

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI BİLİM DALI**

**ÇİMENTO ESASLI DÖKÜM HARÇLARI İLE ÜRETİLEN BETON
PLAKLARIN DİNAMİK YÜKLER ALTINDA DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Murat BERBEROĞLU

**Danışman
Doç. Dr. Recep Tuğrul ERDEM**



**Murat
BERBEROĞLU**

**ÇİMENTO ESASLI DÖKÜM HARÇLARI İLE ÜRETİLEN BETON PLAKLARIN DİNAMİK
YÜKLER ALTINDA DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

2019

TEZ ONAYI

Murat BERBEROĞLU tarafından hazırlanan "**Çimento Esaslı Döküm Harçları ile Üretilen Beton Plakların Dinamik Yükler Altında Deneysel Olarak İncelenmesi**" adlı tez çalışması 17/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Doç. Dr. Recep Tuğrul ERDEM**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Engin GÜCÜYEN**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Gökhan ŞAKAR**
Dokuz Eylül Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Murat BERBEROĞLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLO DİZİNİ	VIII
TEŞEKKÜR.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT	XI
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgi	1
1.2. Tezin Amacı	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. 3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEÇHİZATLAR.....	22
3.1. İvmeölçer.....	22
3.1.1. Kapasitif İvmeölçer	23
3.1.2. Piezoelektrik İvmeölçer.....	23
3.1.3. ICP 350B03 Model İvmeölçer	23
3.2. Kuvvet Algılayıcısı.....	25
3.2.1. ICP 202B Model Kuvvet Algılayıcısı	26
3.3. Optik Fotosel	27
3.4. Yer Değişimi Algılayıcısı (Lvdt)	29
3.5. Serbest Ağırlık Düşürücü Deney Aleti.....	30
3.6. İvme ve Kuvvet Değerleri İçin Kullanılan Veri Toplayıcı.....	34
3.7. Lvdt İçin Kullanılan Veri Toplayıcı	35
3.8. Bağlantı Kabloları	37
4. DENEY HAZIRLIK AŞAMASI	39
4.1. Deney Numuneleri İçin Gerekli Malzemeler	39
4.1.1. Plywood Kalıp Malzemesi.....	40
4.1.2. Grout Harçları.....	40
4.1.3. Su	42
5. DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİLMESİ.....	43
5.1. Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi	45
5.1.1. S1, S2 ve S3 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi.....	45
5.1.2. S4, S5 ve S6 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi.....	47
5.1.3. S7, S8 ve S9 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi.....	48
6. ÇARPMA DENEYLERİ	53
6.1. S1 Deney Numunesi	53
6.2. S2 Deney Numunesi	60
6.3. S3 Deney Numunesi	67
6.4. S4 Deney Numunesi	74
6.5. S5 Deney Numunesi	81
6.6. S6 Deney Numunesi	88
6.7. S7 Deney Numunesi	95
6.8. S8 Deney Numunesi	102
6.9. S9 Deney Numunesi	109

7. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	116
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	130



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: İvme
Ad	: Adet
AWG	: Amerikan kablolama ölçütü
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
dB	: Desibel
dm	: Desimetre
Dk	: Dakika
F	: Kuvvet
f_{cd}	: Beton hesap basınç dayanımı
FS	: Akışmetrelerin doğruluk değeri
g	: Yerçekimi ivmesi
gr	: Gram
h	: Serbest düşme yüksekliği
Hz	: Hertz
j	: Joule
kg	: Kilogram
kHz	: Kilohertz
kN	: Kilonewton
lt	: Litre
m	: Metre
M	: Kütle
mA	: Mili amper
MHz	: Megahertz
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
ms	: Milisaniye
mV	: Milivolt
N	: Newton
Ω	: Ohm
P	: Düğüm noktasına etkiyen dış kuvvet
pF	: Güç faktörü

pk	: Tepe genliği
ppm	: Milyonda bir parça
rms	: Ortalama karekök genliği
s	: Saniye
V	: Volt
VDC	: Volt, doğru akım
W	: Watt
$\mu\epsilon$: Microstrain
μm	: Mikro metre
μs	: Mikro saniye



