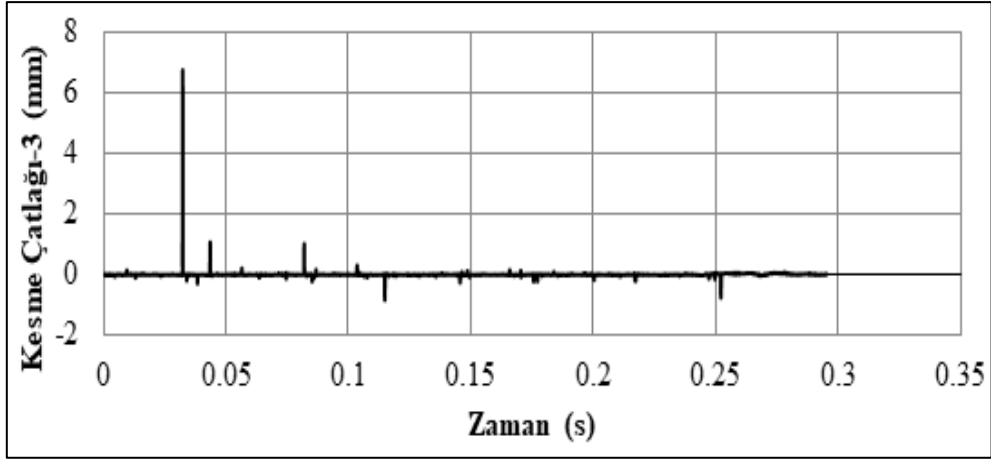
Şekil 4.111. S13 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



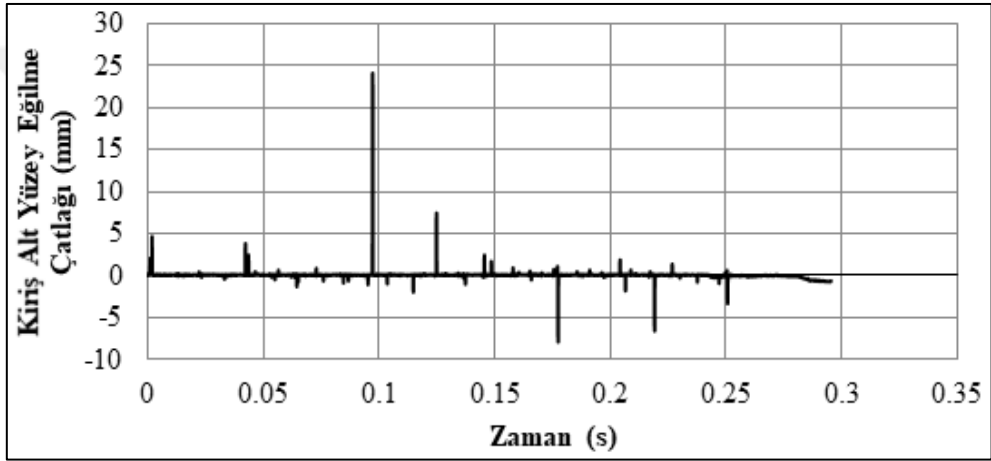
Şekil 4.112. S13 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



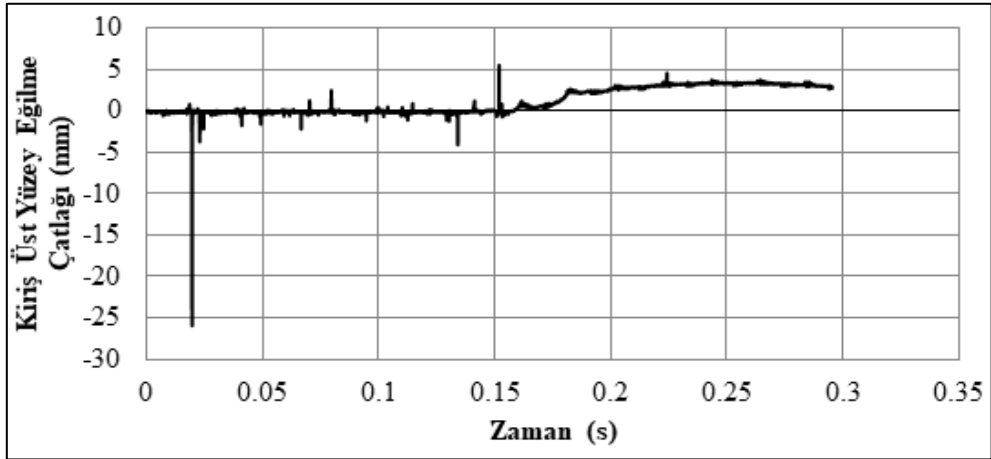
Şekil 4.113. S13 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği



Şekil 4.114. S13 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.115. S13 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.116. S13 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

S13 deney elemanına ait çatlak dağılımı Şekil 4.117'de verilmiştir. Kiriş bölgesinde kesme çatlakları, kolon bölgesinde ise kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

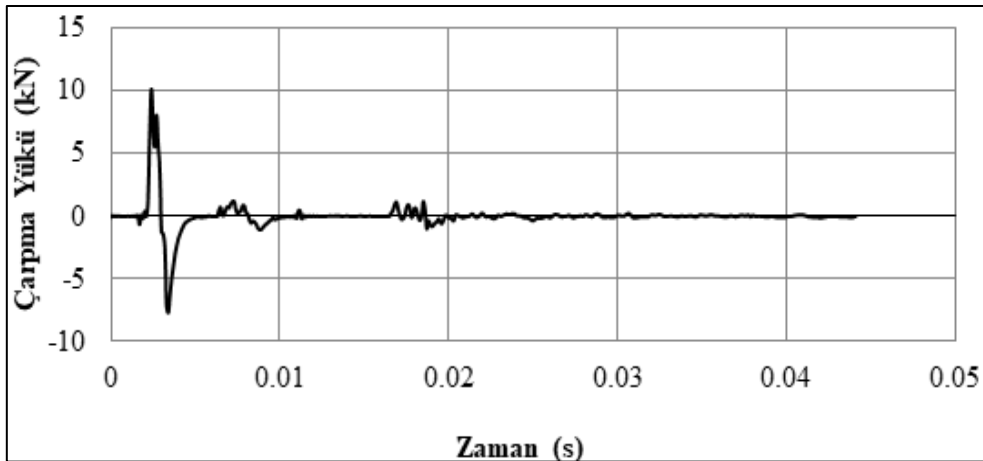


Şekil 4.117. S13 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

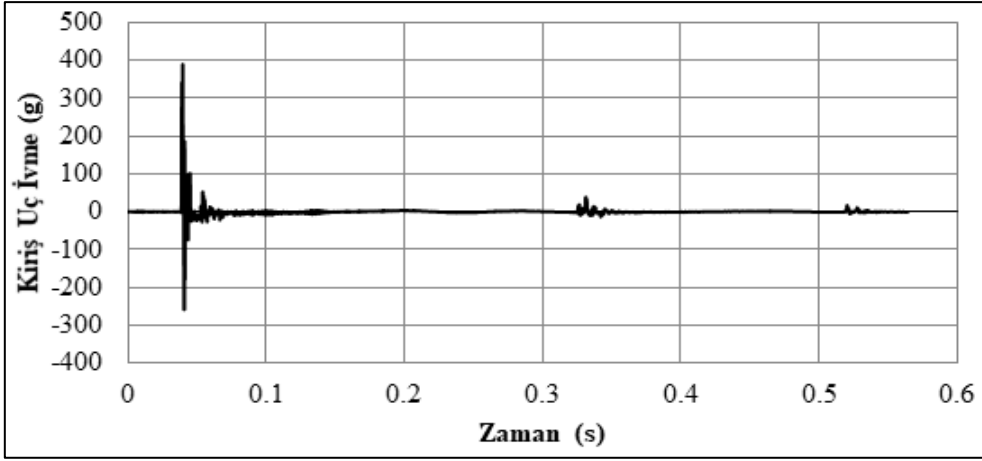
4.14. S14 deney elemanı

S14 deney elemanı, C25 beton sınıfında 300 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 10.12 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum kiriş uç ivme değeri 390.07 g, minimum kiriş uç ivme değeri -258.85 g olarak kaydedilmiştir. Kiriş uç maksimum deplasman değeri 69.84 mm, kalıcı deplasman değeri 35.25 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.20 mm, kiriş bölgesinde ise 8.44 mm ve 7.71 mm'dir. Kiriş alt yüzünden okunan maksimum deplasman değeri 29.83 mm, üst yüzünde okunan maksimum deplasman değeri ise 35.25 mm'dir.

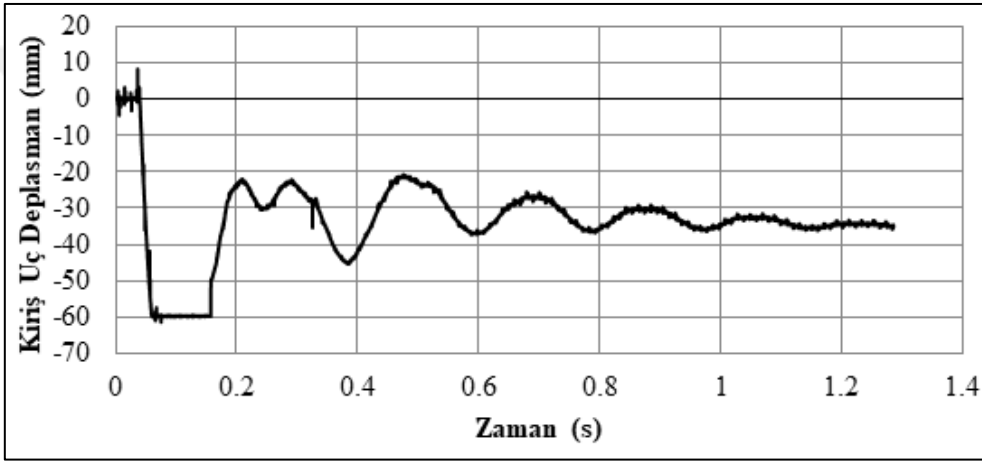
S14 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.118, Şekil 4.119, Şekil 4.120, Şekil 4.121, Şekil 4.122, Şekil 4.123, Şekil 4.124 ve Şekil 4.125'te verilmiştir.



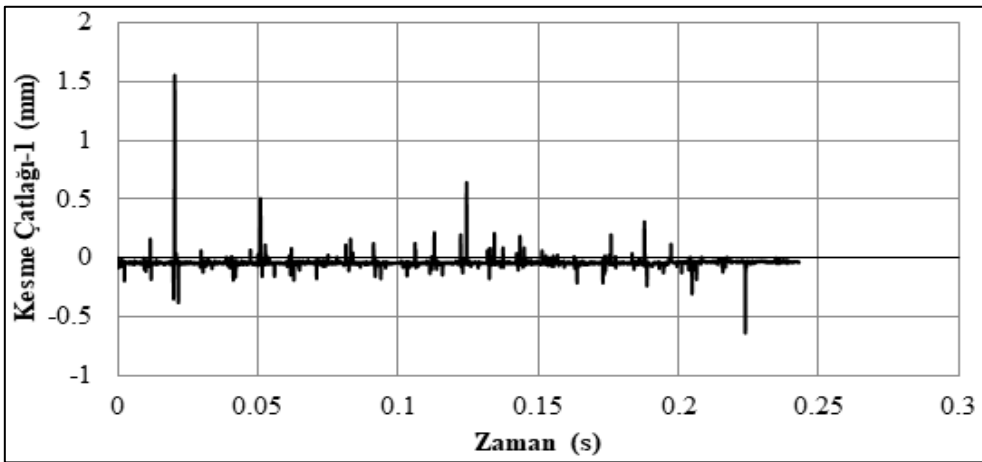
Şekil 4.118. S14 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



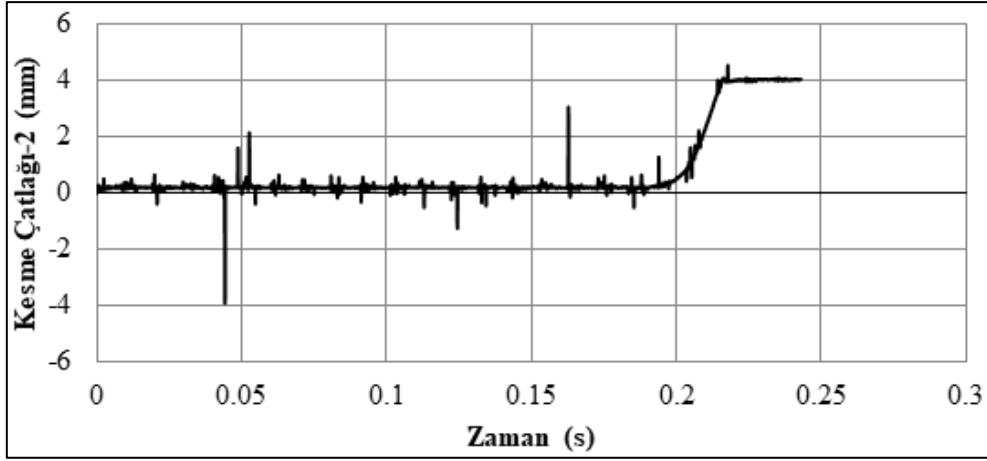
Şekil 4.119. S14 deney elemanına ivme-zaman grafiği



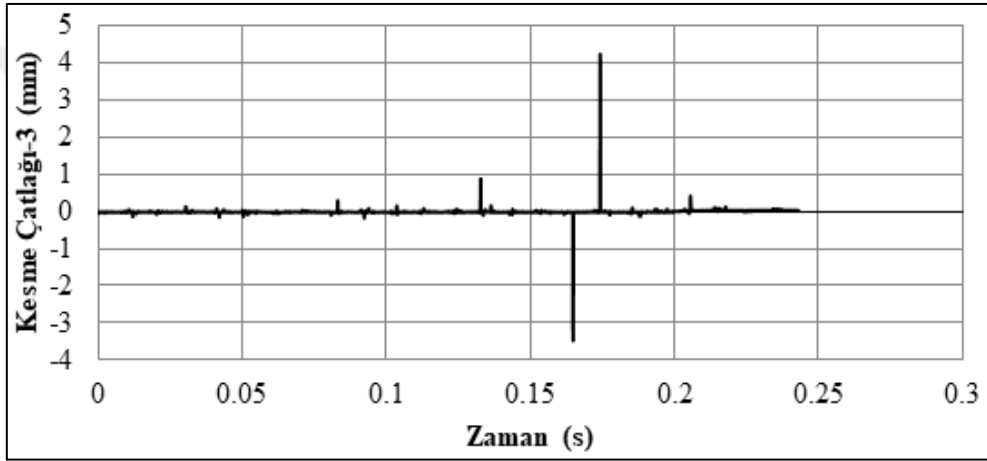
Şekil 4.120. S14 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



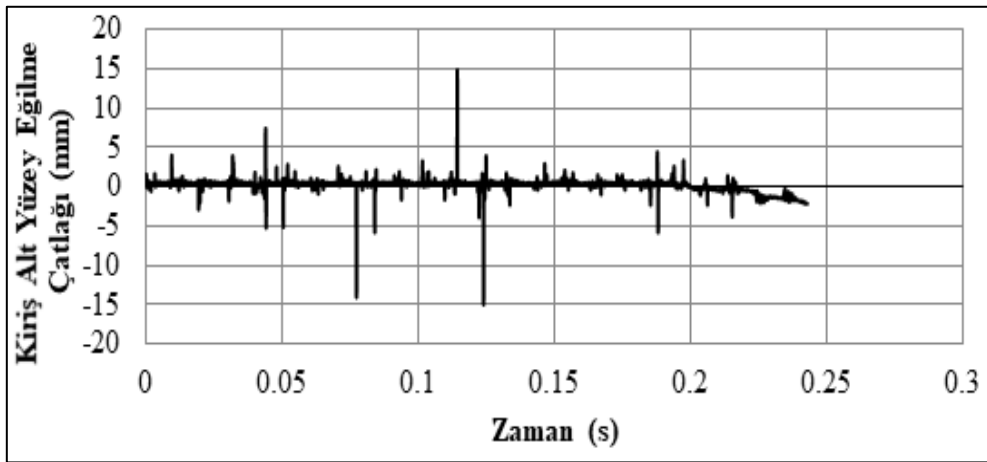
Şekil 4.121. S14 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



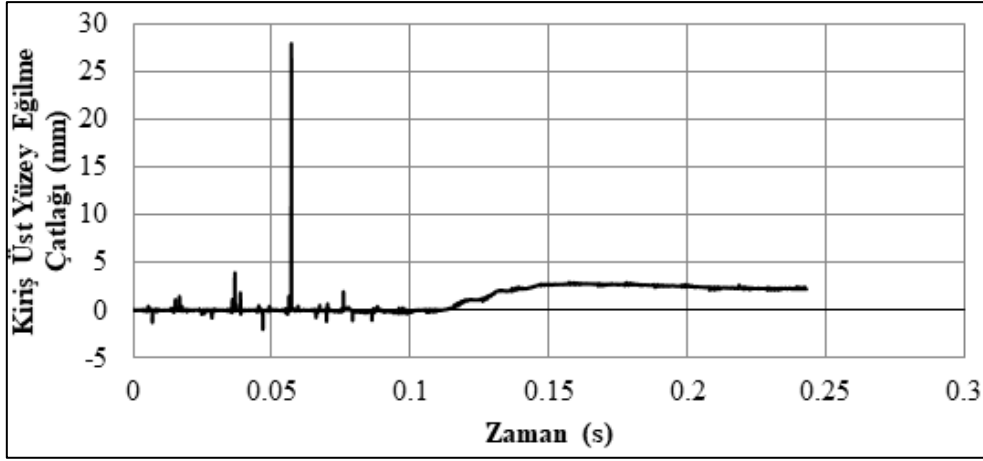
Şekil 4.122. S14 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.123. S14 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

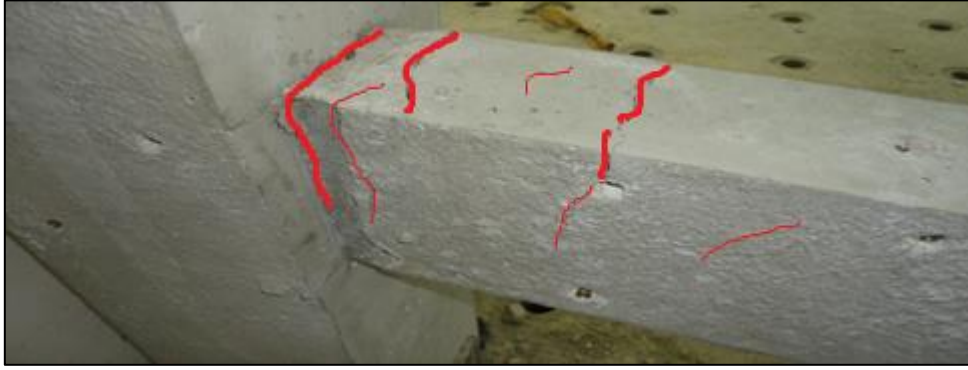


Şekil 4.124. S14 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.125. S14 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafiği

S14 deney elemanına ait çatlak dağılımı Şekil 4.126'da verilmiştir. Kiriş bölgesinde kesme çatlakları, kolon bölgesinde kılcal çatlaklar gözlenmiştir.

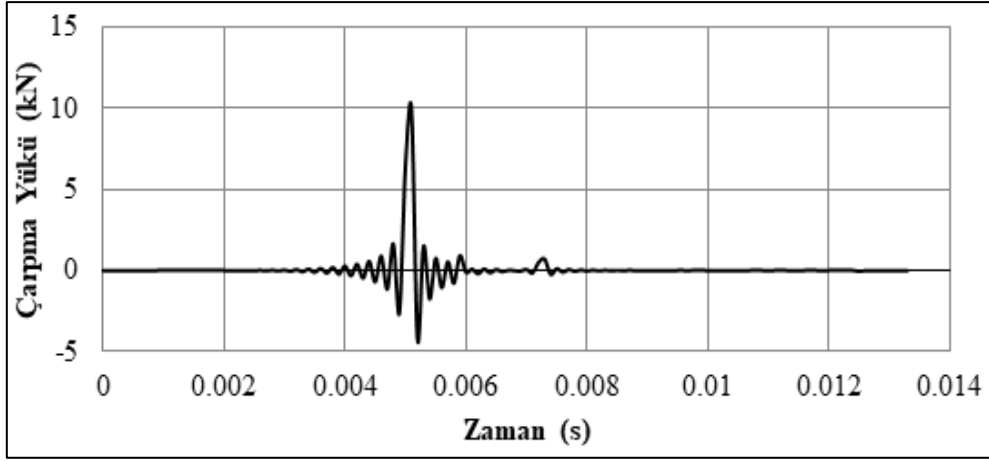


Şekil 4.126. S14 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

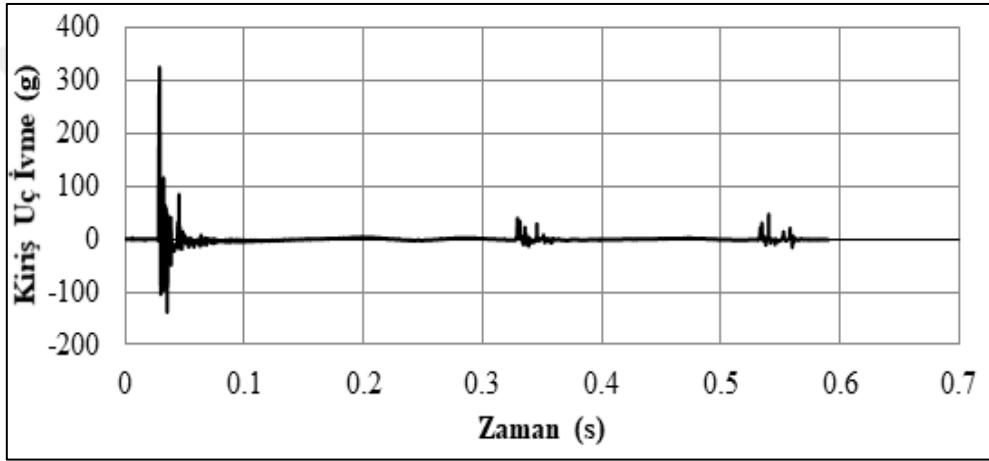
4.15. S15 deney elemanı

S15 deney elemanı, C25 beton sınıfında 150 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 9.98 kN olarak elde edilmiştir. Maksimum kiriş uç ivme değeri 324.92 g, minimum kiriş uç ivme değeri -137.87 g olarak kaydedilmiştir. Kiriş uç maksimum deplasman değeri 58.45 mm, kalıcı deplasman değeri 30.02 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 2.04 mm, kiriş bölgesinde ise 7.78 mm ve 7.55 mm'dir. Kiriş alt yüzünden okunan maksimum deplasman değeri 22.40 mm, üst yüzünde okunan maksimum deplasman değeri ise 22.15 mm'dir.

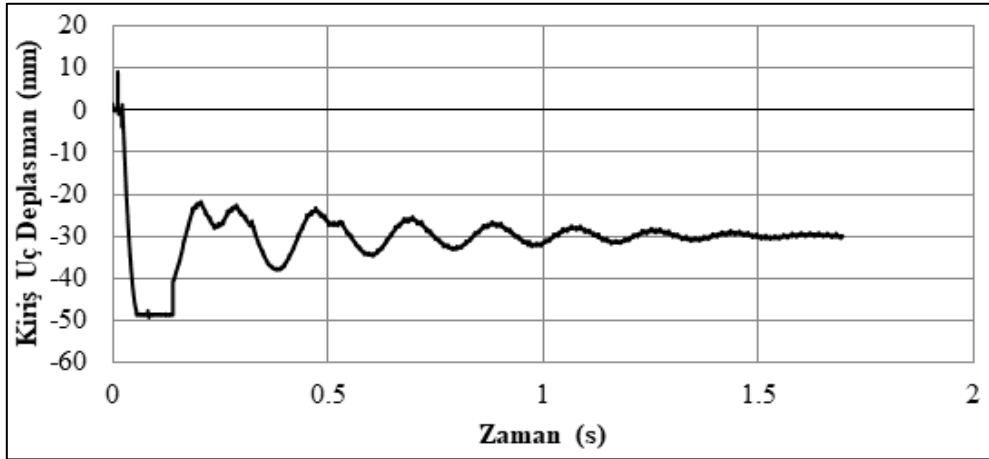
S15 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.127, Şekil 4.128, Şekil 4.129, Şekil 4.130, Şekil 4.131, Şekil 4.132, Şekil 4.133 ve Şekil 4.134'te verilmiştir.



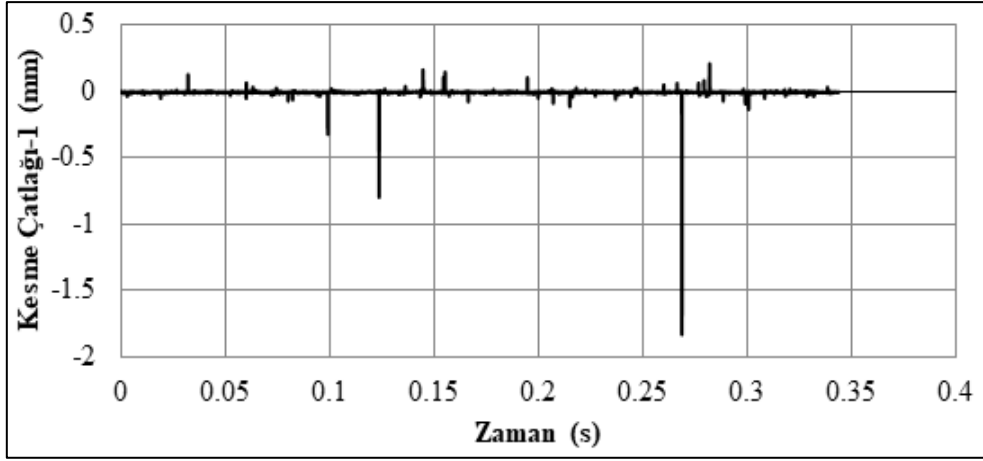
Şekil 4.127. S15 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiğı



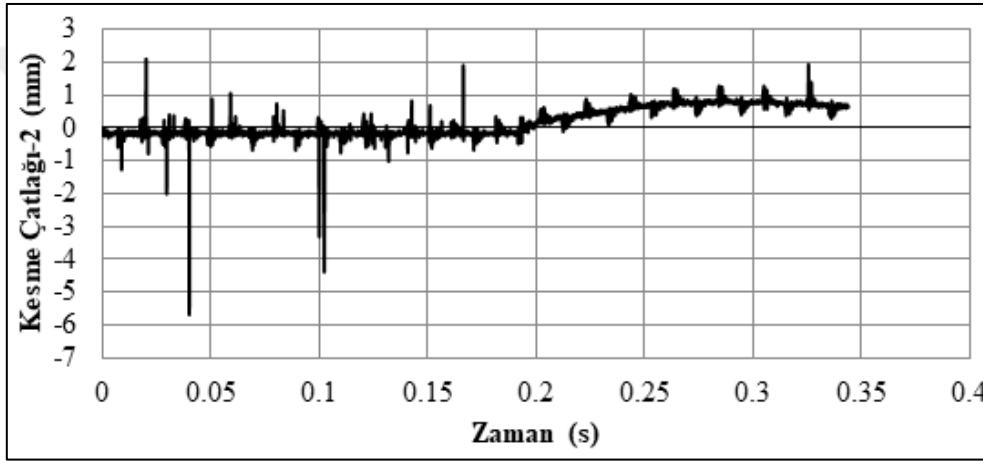
Şekil 4.128. S15 deney elemanına ivme-zaman grafiğı



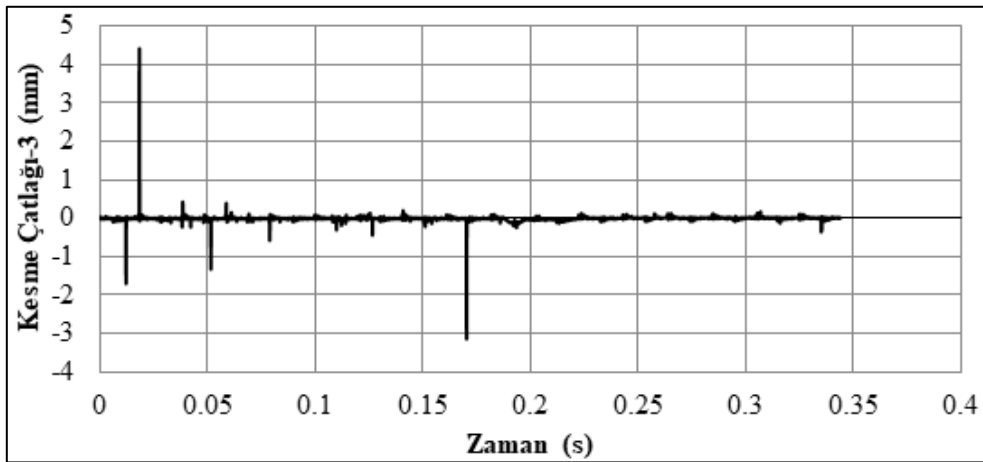
Şekil 4.129. S15 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiğı



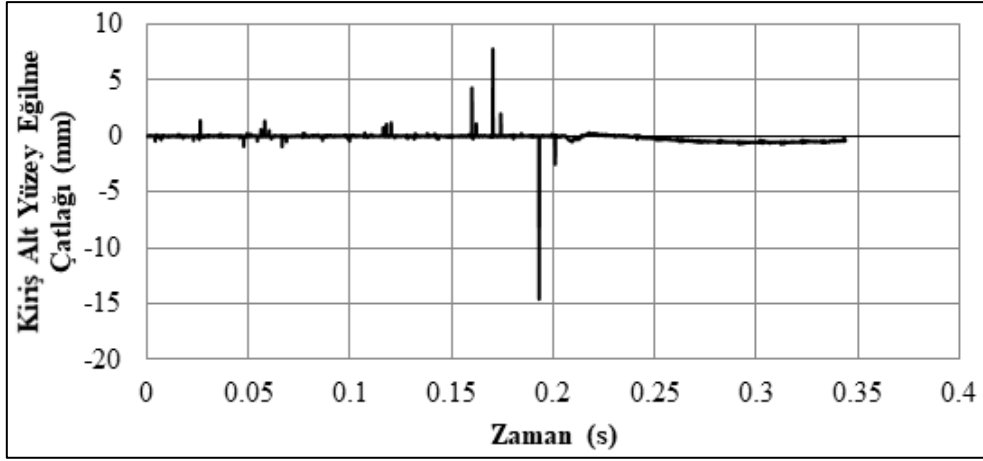
Şekil 4.130. S15 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



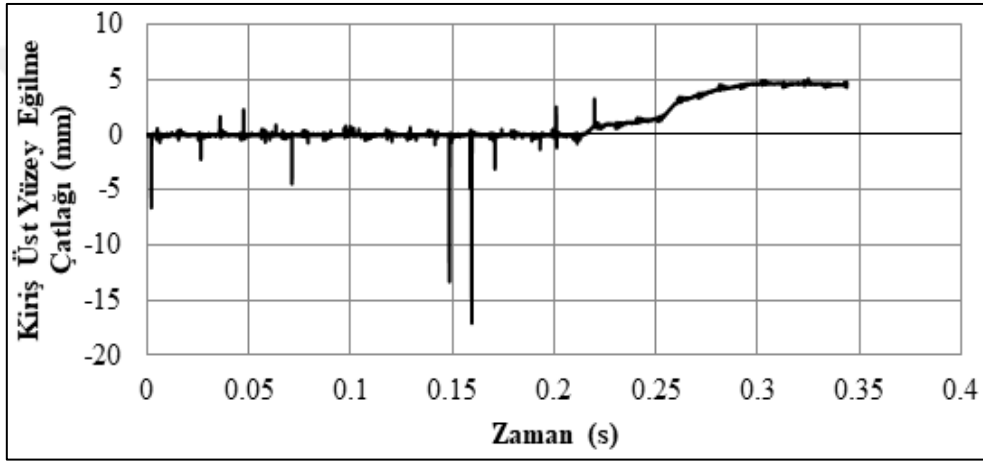
Şekil 4.131. S15 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı2- zaman grafiği



Şekil 4.132. S15 deney elemanına ait giriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği



Şekil 4.133. S15 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.134. S15 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

Çarpma yüklemesi sonrasında, S15 deney elemanı üzerinde gerçekleştirilen incelemelerde, kolon birleşim bölgesinde kılcal çatlaklar ve kiriş bölgesinde ise kesme çatlakları gözlenmiştir (Şekil 4.135).