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 ICP 350B03 model ivmeölçer.....	24
Şekil 3.2. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekans değerleri.....	25
Şekil 3.3. ICP 202B model kuvvet algılayıcısı	27
Şekil 3.4. Ağırlık düşürücü deney aletinde kullanılan yansımali optik fotoseller	28
Şekil 3.5. Yansımali optik fotosel.....	29
Şekil 3.6. Yer değişimi algılayıcısı (lvdt)	29
Şekil.3.7. Deney aleti ve ölçüm cihazlarının şematik olarak gösterilmesi.....	30
Şekil.3.8. Serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği.....	31
Şekil 3.9. Düzeneğe yerleştirilen deney numunesi	32
Şekil 3.10. Düzeneğe yerleştirilen deney numunesinin ön, yan ve üst görünüşü	32
Şekil 3.11. Çekiç	33
Şekil 3.12. Çekicinin şematik olarak gösterimi.....	33
Şekil 3.13. DEWE 43 A model veri toplayıcı.....	34
Şekil 3.14. TESTBOX2010 model veri toplayıcı	36
Şekil 3.15. PCB marka 002C30 model bağlantı kablosu.....	37
Şekil 4.1. Hazırlanan kalıplar	40
Şekil 5.1. Grout harçlarının hazırlanması	43
Şekil 5.2. Grout harçlarının kalıplara dökülmesi	43
Şekil 5.3. Harç dayanımını belirlemek için alınan örnekler.....	44
Şekil 5.4. Ortam koşullarındaki numuneler	45
Şekil 5.5. S1, S2 ve S3 deney numunelerine ait küp numuneler	46
Şekil 5.6. S1, S2 ve S3 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi.....	46
Şekil 5.7. S4, S5 ve S6 deney numunelerine ait küp numuneler	47
Şekil 5.8. S4, S5 ve S6 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi.....	48
Şekil 5.9. S7, S8 ve S9 deney numunelerine ait küp numuneler	49
Şekil 5.10. S7, S8 ve S9 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi.....	49
Şekil 5.11. Deney numunesi üzerindeki ölçüm cihazları.....	50
Şekil 5.12. Deney numunesi üzerinde açılan delikler	51
Şekil 5.13. Sentetik beyaz boya ile boyanmış deney numuneleri	51
Şekil 5.14. Deney numunelerinin üzerine sabitlenen vidalar.....	52
Şekil 6.1. S1 deney numunesi	53
Şekil 6.2. S1 deney numunesinde oluşan çatlaklar	54
Şekil 6.3. S1 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	54
Şekil 6.4. S1 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	55
Şekil 6.5. S1 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	56
Şekil 6.6. S1 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	56
Şekil 6.7. S1 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	57
Şekil 6.8. S1 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği ..	57
Şekil 6.9. S1 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	58
Şekil 6.10. S1 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	58
Şekil 6.11. S1 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	59
Şekil 6.12. S1 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	59
Şekil 6.13. S2 deney numunesi	60
Şekil 6.14. S2 deney numunesinde oluşan çatlaklar	61
Şekil 6.15. S2 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	61
Şekil 6.16. S2 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	62
Şekil 6.17. S2 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	63

Şekil 6.18. S2 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	63
Şekil 6.19. S2 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	64
Şekil 6.20. S2 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	64
Şekil 6.21. S2 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	65
Şekil 6.22. S2 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	65
Şekil 6.23. S2 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	66
Şekil 6.24. S2 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	66
Şekil 6.25. S3 deney numunesi	67
Şekil 6.26. S3 deney numunesinde oluşan çatlaklar	68
Şekil 6.27. S3 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	68
Şekil 6.28. S3 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	69
Şekil 6.29. S3 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	70
Şekil 6.30. S3 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	70
Şekil 6.31. S3 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	71
Şekil 6.32. S3 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	71
Şekil 6.33. S3 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	72
Şekil 6.34. S3 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	72
Şekil 6.35. S3 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	73
Şekil 6.36. S3 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	73
Şekil 6.37. S4 deney numunesi	74
Şekil 6.38. S4 deney numunesinde oluşan çatlaklar	75
Şekil 6.39. S4 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	75
Şekil 6.40. S4 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	76
Şekil 6.41. S4 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	77
Şekil 6.42. S4 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	77
Şekil 6.43. S4 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	78
Şekil 6.44. S4 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	78
Şekil 6.45. S4 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	79
Şekil 6.46. S4 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	79
Şekil 6.47. S4 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	80
Şekil 6.48. S4 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	80
Şekil 6.49. S5 deney numunesi	81
Şekil 6.50. S5 deney numunesinde oluşan çatlaklar	82
Şekil 6.51. S5 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	82
Şekil 6.52. S5 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	83
Şekil 6.53. S5 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	84
Şekil 6.54. S5 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	84
Şekil 6.55. S5 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	85
Şekil 6.56. S5 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	85
Şekil 6.57. S5 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	86
Şekil 6.58. S5 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	86
Şekil 6.59. S5 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	87
Şekil 6.60. S5 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	87
Şekil 6.61. S6 deney numunesi	88
Şekil 6.62. S6 deney numunesinde oluşan çatlaklar	89
Şekil 6.63. S6 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	89
Şekil 6.64. S6 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	90
Şekil 6.65. S6 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	91
Şekil 6.66. S6 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	91
Şekil 6.67. S6 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	92