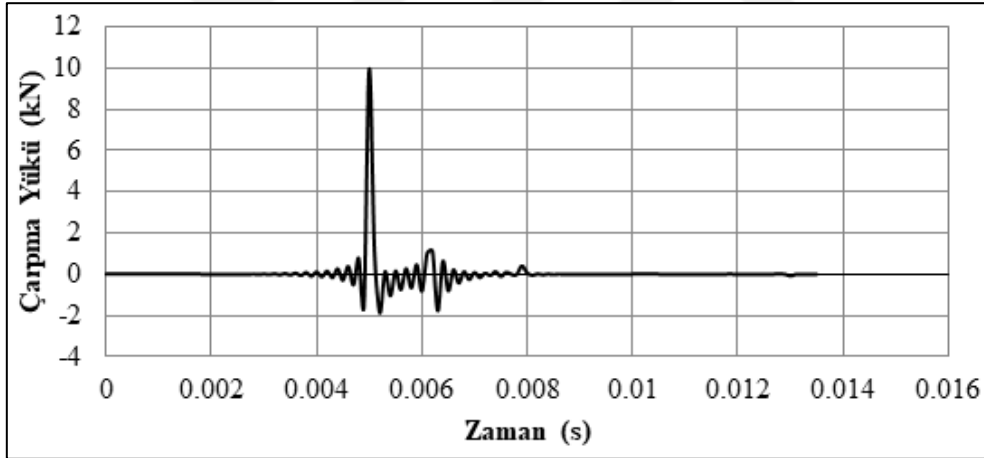


Şekil 4.135. S15 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

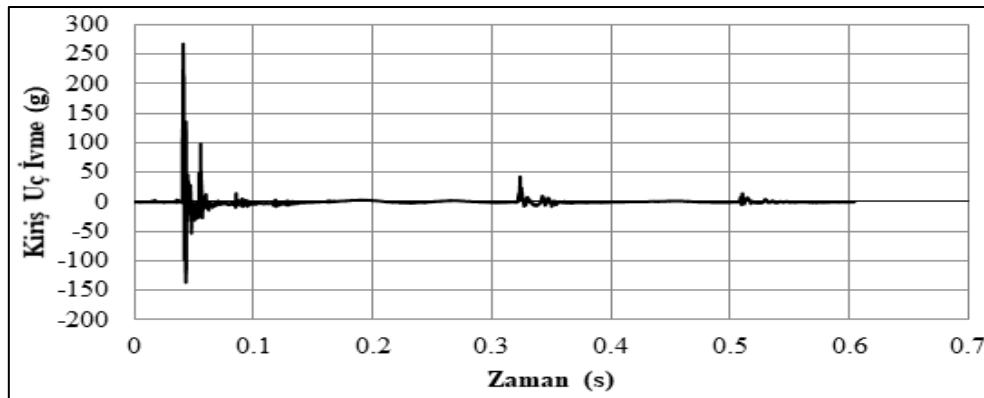
4.16. S16 deney elemanı

S16 deney elemanı, C25 beton sınıfında 75 mm etriye aralıklı olarak tasarlanmıştır. Çarpma yükleme sonucunda çarpma yükü 9.96kN olarak elde edilmiştir. Deney programında dördüncü dörtlü grup deney elemanında çarpma yükleri 9.94-10.12 kN arasında birbirine yakın düzeyde çıkmıştır. S16 deney elemanında maksimum kiriş uç ivme değeri 267.18 g, minimum kiriş uç ivme değeri -133.76 g olarak kaydedilmiştir. Çarpma yüklemesinde kiriş uç maksimum deplasman değeri 43.33 mm, kalıcı deplasman değeri 24.77 mm olarak elde edilmiştir. Kolon bölgesinde ölçülen kesme çatlak genişliği 1.78 mm, kiriş bölgesinde ise 7.49 mm ve 6.64 mm'dir. Kiriş alt yüzünden okunan maksimum deplasman değeri 19.30 mm, üst yüzünde okunan maksimum deplasman değeri ise 19.13 mm'dir.

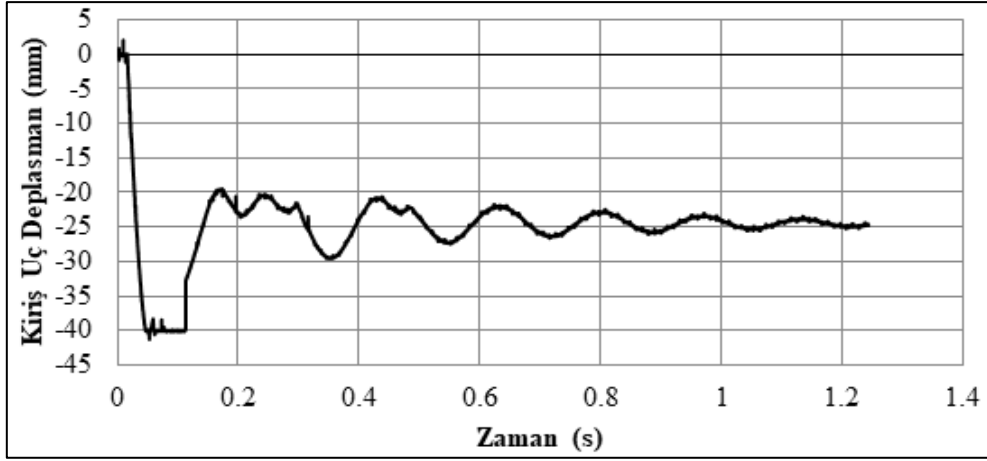
S16 deney elemanında elde edilen çarpma yükü, kiriş uç ivme, kolon ve kiriş bölgeleri olmak üzere kesme çatlakları, kiriş alt-üst yüzey eğilme çatlakları-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 4.136, Şekil 4.137, Şekil 4.138, Şekil 4.139, Şekil 4.140, Şekil 4.141, Şekil 4.142 ve Şekil 4.143'te sunulmuştur.



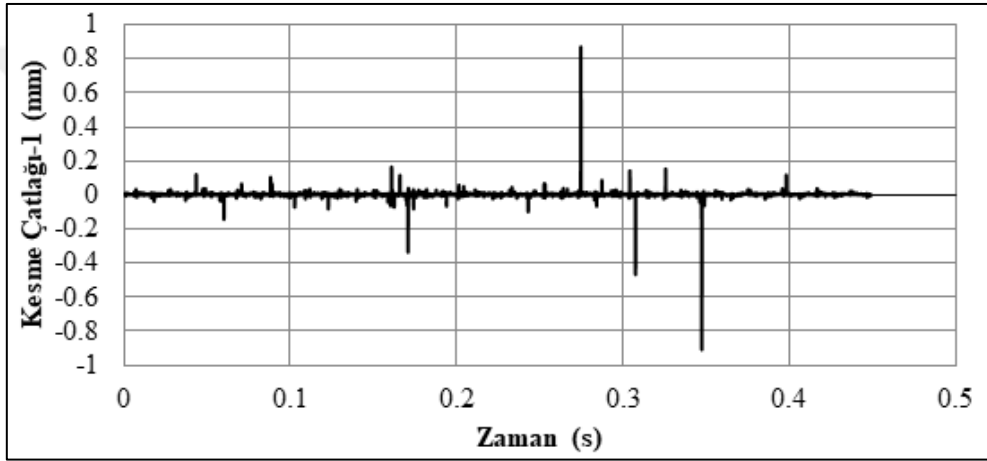
Şekil 4.136. S16 deney elemanına ait çarpma yükü-zaman grafiği



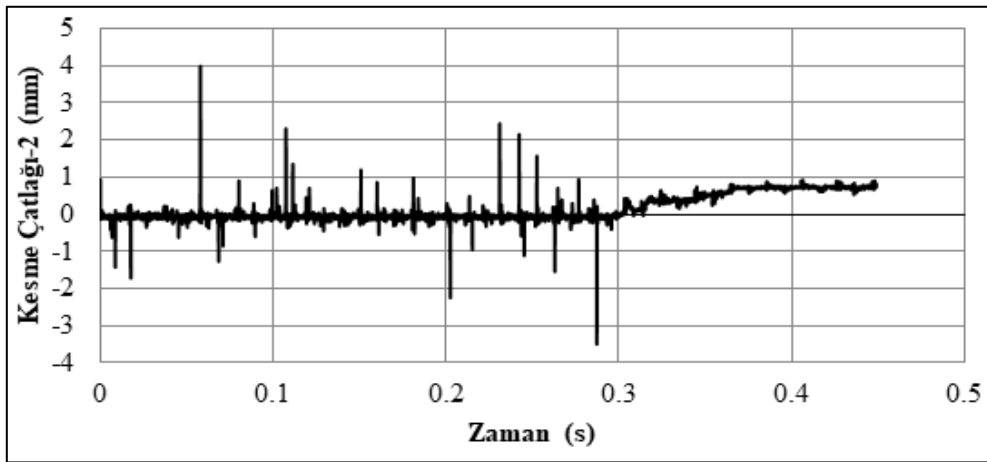
Şekil 4.137. S16 deney elemanına ivme-zaman grafiği



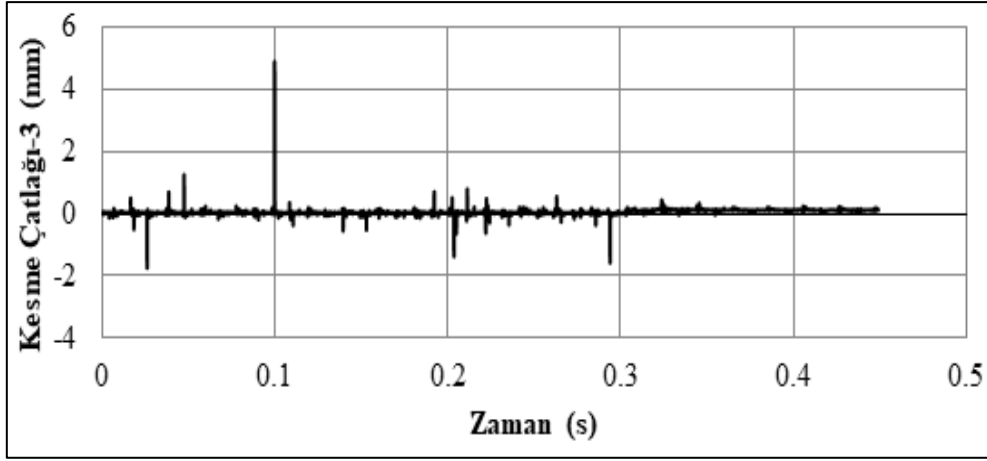
Şekil 4.138. S16 elemanına ait kiriş uç deplasman-zaman grafiği



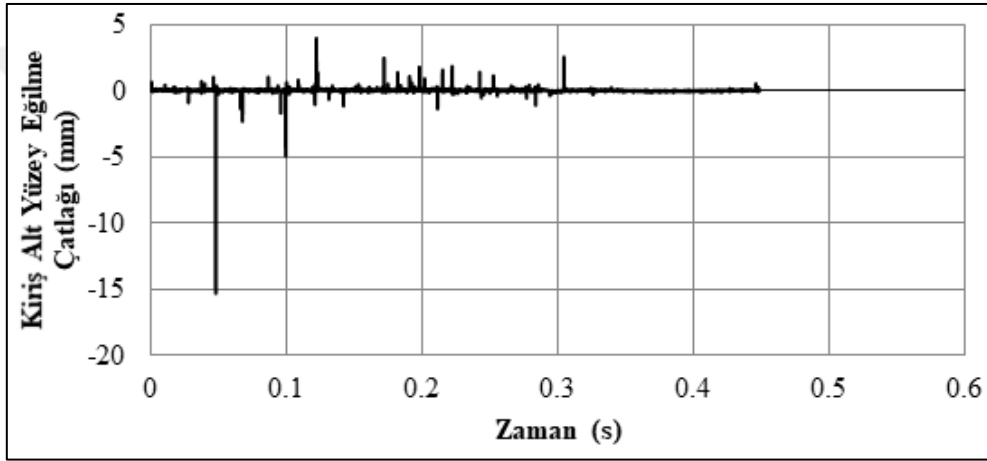
Şekil 4.139. S16 deney elemanına ait kolon yüzey çatlak-zaman grafiği



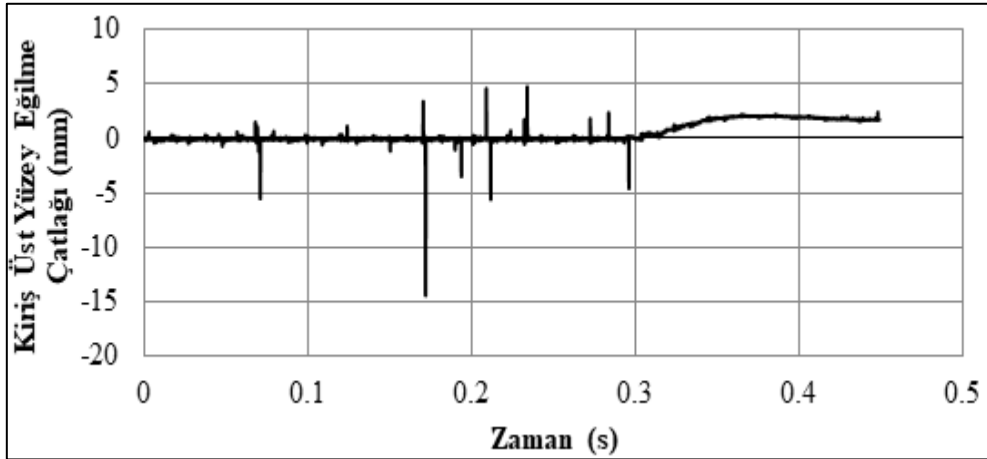
Şekil 4.140. S16 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlak2- zaman grafiği



Şekil 4.141. S16 deney elemanına ait kiriş yüzey kesme çatlağı3- zaman grafiği

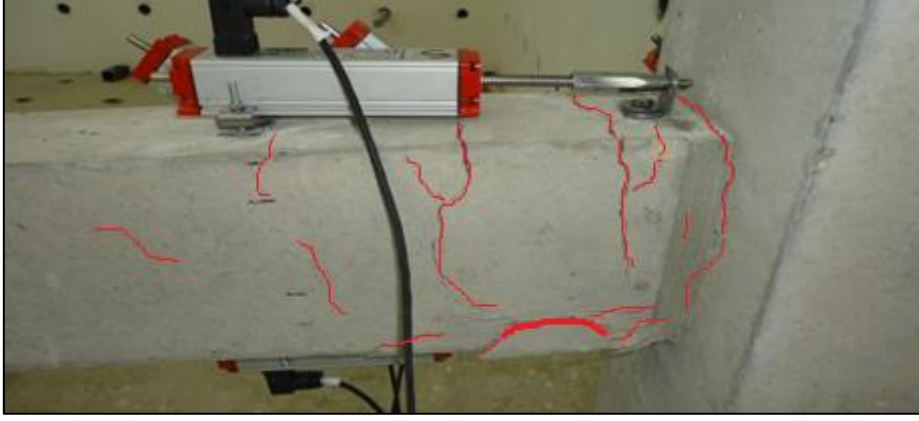


Şekil 4.142. S16 deney elemanına ait kiriş alt yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği



Şekil 4.143. S16 deney elemanına ait kiriş üst yüzey eğilme çatlağı-zaman grafiği

Çarpma yüklemesi sonrasında, Şekil 4.144'te S16 deney elemanı üzerinde yapılan incelemelerde kolon birleşim bölgesinde ise kılcal çatlaklar ve kiriş bölgesinde kesme çatlakları gözlenmiştir.

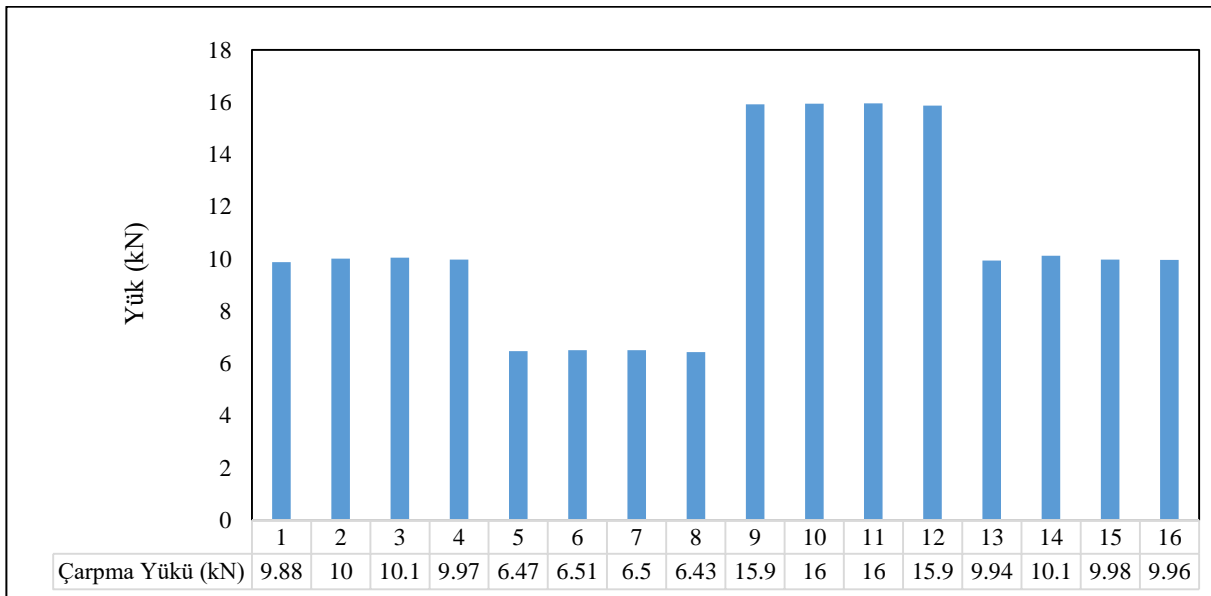


Şekil 4.144. S16 deney elemanında meydana gelen çatlak gelişimi

5. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, ortalama basınç dayanımları 9.61 MPa ve 30.44 MPa olmak üzere iki farklı beton sınıfında (isimlendirmede C10 ve C25) olmak üzere dört farklı kesme donatısı oranında (75, 150, 300 mm ve etriyesiz) üretilen 16 adet betonarme kolon-kiriş deney elemanlarında serbest ağırlık düşürme deneyleri yapılmıştır. 16 adet üretilen deney elemanlarında dörder gruplar halinde eşit çarpma enerjilerinde eşit çarpma kuvvetleri hedeflenmiştir. Birinci deney grubunda (S1-S2-S3 ve S4), çarpma enerjisi 0.619 kJ (9.81x84x0.75) ortalama çarpma kuvveti 10 kN, ikinci deney grubunda (S5-S6-S7 ve S8) çarpma enerjisi 0.412 kJ (9.81x84x0.5) ortalama çarpma kuvveti 6.5kN, üçüncü deney grubunda (S9, S10, S11 ve S12) çarpma enerjisi 0.824 kJ (9.81x84x1) ortalama çarpma kuvveti 16 kN, dördüncü deney grubunda (S13, S14, S15 ve S16) ise çarpma enerjisi 0.619 kJ (9.81x84x0.75) ortalama çarpma kuvveti de 10 kN olarak elde edilmiştir (Şekil 5.1). Deney gruplarında çarpma kuvvetleri incelendiğinde çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu durum serbest ağırlık düşürme test düzeneğinin sürtünme kayıpları ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

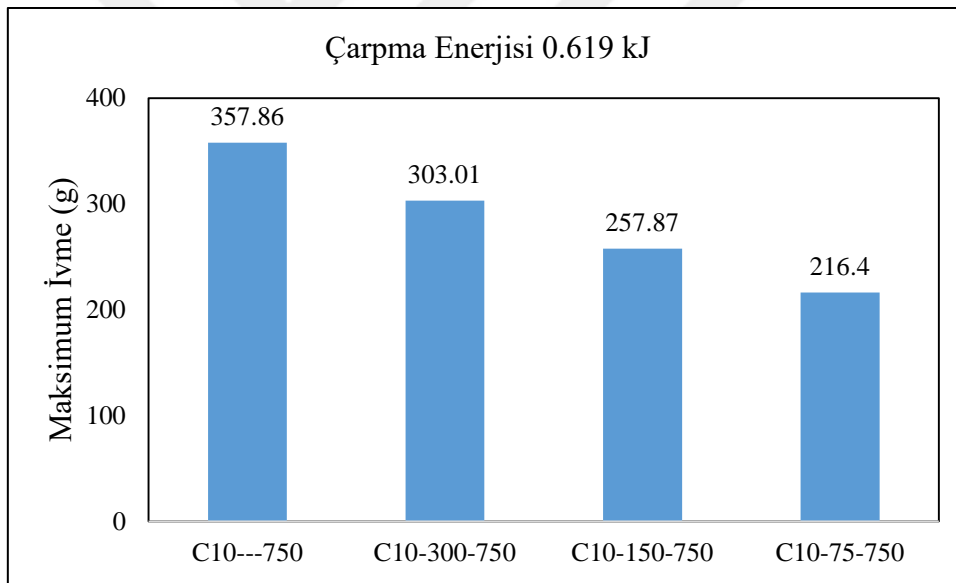
Yapılan deneysel çalışmada değişen parametreler; kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralığı, deney elemanların üretiminde kullanılan farklı beton basınç dayanımı ve çarpma yükleme enerji düzeyleridir. Çalışma kapsamında planlanan deneysel programda, her bir deney grubu kendi arasında kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısı aralığı, birinci ve dördüncü deney grupları farklı beton sınıfları, birinci ve ikinci ile üçüncü ve dördüncü deney grupları farklı düşü enerjileri açısından incelenmesine olanak vermektedir.



Şekil 5.1. Çarpma Yüğüleri

5.1. S1-S4 deney elemanlarında maksimum ivme

C10 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 750 mm olan deney elemanları 0.619 kJ çarpma enerjisine maruz bırakılmıştır. Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde kesme donatısız, 150 mm, 300 mm ve 75 mm olmak üzere sırasıyla 3.73×10^{-4} , 1.87×10^{-3} , 3.73×10^{-3} ve 7.46×10^{-3} kesme donatı oranlarına sahiptir. Birinci deney grubunda, en büyük maksimum ivme değeri 357.75 g olarak C10---750 (S1), en küçük maksimum ivme değeri 216.4 g olarak C10-75-750 (S4) deney elemanlarından elde edilmiştir (Şekil 5.2). Birinci deney grubunda kiriş bölümlerinde azalan kesme donatısı aralığıyla maksimum ivme değerlerinde %40 oranında azalma görülmüştür. Ayrıca kiriş bölümlerinde kesme donatısız deney elemanından (S1) 300 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S2), 300 mm aralıklı kesme donatısı sahip deney elemanından 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S3), 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanından 75 mm aralıklı deney elemanına (S4) geçişlerde maksimum ivme değerlerinde yaklaşık %15 oranında azalmalar görülmüştür.



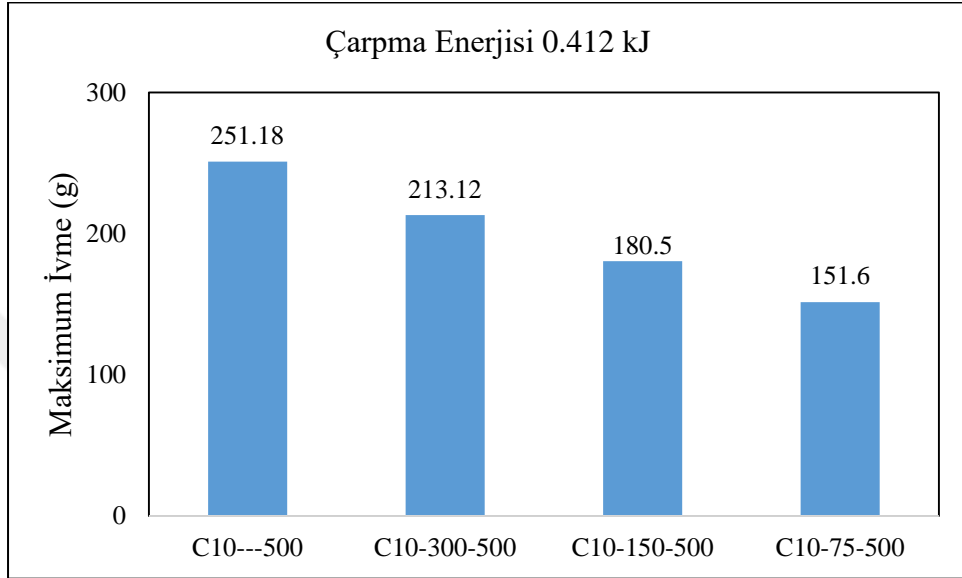
Şekil 5.2. Maksimum ivme değerleri (Grup 1)

5.2. S5-S8 deney elemanlarında maksimum ivme

C10 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 500 mm olan deney elemanları 0.412 kJ çarpma enerjisine maruz bırakılmıştır. Şekil 5.3 incelendiğinde en büyük maksimum ivme değeri 215.18 g olarak C10---500 (S5), en küçük maksimum ivme değeri 151.6 g olarak C10-75-500 (S8) deney elemanlarında elde edilmiştir. İkinci grup deney elemanlarında kiriş bölümlerinde artan kesme donatısıyla maksimum ivme değerlerinde %40'a varan azalma

görülmüştür. Deney grubundaki deney elemanlarında birbiri arasında geçişlerde maksimum ivme değerlerinde %15 oranında azalmalar görülmüştür.

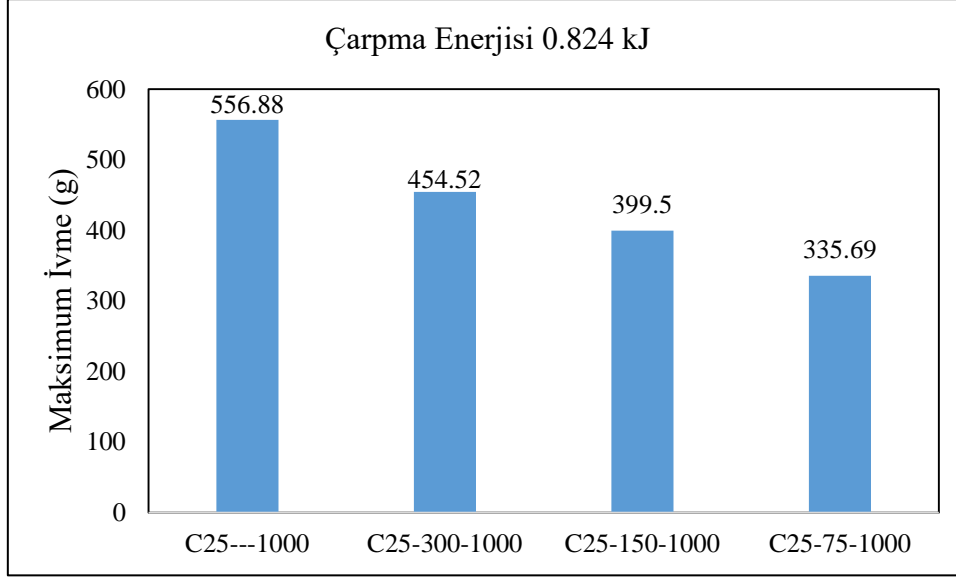
Aynı beton sınıfında aynı kesme donatı oranı sahip (S1-S5, S2-S6, S3-S7, S4-S8) deney elemanlarında ortalama çarpma kuvvetleri birinci gruptan ikinci gruba geçişte yaklaşık %35 oranında azalırken maksimum ivme değerleri ortalama %30 oranında azalmalara neden olmuştur.



Şekil 5.3. Maksimum ivme değerleri (Grup 2)

5.3. S9-S12 deney elemanlarında maksimum ivme

C25 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 1000 mm olan deney elemanları 0.824 kJ çarpma enerjisine maruz bırakılmıştır. Üçüncü deney grubunda en büyük maksimum ivme değeri 556.88 g olarak C25---1000 (S9), en küçük maksimum ivme değeri 335.69 g olarak C25-75-1000 (S12) deney elemanlarında elde edilmiştir (Şekil 5.4). Deney grubunda kiriş bölümlerinde artan kesme donatısıyla maksimum ivme değerlerinde %40 oranında azalmalar görülmüştür. C25---1000 (S9) deney elemanından C25-300-1000 (S10) deney elemanına geçişte %18, C25-300-1000 elemanından C25-150-1000 (S11) deney elemanına geçişte %12, C25-150-1000 deney elemanından C25-75-1000 (S12) deney elemanına geçişte %16 oranında maksimum ivme değerlerinde azalmalar görülmüştür.

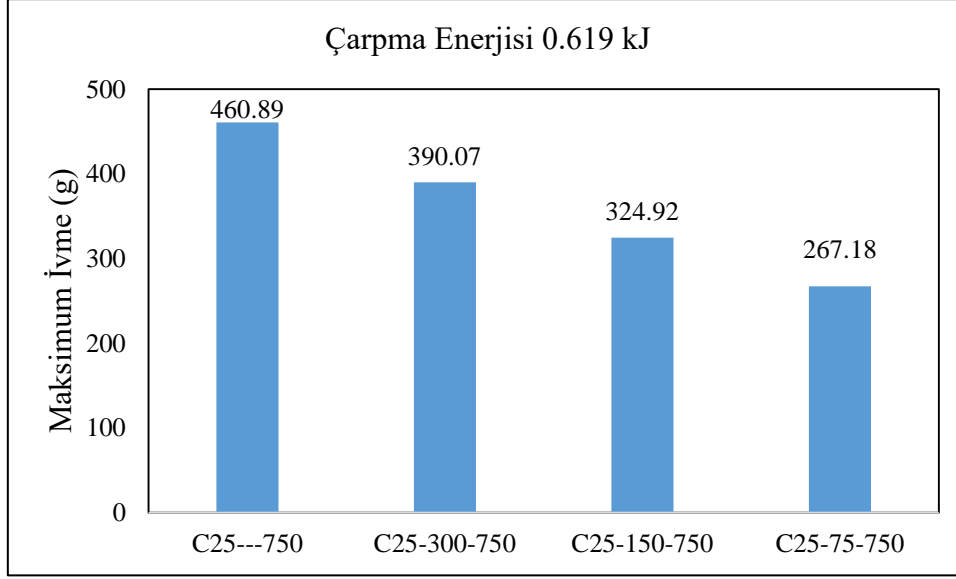


Şekil 5.4. Maksimum ivme değerleri (Grup 3)

5.4. S13-S16 deney elemanlarında maksimum ivme

Serbest düşü yüksekliği 750 mm olan C25 beton sınıfında üretilen dördüncü deney grubu 0.619 kJ çarpma enerjisine maruz bırakılmıştır. Maksimum ivme değerleri incelendiğinde, en büyük maksimum ivme değeri 460.89 g olarak C25---750 (S13), en küçük maksimum ivme değeri 267.18 g olarak C25-75-750 (S16) deney elemanlarında elde edilmiştir (Şekil 5.5). Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde artan kesme donatısıyla maksimum ivme değerleri %42 oranında azalmalar görülmüştür. C25---750 (13) deney elemanından C25-300-750(S14) deney elemanına geçişte %16, C25-300-750 deney elemanından C25-150-750 (S15) deney elemanına geçişte %17, C25-150-750 deney elemanından C25-75-750 (S16) deney elemanına geçişte maksimum ivme değerlerinde %18 olmak üzere ortalama %17 oranında azalmalar görülmüştür.

Aynı beton sınıfında aynı kesme donatısı oranı sahip (S9-S13, S10-S14, S11-S15, S12-S16) deney elemanlarında ortalama çarpma kuvvetleri %38 azalırken maksimum ivme değerlerinde ise ortalama %18'e varan azalmalar görülmüştür.