Şekil 6.68. S6 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	92
Şekil 6.69. S6 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	93
Şekil 6.70. S6 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	93
Şekil 6.71. S6 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	94
Şekil 6.72. S6 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	94
Şekil 6.73. S7 deney numunesi	95
Şekil 6.74. S7 deney numunesinde oluşan çatlaklar	96
Şekil 6.75. S7 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	96
Şekil 6.76. S7 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	97
Şekil 6.77. S7 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	98
Şekil 6.78. S7 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	98
Şekil 6.79. S7 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	99
Şekil 6.80. S7 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	99
Şekil 6.81. S7 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	100
Şekil 6.82. S7 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	100
Şekil 6.83. S7 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	101
Şekil 6.84. S7 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	101
Şekil 6.85. S8 deney numunesi	102
Şekil 6.86. S8 deney numunesinde oluşan çatlaklar	103
Şekil 6.87. S8 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	103
Şekil 6.88. S8 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	104
Şekil 6.89. S8 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	105
Şekil 6.90. S8 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	105
Şekil 6.91. S8 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	106
Şekil 6.92. S8 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	106
Şekil 6.93. S8 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	107
Şekil 6.94. S8 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	107
Şekil 6.95. S8 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	108
Şekil 6.96. S8 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	108
Şekil 6.97. S9 deney numunesi	109
Şekil 6.98. S9 deney numunesinde oluşan çatlaklar	110
Şekil 6.99. S9 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu	110
Şekil 6.100. S9 deney numunesinin deney sonrası görünüşü	111
Şekil 6.101. S9 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği.....	112
Şekil 6.102. S9 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği.....	112
Şekil 6.103. S9 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği	113
Şekil 6.104. S9 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	113
Şekil 6.105. S9 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği	114
Şekil 6.106. S9 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği	114
Şekil 6.107. S9 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği	115
Şekil 6.108. S9 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği	115
Şekil 7.1. İlk düşme hareketi için ivme değerleri.....	118
Şekil 7.2. Göçme durumu için ivme değerleri	119
Şekil 7.3. İlk düşme hareketi için dayanım gruplarında oluşan ivme değerleri..	119
Şekil 7.4. Göçme durumu için dayanım gruplarında oluşan ivme değerleri.....	120
Şekil 7.5. Deney numunelerinde oluşan deplasman değerleri	120
Şekil 7.6. Dayanım gruplarına göre deplasman değerleri	121
Şekil 7.7. Deney numunelerinde oluşan çarpma kuvveti değerleri.....	121
Şekil 7.8. Dayanım gruplarına göre çarpma kuvveti değerleri	122

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. ICP 350B03 model ivmeölçer özellikleri	24
Tablo 3.2. ICP 202B model kuvvet algılayıcısı özellikleri.....	27
Tablo 3.3. DEWE-43 A model veri toplayıcı özellikleri	34
Tablo 3.4. TESTBOX2010-ATT model veri toplayıcı özellikleri.....	36
Tablo 3.5 PCB marka 002C30 model bağlantı kablosu özellikleri.....	38
Tablo 4.1. Deney numunelerinin özellikleri	39
Tablo 4.2. Pere grout markasına ait grout harcının özellikleri.....	41
Tablo 4.3. Sika-212 markasına ait grout harcının özellikleri.....	41
Tablo 4.4. MasterFlow® 4800 markasına ait grout harcının özellikleri	42
Tablo 5.1. S1, S2, S3 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları ...	47
Tablo 5.2. S4, S5, S6 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları ...	48
Tablo 5.3. S7, S8, S9 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları ...	50
Tablo 6.1. S1 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	55
Tablo 6.2. S2 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	62
Tablo 6.3. S3 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	69
Tablo 6.4. S4 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	76
Tablo 6.5. S5 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	83
Tablo 6.6. S6 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	90
Tablo 6.7. S7 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	97
Tablo 6.8. S8 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	104
Tablo 6.9. S9 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri.....	111
Tablo 7.1. Deney numunesinde oluşan ivme değerleri	116
Tablo 7.2. Deney numunelerinde oluşan deplasman değerleri	117
Tablo 7.3. Deney numunelerinde oluşan çarpma kuvveti değerleri.....	117
Tablo 7.4. Numunelerde oluşan hasar adetleri ve düşme süreleri.....	118