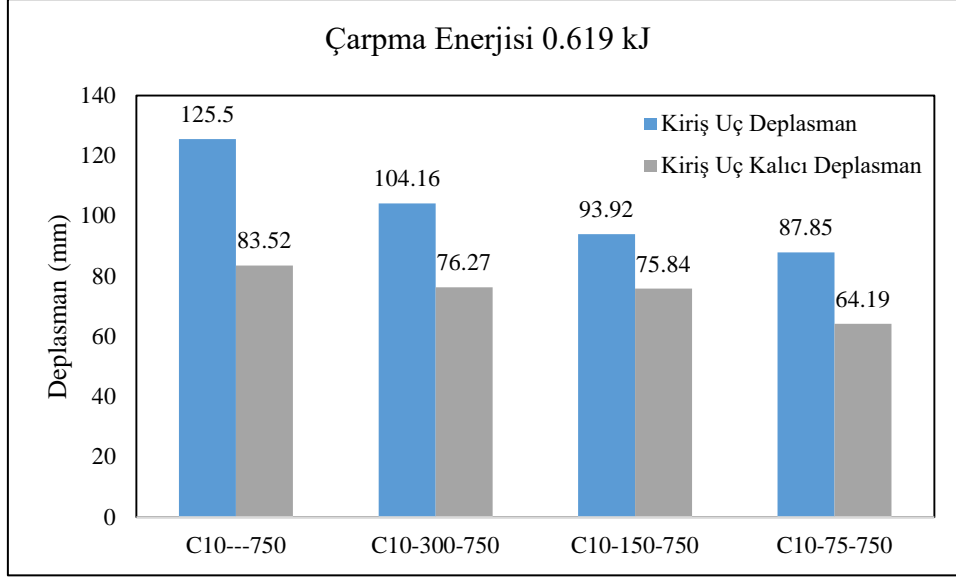


Şekil 5.5. Maksimum ivme değerleri (Grup 4)

5.5. S1-S4 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman

C10 beton sınıfında üretilen deney grubunda en büyük kiriş uç deplasman değeri 125.5 mm olarak C10---750 (S1), en küçük kiriş uç deplasman değeri 87.85 mm olarak C10-75-750 (S4) deney elemanlarında elde edilmiştir (Şekil 5.6). Birinci deney grubunda kiriş bölümlerinde artan kesme donatısıyla kiriş uç deplasman değerlerinde %49 oranında azalma görülmüştür. C10---750 (S1) deney elemanından C10-300-750 (S2) deney elemanına geçişte %17, C10-300-750 deney elemanından C10-150-750 (S3) deney elemanına geçişte %9.8, C10-150-750 deney elemanından C10-75-750 (S4) deney elemanına geçişte %6.5 oranında kiriş uç deplasman değerleri azalmıştır.

Birinci deney grubunda en büyük kiriş uç kalıcı deplasman değeri C10---750, en küçük kiriş uç kalıcı deplasman değeri C10-75-750 deney elemanından sırasıyla 83.52 mm ve 64.19 mm elde edilmiştir. Birinci deney grubunda kiriş bölümlerinde kesme donatı aralığının azalmasıyla kiriş uç kalıcı deplasman değerleri %49 oranında azalma görülmüştür. Birinci grup deney elemanlarında sırasıyla, maksimum kiriş uç deplasman değerlerinin %66, %73, %81 ve %73'ü kiriş uç kalıcı deplasmanı olarak deney elemanlarında kalmıştır.



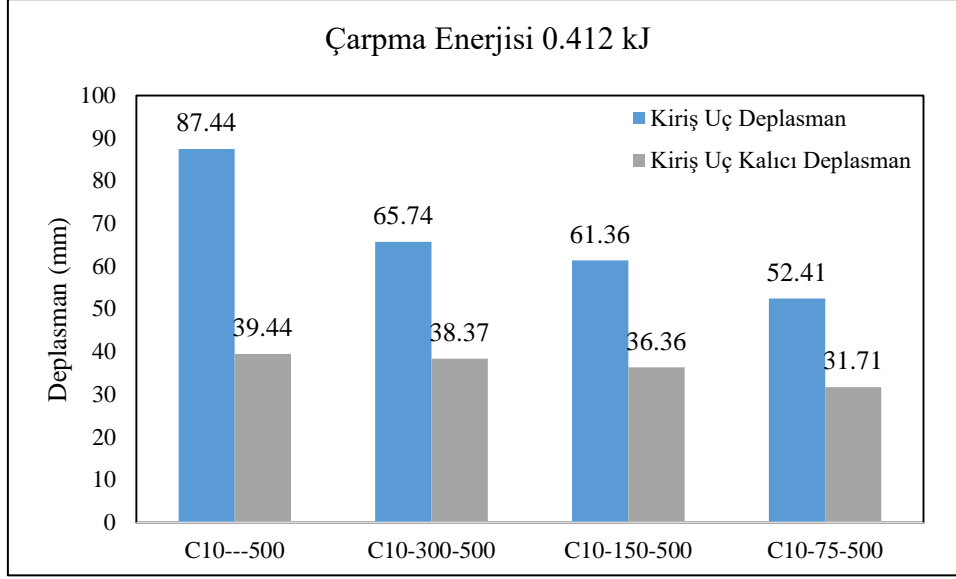
Şekil 5.6. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 1)

5.6. S5-S8 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman

İkinci grup deney elemanları arasında maksimum kiriş uç deplasman değeri 87.44 mm, en küçük kiriş uç deplasman değeri 52.41 mm olmak üzere sırasıyla S5 ve S8 deney elemanlarından elde edilmiştir (Şekil 5.7). Deney elemanlarında kiriş bölgesinde kesme donatı aralığının azalmasıyla kiriş uç deplasman değerlerinde %40 oranında azalma görülmüştür. C10---500(S5) deney elemanından C10-300-500 (S6) deney elemanına geçişte %25, C10-300-500 deney elemanından C10-150-500 (S7) deney elemanına geçişte %7, C10-150-750 deney elemanından C10-75-750 (S8) deney elemanına geçişte %15 oranında kiriş uç deplasman değerleri azalmıştır.

İkinci deney grubunda en büyük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S5 deney elemanında 39.44 mm, en küçük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S8 deney elemanından 31.71 mm olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarında kesme donatısının artmasıyla kiriş uç kalıcı deplasman değerleri %20 oranında azalma görülmüştür. İkinci grup deney elemanlarında sırasıyla, maksimum kiriş uç deplasman değerlerinin %45, %42, %59 ve %61'i kiriş uç kalıcı deplasmanı olarak deney elemanlarında kalmıştır.

C10 beton sınıfında aynı kesme donatı oranı sahip deney elemanlarında ortalama çarpma kuvvetleri birinci gruptan ikinci gruba geçişte yaklaşık %35 oranında azalırken kiriş uç deplasman değerlerinin S1-S5 numunelerinde %30, S2-S6 numunelerinde %37, S3-S7 numunelerinde %35 ve S4-S8 numunelerinde %40 olmak üzere ortalama %36 oranında azalmasına neden olmuştur.

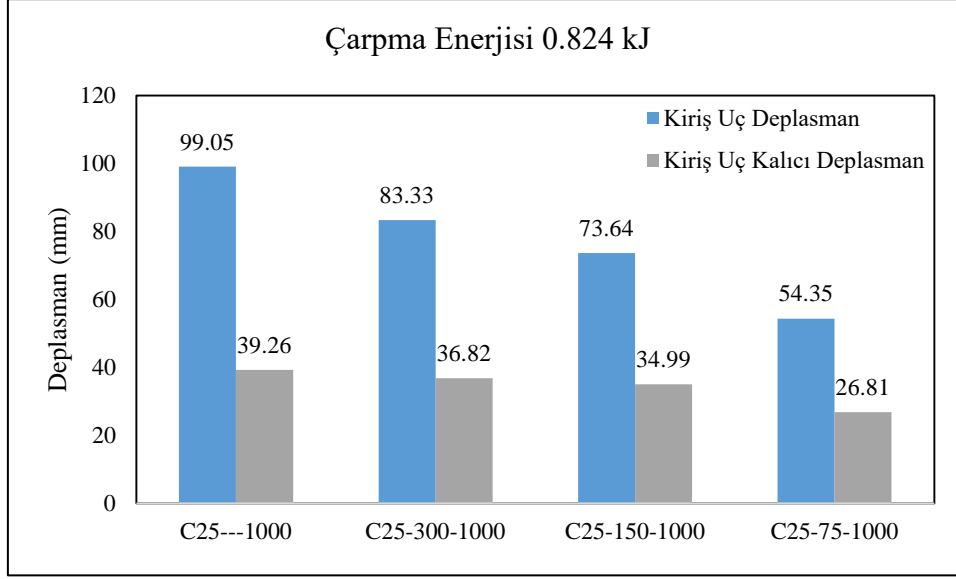


Şekil 5.7. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 2)

5.7. S9-S12 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman

Üçüncü grup deney elemanları arasında maksimum kiriş uç deplasman değeri 99.05 mm, en küçük kiriş uç deplasman değeri 54.35 mm olmak üzere sırasıyla S9 ve S12 deney elemanlarından elde edilmiştir (Şekil 5.8). Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde kesme donatı aralığının azalmasıyla kiriş uç deplasman değerlerinde %45 oranında azalma görülmüştür. S9 deney elemanından S10 elemanına geçişte %15, S10 deney elemanından S11 elemanına geçişte %12, S11 deney elemanından S12 deney elemanına geçişte %26 oranında kiriş uç deplasman değerleri azalmıştır.

Üçüncü deney grubunda en büyük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S9 deney elemanında 39.26 mm, en küçük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S12 deney elemanından 26.81 mm olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde kesme donatısının artmasıyla kiriş uç kalıcı deplasman değerleri %32 oranında azalma görülmüştür. Üçüncü deney grup elemanlarında, maksimum kiriş uç deplasman değerlerinin %40, %44, %48 ve %49'u sırasıyla kiriş uç kalıcı deplasmanı olarak deney elemanlarında kalmıştır.

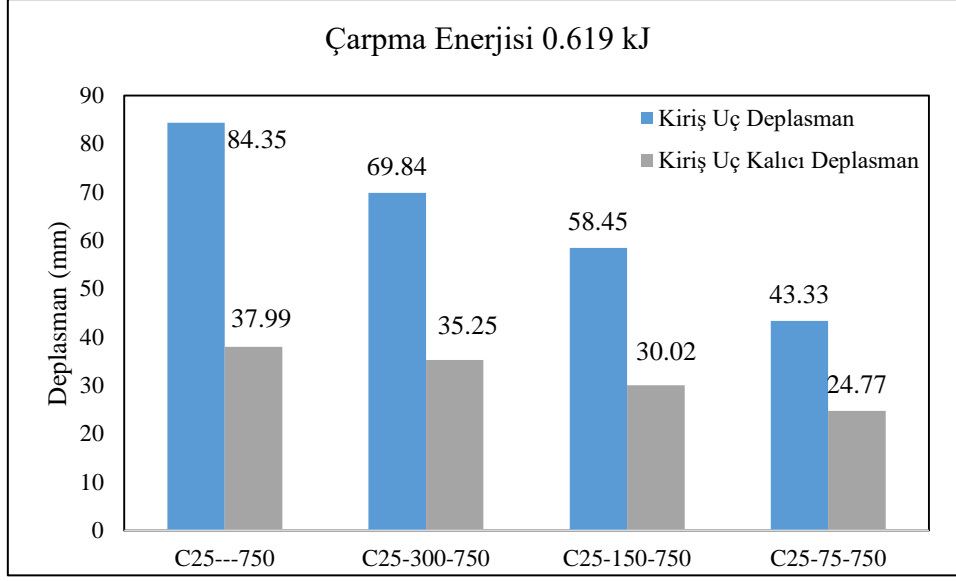


Şekil 5.8. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 3)

5.8. S13-S16 deney elemanlarında kiriş uç ve kalıcı deplasman

Dördüncü grup deney elemanları arasında maksimum kiriş uç deplasman değeri 84.35 mm, en küçük kiriş uç deplasman değeri 44.33 mm olmak üzere sırasıyla S13 ve S16 deney elemanlarından elde edilmiştir (Şekil 5.9). Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde kesme donatı aralığının azalmasıyla kiriş uç deplasman değerlerinde %49 oranında azalma görülmüştür. S13 deney elemanından S14 elemanına geçişte %17, S14 deney elemanından S15 elemanına geçişte %16, S15 deney elemanından S16 deney elemanına geçişte %26 oranında kiriş uç deplasman değerleri azalmıştır.

Dördüncü deney grubunda en büyük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S13 deney elemanında 37.99 mm, en küçük kiriş uç kalıcı deplasman değeri S16 deney elemanından 24.77 mm olarak elde edilmiştir. Deney elemanlarında kesme donatısının artmasıyla kiriş uç kalıcı deplasman değerleri %35 oranında azalma görülmüştür. Dördüncü deney grup elemanlarında, maksimum kiriş uç deplasman değerlerinin %45, %50, %51 ve %57'si sırasıyla kiriş uç kalıcı deplasmanı olarak deney elemanlarında kalmıştır.



Şekil 5.9. Kiriş uç ve kalıcı deplasman değerleri (Grup 4)

5.9. S1-S4 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri

Yapılan deneysel çalışmada deplasman ölçümleri kesme, eğilme ve uç deplasman olmak üzere üç farklı bölgeden altı adet ölçüm ile gerçekleştirilmiştir. Deney elemanlarında kesme çatlakları tam kolon-kiriş birleşiminde kolonun üzerinde ve iki adet kiriş üzerinde olmak üzere toplamda üç adet zaman tanım alanında elde edilmiştir.

Deneysel çalışmada, tam kolon kiriş birleşiminde kolonun üzerinde ölçüm kesme çatlak genişliği-1, kiriş üzerinde kolona yakın bölgeden başlamak üzere kesme çatlak ölçümleri kesme çatlağı-2 ve kesme çatlağı-3 olarak isimlendirilmiştir.

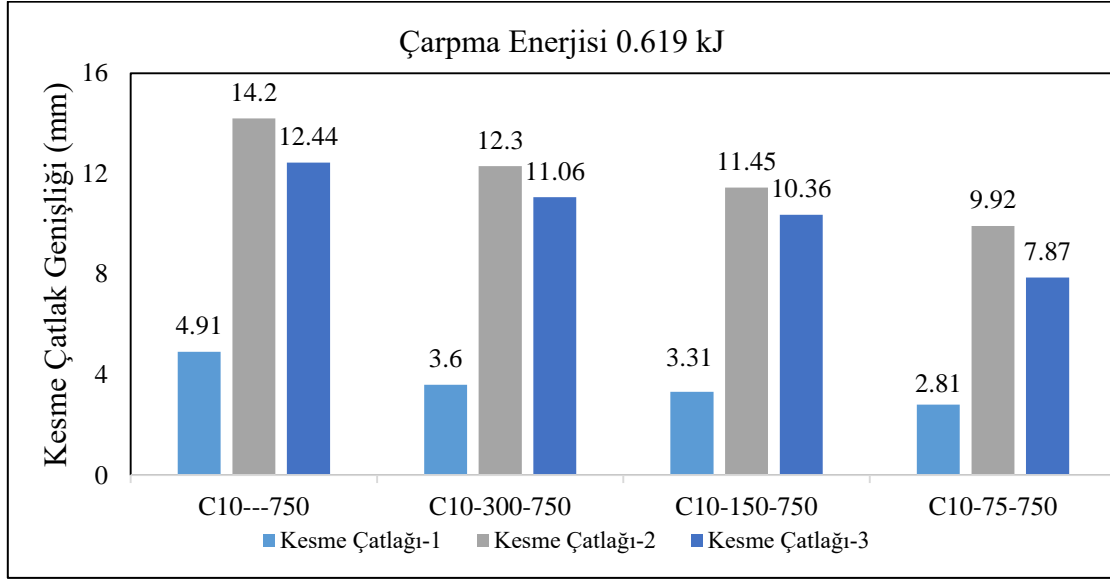
C10 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 750 mm olan deney elemanları kolon üzerinden alınan en büyük kesme çatlak genişliği 4.91 mm olarak C10---750 (S1), en küçük kesme çatlak genişliği 2.81 mm olarak C10-75-750 (S4) deney elemanlarından okunmuştur (Şekil 5.10). Birinci deney grubunda kiriş bölümlerinde kesme donatısının artmasıyla kolon üzerinde kesme çatlak genişliği %43 oranında azalma görülmüştür.

Birinci bölgede kesme çatlak genişlikleri, kesme donatısız deney elemanından (S1) 300 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S2), 300 mm aralıklı kesme donatısı sahip deney elemanından 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S3), 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanından 75 mm aralıklı deney elemanına (S4) geçişlerde sırasıyla %27, %9 ve %15 olmak üzere ortalama %17 oranında azalma görülmüştür.

Birinci deney grubunda kesme çatlağı-2 ölçümleri incelendiğinde en büyük kesme çatlak genişliği 14.2 mm olarak S1 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 9.92 mm olarak S4 deney elemanında elde edilmiştir. Kesme çatlağı-3 ölçümleri ise en büyük

kesme çatlak genişliği 12.44 mm olarak S1 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 7.87 mm olarak S4 deney elemanında elde edilmiştir.

Birinci deney grubunda kesme çatlağı-2 ve kesme çatlağı-3 ölçümlerinde kiriş bölümlerinde kesme donatısı aralığının azalmasıyla sırasıyla %30 ve %37 oranında çatlak genişlikleri azalmıştır. Birinci grup deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri, kesme çatlak genişliği-2 ve kesme çatlak genişliği-3 ölçümlerinde S1'den S2'ye, S2'den S3'e ve S3'ten S4'e geçişlerde sırasıyla %14, %7, %14 ve %11, %6, %24 oranında azalmalar görülmüştür.



Şekil 5.10. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 1)

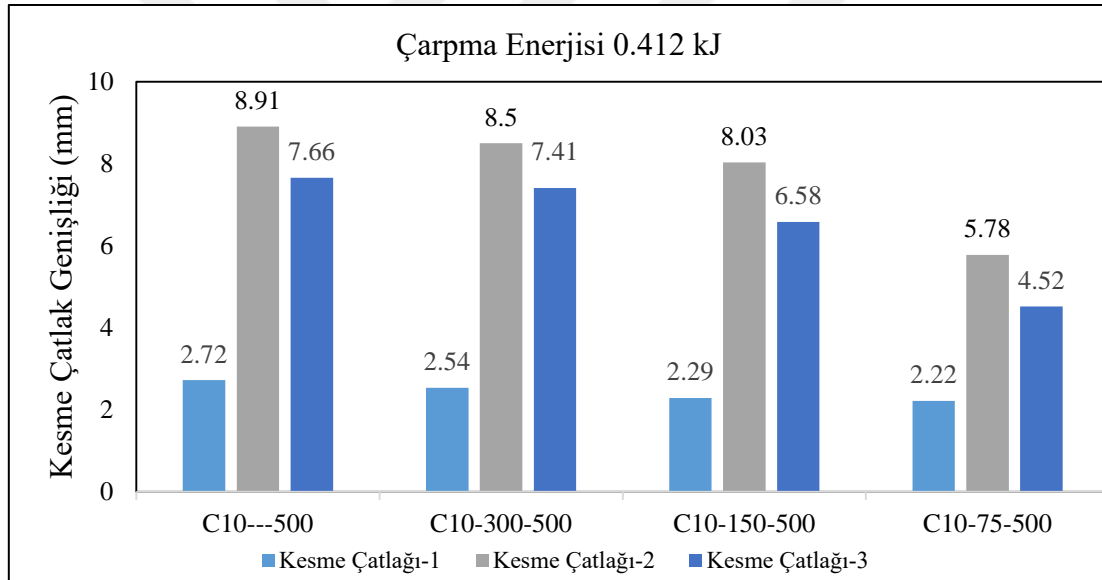
5.10. S5-S8 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri

C10 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 500 mm olan deney elemanları kolon üzerinden alınan en büyük kesme çatlak genişliği 2.72 mm olarak C10---750 (S5), en küçük kesme çatlak genişliği 2.22 mm olarak C10-75-750 (S8) deney elemanlarından okunmuştur (Şekil 5.11). İkinci deney grubunda kiriş bölümlerinde kesme donatısının artmasıyla kolon üzerinde kesme çatlak genişliği %19 oranında azalma görülmüştür. Birinci bölgede kesme çatlak genişlikleri, kesme donatısız deney elemanından (S5) 300 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S6), 300 mm aralıklı kesme donatısı sahip deney elemanından 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S7), 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanından 75 mm aralıklı deney elemanına (S8) geçişlerde sırasıyla %7, %10 ve %3 olmak üzere ortalama %7 oranında azalma görülmüştür.

İkinci deney grubunda kesme çatlağı-2 ölçümleri incelendiğinde en büyük kesme çatlak genişliği 8.91 mm olarak S5 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 5.78 mm olarak S8 deney elemanında elde edilmiştir. Kesme çatlağı-3 ölçümleri ise en büyük kesme çatlak

genişliği 7.66 mm olarak S5 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 4.52 mm olarak S8 deney elemanında elde edilmiştir. İkinci deney grubunda kesme çatlağı-2 ve kesme çatlağı-3 ölçümlerinde kiriş bölümlerinde kesme donatısı aralığının azalmasıyla sırasıyla %35 ve %41 oranında çatlak genişlikleri azalmıştır. İkinci grup deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri, kesme çatlak genişliği-2 ve kesme çatlak genişliği-3 ölçümlerinde S5'ten S6'a, S6'dan S7'e ve S7'den S8'e geçişlerde sırasıyla %5, %6, %28 ve %3, %11, %31 oranında azalmalar görülmüştür.

C10 beton sınıfında kiriş bölümlerinde aynı kesme donatısına sahip deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri sırasıyla, S1-S5 numunelerinde %45, %38, %38, S2-S6 numunelerinde %30, %31, %33, S3-S7 numunelerinde %31, %30, %37 ve S4-S8 numunelerinde %21, %42, %43 oranında azalmalar elde edilmiştir. Genel olarak C10 beton sınıfında üretilen deney elemanlarında çarpma kuvvetinin azalmasıyla kesme çatlak genişliklerinin sırasıyla ortalama %32, %35, %38 oranında azalmasına neden olmuştur.



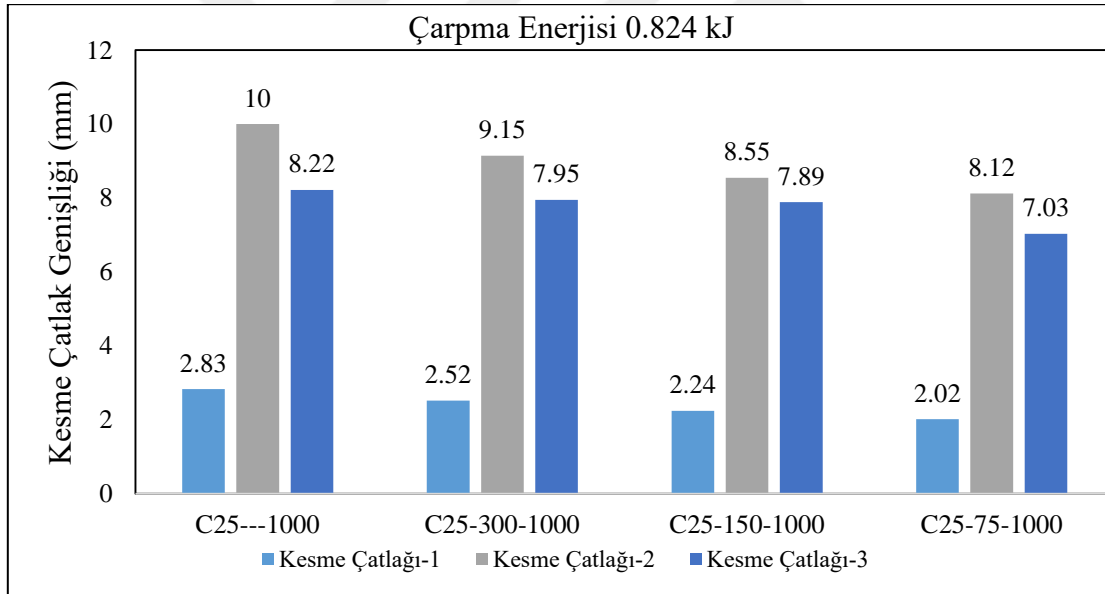
Şekil 5.11. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 2)

5.11. S9-S12 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri

C25 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 1000 mm olan deney elemanları kolon üzerinden alınan en büyük kesme çatlak genişliği 2.83 mm olarak C25---1000 (S9), en küçük kesme çatlak genişliği 2.02 mm olarak C25-75-1000 (S12) deney elemanlarından okunmuştur (Şekil 5.12). Üçüncü deney grubunda kiriş bölümlerinde kesme donatısının artmasıyla kolon üzerinde kesme çatlak genişliği %29 oranında azalma görülmüştür. Birinci bölgede kesme çatlak genişlikleri, kiriş bölümlerinde kesme donatısız deney elemanından (S9) 300 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S10), 300 mm aralıklı kesme donatısı

sahip deney elemanından 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S11), 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanından 75 mm aralıklı deney elemanına (S12) geçişlerde sırasıyla %11, %11 ve %10 olmak üzere ortalama %10 oranında azalma görülmüştür.

Üçüncü deney grubunda kesme çatlakları-2 ölçümleri incelendiğinde en büyük kesme çatlak genişliği 10 mm olarak S9 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 8.12 mm olarak S12 deney elemanında elde edilmiştir. Kesme çatlakları-3 ölçümleri ise en büyük kesme çatlak genişliği 8.22 mm olarak S9 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 7.03 mm olarak S12 deney elemanında elde edilmiştir. Üçüncü deney grubunda kesme çatlakları-2 ve kesme çatlakları-3 ölçümlerinde kiriş bölümlerinde kesme donatısı aralığının azalmasıyla sırasıyla %19 ve %15 oranında çatlak genişlikleri azalmıştır. Üçüncü grup deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri, kesme çatlak genişliği-2 ve kesme çatlak genişliği-3 ölçümlerinde S9'dan S10'a, S10'dan S11'e ve S11'den S12'e geçişlerde sırasıyla %9, %7, %5 ve %3, %1, %11 oranında azalmalar görülmüştür.



Şekil 5.12. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 3)

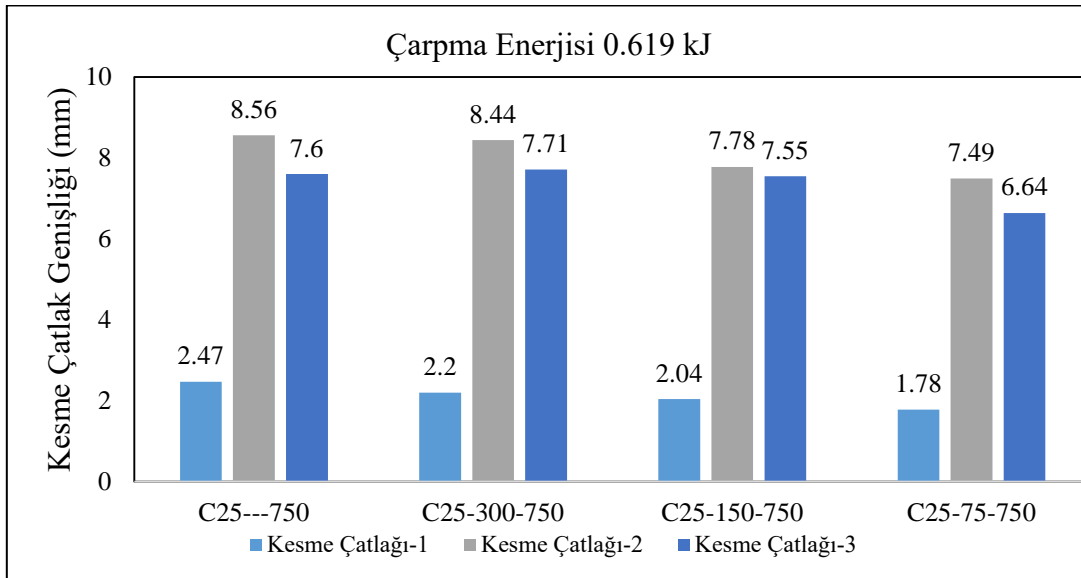
5.12. S13-S16 deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri

C25 beton sınıfında üretilen ve serbest düşü yüksekliği 750 mm olan deney elemanları kolon üzerinden alınan en büyük kesme çatlak genişliği 2.47 mm olarak C25---750 (S13), en küçük kesme çatlak genişliği 1.78 mm olarak C25-75-750 (S16) deney elemanlarından okunmuştur (Şekil 5.13). Dördüncü deney grubunda kesme donatısının artmasıyla kolon üzerinde kesme çatlak genişliği %28 oranında azalma görülmüştür. Birinci bölgede kesme çatlak genişlikleri, kiriş bölümlerinde kesme donatısız deney elemanından (S13) 300 mm

aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S14), 300 mm aralıklı kesme donatısı sahip deney elemanından 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanına (S15), 150 mm aralıklı kesme donatısına sahip deney elemanından 75 mm aralıklı deney elemanına (S16) geçişlerde sırasıyla %10, %7 ve %13 olmak üzere ortalama %10 oranında azalma görülmüştür.

Dördüncü deney grubunda kesme çatlakları-2 ölçümleri incelendiğinde en büyük kesme çatlak genişliği 8.56 mm olarak S13 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 7.49 mm olarak S16 deney elemanında elde edilmiştir. Kesme çatlakları-3 ölçümleri ise en büyük kesme çatlak genişliği 7.6 mm olarak S13 deney elemanında, en küçük kesme çatlak genişliği 6.64 mm olarak S16 deney elemanında elde edilmiştir. Dördüncü deney grubunda kesme çatlakları-2 ve kesme çatlakları-3 ölçümlerinde kiriş bölümlerinde kesme donatısı aralığının azalmasıyla sırasıyla %12.5 ve %13 oranında çatlak genişlikleri azalmıştır. Dördüncü grup deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri, kesme çatlak genişliği-2 ve kesme çatlak genişliği-3 ölçümlerinde S13'ten S14'e, S14'ten S15'e ve S15'ten S16'a geçişlerde sırasıyla %1.5, %8, %4 ve %-2, %2, %12 oranında azalmalar görülmüştür.

C25 beton sınıfında kiriş bölümlerinde aynı kesme donatısına sahip deney elemanlarında kesme çatlak genişlikleri sırasıyla, S9-S13 numunelerinde %13, %14, %8, S10-S14 numunelerinde %13, %8, %3, S11-S15 numunelerinde %9, %9, %4 ve S12-S16 numunelerinde %12, %8, %6 oranında azalmalar elde edilmiştir. Genel olarak C25 beton sınıfında üretilen deney elemanlarında çarpma kuvvetinin azalmasıyla kesme çatlak genişliklerinin sırasıyla ortalama %12, %10, %5 oranında azalmasına neden olmuştur.



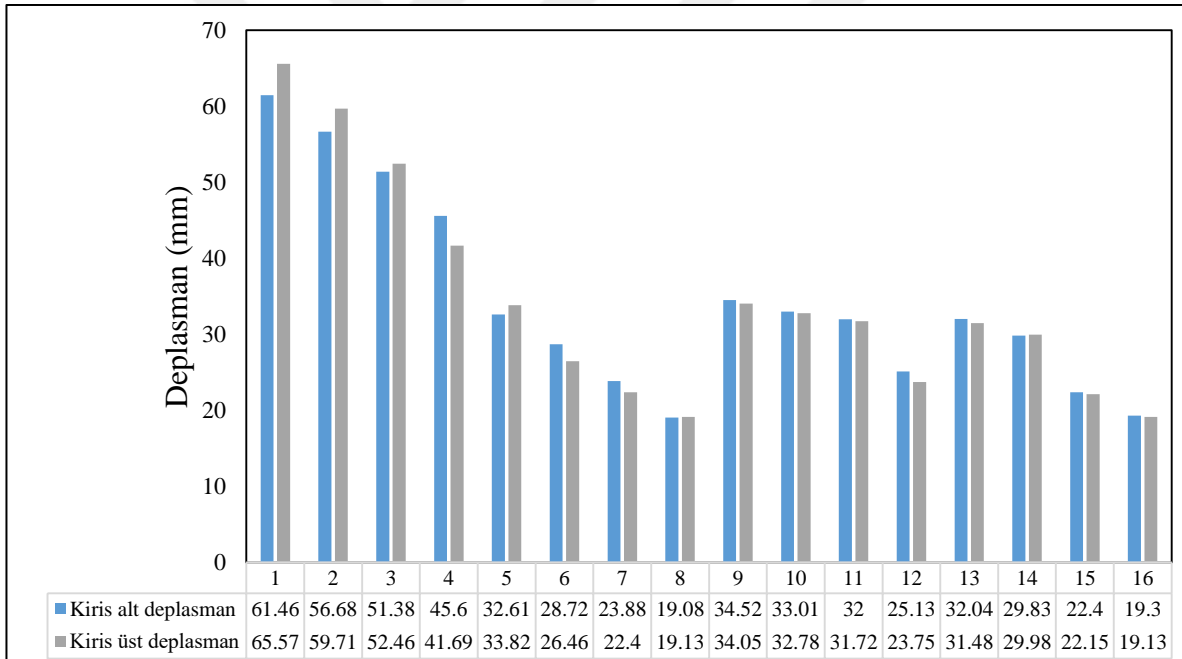
Şekil 5.13. Kesme çatlak genişlikleri (Grup 4)

5.13. Kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri

Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısının artmasıyla kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerlerinde sırasıyla birinci deney grubunda %26, ikinci deney grubunda %42, üçüncü deney grubunda %27, dördüncü deney grubunda %40 oranında azalmalar meydana getirmiştir.

Eşit düzeyde enerji verilen deney elemanlarında beton basınç dayanımlarının artmasıyla kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri sırasıyla; S1/S13 numunelerinde %48, S2/S14 numunelerinde %47, S3/S15 numunelerinde %56, S4/S16 numunelerinde %58 oranında azalmalara neden olmuştur.

Ayrıca C10 numunelerinde düşü yüksekliğinin 750 mm'den 500 mm'ye düşmesiyle kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri %47-59, C25 numunelerinde düşü yüksekliğinin 1000 mm'den 750 mm'ye düşmesiyle kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri %7-30 oranları arasında azalmalar meydana gelmiştir. (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Kiriş alt ve üst bölgesi deplasman değerleri

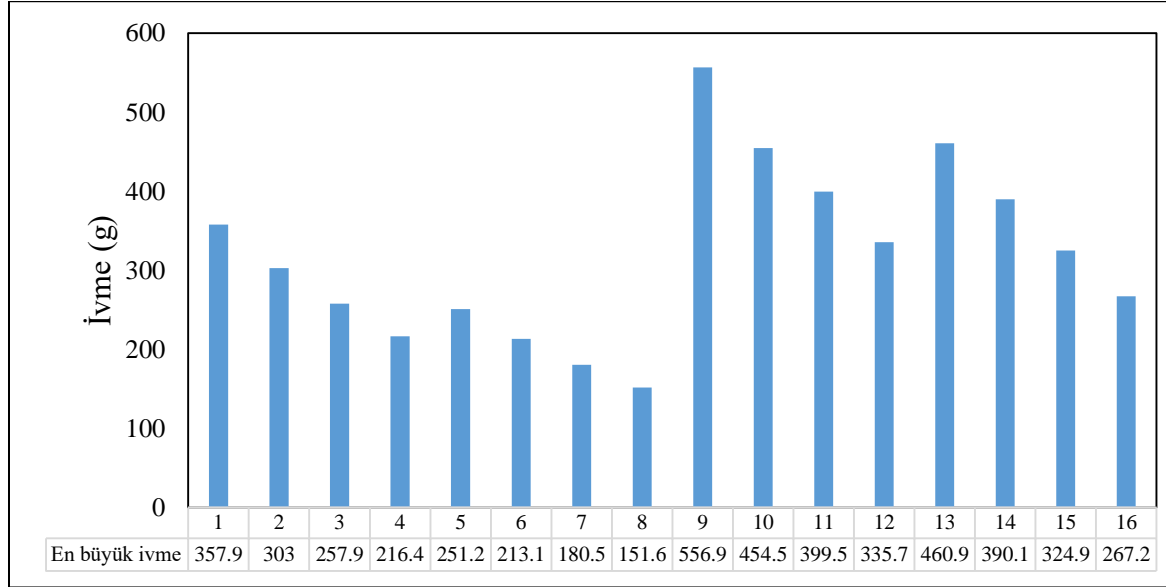
5.14. Deney sonuçlarının tartışılması

Deney elemanlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatı aralığının azalmasıyla, maksimum ivme değerleri birinci deney grubunda %40, ikinci deney grubunda %40, üçüncü deney grubunda %40 ve dördüncü deney grubunda %42 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Eşit düzeyde çarpma enerjisi verilen deney elemanlarında beton basınç dayanımlarının artmasıyla maksimum ivme değerleri S1/S13 numunelerinde %29, S2/S14 numunelerinde

%29, S3/S15 numunelerinde %26, S4/S16 numunelerinde %24 oranında artışlar meydana gelmiştir.

Ayrıca C10 numunelerinde düşü yüksekliğinin 750 mm'den 500 mm'ye düşmesiyle %25-30, C25 numunelerinde düşü yüksekliğinin 1000 mm'den 750 mm'ye düşmesiyle %18-20 arasında ivme değerlerinde azalma olmuştur (Şekil 5.15).

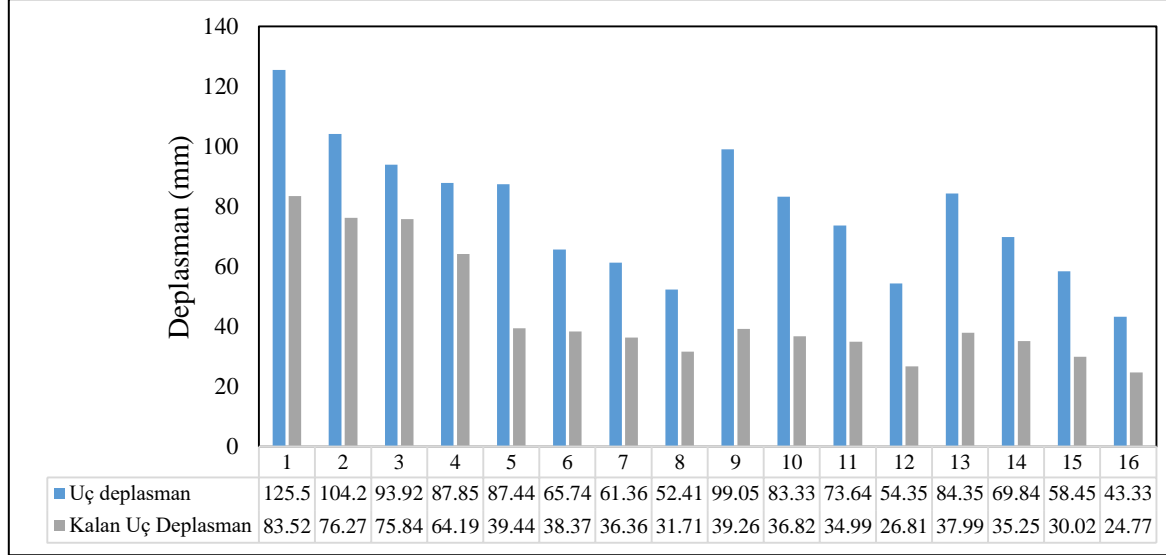


Şekil 5.15. Maksimum ivme değerleri

Deney elemanlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısının artmasıyla, maksimum kiriş uç deplasman değerleri birinci deney grubunda %49, ikinci deney grubunda %40, üçüncü deney grubunda %45 ve dördüncü deney grubunda %49 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Kalıcı uç deplasman değerleri kesme donatısının artmasıyla birinci deney grubunda %49, ikinci deney grubunda %20, üçüncü deney grubunda %32 ve dördüncü deney grubunda %35 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Tüm deney elemanları ele alınacak olursa kesme donatısının artmasıyla kiriş uç deplasman değerinde %35, kalıcı uç deplasman değerinde %30 oranında azalma meydana gelmiştir.

Eşit düzeyde enerjiye maruz kalan deney elemanlarında beton basınç dayanımlarının artmasıyla kiriş uç deplasman değerleri S1/S13 numunelerinde %32, S2/S14 numunelerinde %33, S3/S15 numunelerinde %38, S4/S16 numunelerinde %50 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Kalıcı uç deplasman değerlerinde ise S1/S13 numunelerinde %55, S2/S14 numunelerinde %54, S3/S15 numunelerinde %60, S4/S16 numunelerinde %62 oranında azalmalara neden olmuştur.

Ayrıca C10 numunelerinde düşü yüksekliğinin 750 mm'den 500 mm'ye düşmesiyle %30-40, C25 numunelerinde düşü yüksekliğinin 1000 mm'den 750 mm'ye düşmesiyle %15-20 oranları arasında kiriş uç deplasman değerlerinde azalma olmuştur (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Kiriş uç deplasman ve kalıcı deplasman değerleri

Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatısının artmasıyla kolon üzerinde kesme çatlak genişliği birinci deney grubunda %43, ikinci deney grubunda %19, üçüncü deney grubunda %29, dördüncü deney grubunda %28 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

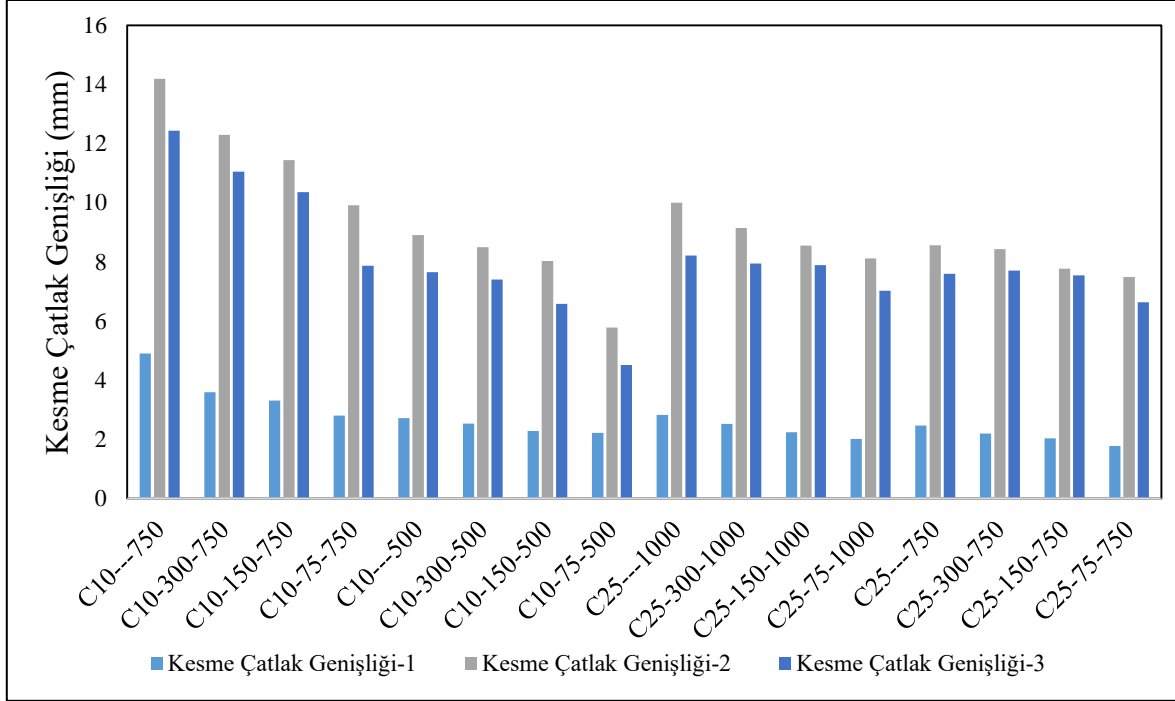
Eşit düzeyde enerji verilen deney elemanlarında beton basınç dayanımlarının artmasıyla kolon bölgesi çatlak genişlik değerleri; S1/S13 numunelerinde %49, S2/S14 numunelerinde %39, S3/S15 numunelerinde %40, S4/S16 numunelerinde %36 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Ayrıca C10 numunelerinde düşü yüksekliğinin 750 mm'den 500 mm'ye düşmesiyle %20-45, C25 numunelerinde düşü yüksekliğinin 1000 mm'den 750 mm'ye düşmesiyle %10-12 oranları arasında kolon bölgesi kesme çatlak genişlik değerlerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Deney elemanlarında kesme donatısının artmasıyla kiriş bölgesi kesme çatlak genişliği 2 ve kesme çatlak genişliği-3 değerleri sırasıyla birinci deney grubunda %30, %37, ikinci deney grubunda %35, %41, üçüncü deney grubunda %19, %15, dördüncü deney grubunda %12.5, %13 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Eşit düzeyde enerji verilen deney elemanlarında beton basınç dayanımlarının artmasıyla kiriş bölgesi kesme çatlak genişliği-2 değerleri sırasıyla; S1/S13 numunelerinde %40, S2/S14 numunelerinde %31, S3/S15 numunelerinde %32, S4/S16 numunelerinde %25, kiriş bölgesi çatlak genişlik-3 değerleri; S1/S13 numunelerinde %39, S2/S14 numunelerinde %30, S3/S15 numunelerinde %27, S4/S16 numunelerinde %16 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

Ayrıca C10 numunelerinde düşü yüksekliğinin 750 mm'den 500 mm'ye düşmesiyle kiriş bölgesi kesme çatlak genişlikleri sırasıyla %30-42 ve %33-43, C25 numunelerinde düşü yüksekliğinin 1000 mm'den 750 mm'ye düşmesiyle sırasıyla %8-15 ve %4-8 arasında azalma meydana gelmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Kesme çatlak genişlik değerleri

Artan düşü yüksekliklerine bağlı olarak, deney elemanlarındaki ivme, deplasman yük değerlerinde artış gözlenmiştir. Deney elemanlarının basınç dayanımları arttıkça ivme değerlerinin arttığı, deplasman ve çatlak oluşumunun azaldığı gözlenmiştir. Betonarme kolon-kiriş birleşim detaylarında, çarpma enerjisinin artması; ölçülen maksimum ivmenin artmasına sebep olmakla beraber maksimum ve kalıcı deplasman değerlerinin de çok daha büyük oranlarda artmasına neden olmuştur. Deneylerde, kiriş bölümlerinde yer alan kesme donatı aralığının ve uygulanan çarpışma enerjisinin artması; meydana gelen çatlak genişlikleri ile hasar miktarını önemli bir şekilde arttırmıştır. En yüksek enerji düzeyine tabi tutulan ve en az donatılı numunede meydana gelen çatlakların genişliklerinin artmasına neden olmaktadır. Deney elemanlarından ölçülen ivme değerleri incelendiğinde hem C10 hem de C25 beton basınç dayanıma sahip kiriş bölümlerinde kesme donatı aralığı arttıkça deney elemanlarından ölçülen ivme değerlerinin de arttığı gözlenmiştir. Deney elemanlarından ölçülen deplasman değerleri incelendiğinde hem C10 hem de C25 beton basınç dayanıma sahip kiriş bölümlerinde kesme donatı aralığı arttıkça deney elemanlarından ölçülen deplasman değerlerinin de arttığı gözlenmiştir.

Deneyisel çalışma sonucunda incelenen betonarme kolon-kiriş birleşim elemanlarında elde edilen maksimum-minimum ivme değerleri, kiriş uç deplasman değerleri, maksimum kesme çatlak genişlikleri, maksimum eğilme çatlak genişlikleri, kiriş kalıcı uç deplasman değerleri ve çarpma yükü Tablo 5.1’de özetlenmiştir.

Tablo 5.1. 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)
	Max.	Min.		Kiriş-Kolon Birleşimi	Birinci	İkinci	Alt	Üst		
S1	357.86	-96.67	125.50	4.91	14.20	12.44	61.46	65.57	83.52	9.88
S2	303.01	-155.96	104.16	3.60	12.30	11.06	56.68	59.71	76.27	10.01
S3	257.87	-53.12	93.92	3.31	11.45	10.36	51.38	52.46	75.84	10.05
S4	216.40	-73.37	87.85	2.81	9.92	7.87	45.60	41.69	64.19	9.97
S5	251.18	-124.13	87.44	2.72	8.91	7.66	32.61	33.82	39.44	6.47
S6	213.12	-32.15	65.74	2.54	8.50	7.41	28.72	26.46	38.37	6.51
S7	180.50	-53.13	61.36	2.29	8.03	6.58	23.88	22.40	36.36	6.50
S8	151.60	-119.51	52.41	2.22	5.78	4.52	19.08	19.13	31.71	6.43
S9	556.88	-480.49	99.05	2.83	10.00	8.22	34.52	34.05	39.26	15.92
S10	454.52	-201.09	83.33	2.52	9.15	7.95	33.01	32.78	36.82	15.95
S11	399.50	-190.13	73.64	2.24	8.55	7.89	32.00	31.72	34.99	15.96
S12	335.69	-122.58	54.35	2.02	8.12	7.03	25.13	23.75	26.81	15.87
S13	460.89	-229.99	84.35	2.47	8.56	7.60	32.04	31.48	37.99	9.94
S14	390.07	-258.85	69.84	2.20	8.44	7.71	29.83	29.98	35.25	10.12
S15	324.92	-137.87	58.45	2.04	7.78	7.55	22.40	22.15	30.02	9.98
S16	267.18	-133.76	43.33	1.78	7.49	6.64	19.30	19.13	24.77	9.96

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Betonarme yapılar, kullanım ömrü boyunca statik, hareketli ve deprem gibi dinamik yüklerin yanı sıra çarpma yüklerine de maruz kalabilmektedir. Bu nedenle betonarme yapıların projelendirmesinde ani dinamik yükleme davranışının dikkate alınması gerekmektedir. Betonarme yapıların çarpma yükü gibi etkiler altında davranışının belirlenmesi için deneysel çalışmalar yapılması gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasının bu konuya ışık tutacağı düşünülmektedir.

Yapılan tez çalışması kapsamında betonarme kolon-kiriş birleşim deney elemanlarının çarpma davranışı üç değişken ile incelenmiştir. Bunlar; kiriş bölgesinde yer alan kesme donatısı aralığı, beton basınç dayanımı ve ağırlık düşü yüksekliğidir. Birinci değişken olarak kiriş bölgesine kesme donatıları, 300 mm, 150 mm, 75 mm aralıkla ve kirişte hiç kesme donatısı olmadığı durum olmak üzere dört farklı şekildedir. İkinci değişken olarak C10 ve C25 beton sınıflarında sekizer adet deney elemanları oluşturulmuştur. Üçüncü değişken olarak C10 beton sınıfında üretilen deney elemanlarında 750 mm ve 500 mm, C25 beton sınıfında üretilen deney elemanlarında 1000 mm ve 750 mm düşü yüksekliği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Deney elemanlarında kiriş bölümlerinde kesme dayanımlarının azalması maksimum kiriş uç ivme ve kolon kiriş birleşimlerinde ölçülen tüm deplasman değerlerinde önemli oranda artışların olmasına neden olmuştur.
- Deney elemanlarından ölçülen maksimum ivme değerleri, kiriş bölümlerinde kesme donatısı yer almayan deney elemanları 300 mm, 150 mm ve 75 mm aralıkla kesme donatısı yerleştirilen deney elemanlarından sırasıyla ortalama %18, %40 ve %67 oranlarında daha fazla elde edilmiştir.
- Kiriş bölümünde hiç kesme donatısı yer almayan deney elemanlarından ölçülen maksimum kiriş uç noktası deplasman değerleri sırasıyla 300 mm, 150 mm ve 75 mm aralıkla kesme donatısı yerleştirilen deney elemanlarından sırasıyla ortalama %23, %39 ve %72 oranlarında daha büyük ölçülmüştür.
- Kirişlerine hiç kesme donatısı yerleştirilmeyen betonarme kolon-kiriş birleşimi deney elemanlarından birinci, ikinci ve üçüncü kesme çatlak genişliği değerleri sırasıyla 300 mm, 150 mm ve 75 mm kesme donatısı bulunan deney elemanlarından kesme çatlak genişliği-1'de ortalama %17, %29, %44, kesme çatlak genişliği-2'de ortalama %8, %15, %34 ve kesme çatlak genişliği-3'de ortalama %5, %11, %41 oranlarında daha büyük ölçülmüştür.

- Kirişlerine hiç kesme donatısı yerleştirilmeyen deney elemanlarından kiriş alt ve üst yüzeylerinden ölçülen maksimum eğilme çatlak genişlikleri 300 mm, 150 mm, 75 mm kesme donatısı bulunan deney elemanlarından sırasıyla, alt kiriş yüzeyinde ortalama %8, %27, %52 ve üst kiriş yüzeyinde ise ortalama %12, %31, %60 oranlarında daha büyük elde edilmiştir.
- Betonarme kolon-kiriş birleşimi deney elemanlarından ölçülen kiriş uç deplasmanı değerlerinden elde edilen kalıcı plastik deplasman değerleri kirişlere yerleştirilen kesme donatı aralığının artması ile artış göstermiştir. Kirişlerine hiç kesme donatısı yerleştirilmeyen deney elemanlarından ölçülen maksimum kalıcı deplasman değerleri, sırasıyla 300 mm, 150 mm, 75 mm aralıkla kesme donatısı yerleştirilen deney elemanlarından ortalama %7, %14 ve %39 oranlarında daha büyük elde edilmiştir.
- Deney elemanlarının üretiminde kullanılan beton basınç dayanımının 10 MPa'dan 30 MPa değerine artış göstermesi deney elemanlarının kiriş bölümü uç noktasından ölçülen maksimum ivme değerlerini ortalama %27 oranında artırmıştır. Deney elemanlarının beton basınç dayanımının 10 MPa'dan 30 MPa değerine artması maksimum kiriş uç noktası deplasmanı, maksimum kesme çatlak genişliği, maksimum eğilme çatlak genişliği ve kiriş uç noktası kalıcı deplasman değerlerinin sırasıyla ortalama %65, %53, %114 ve %137 oranlarında azalmasına neden olmuştur.
- Deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesinin artış göstermesi, betonarme kiriş bölümü uç noktasından ölçülen maksimum ivme, maksimum uç deplasmanı, maksimum kesme çatlak genişliği, maksimum eğilme çatlak genişliği ve kalıcı kiriş uç noktası deplasmanı değerlerinin hepsinin sırasıyla ortalama %32, %39, %32, %68 ve %57 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 6.48 kN, 750 mm yükseklikten düşü uygulanması durumunda, ortalama 9.99 kN, ve 1000 mm yükseklikten düşü uygulanması durumunda ise 15.93 kN olarak ölçülmüştür. Düşünün 1000 mm'den uygulandığı deney elemanlarından ölçülen maksimum çarpma yüklemesi değerinin 750 mm'den uygulandığı deney elemanlarından ölçülen maksimum çarpma yüklemesi değerinden ortalama %59 oranında daha büyük olduğu ve 750 mm'den düşü uygulanan deney elemanlarından ölçülen maksimum çarpma yükünün 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.

- Deneysel çalışmada yer alan deney elemanlarına uygulanan çarpma yüklemesi sonrasında çatlak dağılımları incelendiğinde deneyler sırasında betonarme kolon-kiriş birleşimi test elemanlarından alınan deplasman ölçümleri ile uyumlu bir çatlak ve hasar dağılımı elde edildiği görülebilmektedir. Deneysel çalışmada yer alan deney elemanları içerisinde 10 MPa düşük beton basınç dayanımına sahip ve 750 mm düşü yüksekliği ile test edilen en büyük deplasmanları yapan birinci deney grubu ile 1000 mm düşü yüksekliği ile test edilen üçüncü en büyük hasarı almış olup, en geniş kesme ve eğilme çatlakları bu deney elemanında meydana gelmiştir. Ayrıca deney elemanı kiriş bölümünde alt basınç bölgesinde beton kabuğunda ezilme oluşmuş ve kabuk betonu dökülmüştür. Kirişlerde kullanılan kesme donatısı miktarındaki azalış ve uygulanan çarpma yüklemesindeki artış kirişlerde meydana gelen hasarı artırmış ve çatlak genişliklerini büyütülmüştür. Beton basınç dayanımındaki artış ise hasar dağılımını sınırlandırmış, çatlak genişliklerinin azalmasına neden olarak deney elemanlarının daha az hasar almasını sağlamıştır.

Yapılan çalışma, betonarme kolon kiriş elemanlarının çarpma davranışının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen detaylı bir başlangıç olmasının yanı sıra gelecekte çalışması gereken bazı araştırma konuları da beraberinden getirmektedir. Bu nedenle gelecekte yürütülecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

Serbest ağırlık düşürücü test düzeneğinde noktasal çarpma yükleme yerine yayılı yük davranışı geliştirilerek çarpma davranışı incelenmelidir. Farklı enkesit ve ölçeklere sahip dolu duvar betonarme çerçevelerinde çarpma davranışı araştırılmalıdır. Betonarme çerçeve elemanların oluşturulması farklı gövdeli derin kirişler, tablalı kirişler veya döşeme kesitleriyle detaylandırılabilir. Kesme ve eğilme etkileri açısından yetersiz kesitler lif katkılı polimerler (FRP) yardımıyla farklı güçlendirme detaylarıyla (FRP kalınlığı, FRP sargı aralığı, FRP şerit genişliği, fan tipi ankraj ve mekanik ankrajlı FRP detayları) güçlendirilerek çarpma yüklemesi davranışları belirlenebilir. Aynı zaman öngermeli, ardgermeli ve betonarme prefabrik yapı elemanlarının çarpma davranışlarının araştırılması da önemlidir. Ayrıca yapılan her bir deneysel çalışma sonuçları doğrulanmış sonlu elemanlar modelleriyle betonarme yapı olarak geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Absil L. H. vd.**, (1994). Details of Blast Interaction with Structures, *the Twenty-Sixth Explosives Safety Seminar*.
- Al-Rifaie A. vd.**, (2017). Lateral impact response of end-plate beam-column connections, *Engineering Structures*,151(1), 221-234.
- Arslan, A. (1995)**. Mixed-Mode fracture performance of fibre reinforced concrete under impact loading, *Materials and Structures*, 28(1), 473-478.
- Bambacha M. R. vd.**, (2008). Hollow and concrete filled steel hollow sections under transverse impact loads, *Engineering Structures*, 30(1), 2859–2870.
- Banthia N. P.**, (1987). *Impact resistance of concrete* (PhD Thesis). The University of British Columbia.
- Barmaki W.** (2018). Betonarme kolonlara yatay olarak uygulanan çarpışma yüklemesinin lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile analizi, *Yayınlanmamış, Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Barr, B. & Bouamrata, A.** (1988). Development of a repeated drop-weight impact testing apparatus for studying fibre reinforced concrete materials, *Composites*, 19(1), 453-466.
- Bhatti A.Q. vd.**, (2009). Elasto-plastic impact response analysis of shear-failure-type RC beams with shear rebars, *Materials and Design*, 30(1), 502-510.
- Breen, C., vd.**, (2005). Impact of thick CRFP laminates: the effect of impact velocity, *Composites: Part A*, 36(4), 205-211.
- Bruneau M. vd.**, (2007). Blast Resistant Bridge Piers, *Structure Magazine*, 4(2), 9–21.
- Çelik, T.vd.**, (2001). Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber reinforced concrete, *Materials Letters*, 47(2), 297-304.
- Chopra, A. K.** (2015), *Yapı Dinamiği-Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları*. (Çev. Hilmi Luş). Ankara: Palme Yayıncılık, 135-156).
- Crawford J. E. vd.**, (2001). Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings, *Proceedings of the tenth international symposium on interaction of the effects of munitions with structures*.
- Cullis I. G.** (2001). "Blast Waves and How they Interact with Structures, *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 147(1), 16-26.

- Farnam, Y. vd.,** (2010). Experimental and numerical investigations of low velocity impact behavior of high-performance fiber-reinforced cement based composite, *International Journal of Impact Engineering*, 37(2), 220–229.
- Grismo, E. L. vd.,** (2016). A numerical study of beam-to-column joints subjected to impact, *Engineering Structures*, 120(1), 103-115.
- Islam M. E.** (2016). Strengthening of existing security buildings against vehicle bomb using fluid viscous dampers, in Egypt, 2016
- Juechun X. vd.,** (2016). Behaviors of ultra-high performance fibre reinforced concrete columns subjected to blast loading, *Engineering Structures*, 118(1), 97–107.
- Kantar, E. vd.,**(2011). Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1), 115-123.
- Kantar, E., &Anıl, Ö.** (2012). Low velocity impact behavior of concrete beam strengthened wit CFRP strip, *Steel and Composite Structures*, 12(3). 207-230.
- Kishi, N. vd.,** (2002). Impact behavior of shear-failure-type RC beams without shear rebar, *International Journal of Impact Engineering*, 27(1), 955–968.
- Liu, J. &Jones, N.** (1987). Experimental investigation of clamped beams struck transversely by a mass, *International Journal of Impact Engineering*, 6(4), 303-335.
- Liu, J. H. &Jones, N.** (1988). Dynamic response of a rigid plastic clamped beam struck by a mass at any point on the span, *International Journal of Solids and Structures*, 24(3), 251-270.
- Malvar L. J. vd.,** (2007). Use of Composites to Resist Blast, *ASCE Journal of Composites for Construction*, 11(6), 601–610.
- P. D. Smith P. D. vd.** (1999). Clearing of Blast Waves from Building Facades, *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*, 134(2), 193-199.
- Remennikov, A. M., &Kaewunruen, S.** (2006). Impact resistance of reinforced concrete columns: experimental studies and design considerations, *Australia: University of Wolfgang, Faculty of Engineering*, 4(2), 10-25.
- Saatci, S. &Vecchio, F. J.** (2009). Effects of shear mechanisms on impact behavior of reinforced concrete beams, *ACI Structural Journal*, 106(1), 78-86.
- Scott R. A. & L. J. Doemeny L. J.** (1987). Design Considerations for Toxic Chemical and Explosives Facilities, *Washington, DC: American Chemical Society*.

Smith P. D.& Rose T. A. (2004). Blast Loading and Building Robustness, *Progress in Structural Engineering and Materials*, 4(2), 213-223.

Soroushian, P. & Elzafraney, M. (2004). Damage effects on concrete performance and microstructure, *Cement and Concrete Composites*, 26(3), 853-859.

Tokgöz, M. N. (2015). Betonarme kolonların çarpışma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi, *Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Wen, H. M vd., (1995). Deformation and failure of clamped beams under low speed impact loading, *International Journal of Impact Engineering*, 16(3), 435-454.

Yang B. vd., (2018). Numerical study of rigid steel beam-column joints under impact loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 147(1), 62-73.

Yang, J. L. vd.,(2003). Dynamic plastic behavior of a free-free beam striking the mid-span of a clamped beam with shear and membrane effects considered, *International Journal of Mechanical Sciences*, 45(2), 915-940.

Yazan Q. (2014). The Dynamic Response of Concrete Filled Frp Tubes Subjected to Blast and Impact Loading, *PhD Thesis Queen's University*, Canada.

Yılmaz M.C. vd., (2014). Load displacement behavior of concrete beam under monotonic static and low velocity impact load, *International Journal of Civil Engineering*, 12(4), 1-10.

Yu, T. X. vd., (2001). Deformable body impact: dynamic plastic behavior of a moving free-free beam striking the tip of a cantilever beam, *International Journal of Solids and Structures*, 38(2), 261-287.

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Murat ARAS
Doğum Yeri ve Tarihi : Pazaryeri, 20.02.1987

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Karadeniz Teknik Üniversitesi
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

İletişim

Adres :Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Gülümbe Kampüsü 11210 BİLECİK.

E-Posta Adresi : murat.aras@bilecik.edu.tr

Akademik Çalışmaları

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- ARAS MURAT, ÇALIŞKAN ÖZLEM (2020). An Analytical Approach Against Progressive Collapse After Explosion Rc Building. International Journal of Engineering Science Technologies, 4(4), 1-10. (Yayın No: 6430663)
- ARAS MURAT, ÇALIŞKAN ÖZLEM, KAYA TURĞUT (2018). Farklı Yüklemelere Maruz Kirişlerde Evrimsel Yapı Optimizasyonu ve Çubuk Analjisiyle Dizaynı. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7, 685-693., Doi: 10.28948/ngumuh.444713 (Yayın No: 4403368)
- ÇALIŞKAN ÖZLEM, ARAS MURAT (2017). Experimental investigation of behavior and failure modes of chemical anchorages bonded to concrete. Construction and Building Materials, 156, 362-375., Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.179 (Yayın No: 3632168)
- KAYA TURĞUT, ARAS MURAT, ÇALIŞKAN ÖZLEM (2017). The Effect of CFRP on Concrete Compressive and Bending Strength. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 1-9., Doi: 10.17780/ksujes.334160 (Yayın No: 3632034)
- YAYLI MUSTAFA ÖZGÜR, ARAS MURAT, SOYLU SÜLEYMAN (2014). An Efficient Analytical Method for Vibration Analysis of a Beam on Elastic Foundation with Elastically Restrained Ends. Shock and Vibration, 2014, 1-7., Doi: 10.1155/2014/159213 (Yayın No: 1916309)

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

- ARAS MURAT, ÇALIŞKAN ÖZLEM (2020). Yapılarda Patlama Etkisinin İncelenmesi. Betonarme Kirişlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Çarpma Analizi (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:6430669)
- ARAS MURAT, ÇALIŞKAN ÖZLEM (2020). Betonarme Kirişlerde Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Çarpma Analizi. Euro Asia 7th. International Congress on Applied Sciences (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No: 6430668)

Tarih: 26/10/2020