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Recep Tuğrul ERDEM'e, bilgi ve tecrübesi ile desteğini eksik etmeyen hocalarım Doç. Dr. Engin GÜCÜYEN'e ve Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR'a, teőekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme, yürekten teşekkür ederim.

Murat BERBEROĞLU
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çimento esaslı döküm harçları ile üretilen beton plakların dinamik yükler altında deneysel olarak incelenmesi

Murat BERBEROĞLU

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Recep Tuğrul ERDEM

Günümüzde kullanılan yapı elemanlarının, dayanıklılığını test edebilecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında, çarpma etkisine karşı verilen tepkiler de yer almaktadır. Çarpma etkisinin incelenme nedeni, çeşitli sorunlar sebebiyle ortaya çıkmıştır. Bu sorunlardan bazıları, deprem, rüzgar, heyelan, araç kazası ve terör saldırısı gibi olaylardan oluşmaktadır. Günümüz koşullarında sürekli tekrarlayan bu olaylar nedeniyle, çarpma etkisini araştırma ihtiyacı meydana gelmiştir. Çarpma deneyleri, çeşitli malzemeler ve nesnelere üzerinde farklı yöntemler ile uygulanmaktadır. Yapılan tez çalışmasında, çarpma yüklemesinin, çimento esaslı döküm harçları ya da bir diğer adıyla grout harçları ile hazırlanan beton plaklar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada, boyutları 500x500x50 mm olan, 9 adet beton plak numunesi üretilmiştir. Deney numuneleri, farklı dayanım değerlerini sağlayacak şekilde hazırlanmış ve çarpma deneyleri için tasarlanan serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğinde, çarpma yüklemesi altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada, çelik malzemeden üretilen çekiç kütlesi 4,125 kg, serbest düşme yüksekliği ise 600 mm olarak alınmıştır. Çarpma etkisi altında bulunan deney numunelerinin, verdikleri tepkileri ölçebilmek için, ivmeölçer, kuvvet algılayıcısı, yer değişimi algılayıcısı, veri toplayıcı, bağlantı kabloları ve bilgisayar deneylerde kullanılmıştır. Çarpma yüklemesini üniform olarak deney numuneleri üzerine yaymak için, çarpma noktasında kauçuk malzeme ve çelik plak kullanılmıştır. Serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğinde bulunan optik fotoseller yardımıyla, her bir düşme hareketi için çekicinin yaptığı düşme süreleri belirlenmiştir. Ölçüm cihazları ile belirlenen değerleri kullanarak, deney numunelerinde oluşan ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak, deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerler incelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Beton plak, çarpma yüklemesi, çimento esaslı harçlar, serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği

2019, 130 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Experimental investigation of concrete slabs produced with cement based mortars under dynamic loads

Murat BERBEROĞLU

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep Tuğrul ERDEM

Many methods have been developed to test the strength of structural members at the present time. Reactions to impact effect take part among these methods. Reason of the investigation of impact effect comes forward due to several issues. Some of these issues consist of earthquake, wind, landslide, vehicle accident and terrorist attack incidents. Investigation of impact effect is needed due to these repetitive incidents. Impact tests are applied on various materials and objects by taking different methods into consideration. In this thesis study, effect of impact loading on concrete slabs which are prepared by cement based mortars in other words grout mortars is investigated. In the experimental study, 9 concrete slab specimens whose sizes are 500x500x50 mm are produced. Test specimens are prepared to provide different strength values and tested under impact loading by using the drop weight test setup which is developed for impact tests. While mass of the hammer that is produced by steel material is 4,125 kg, drop height is taken as 600 mm in the experimental study. Accelerometer, force sensor, lvdt, data-logger, connection cables and computer are used during tests to measure the reactions of test specimens under impact effect. Rubber material and steel plate are used at impact point to uniformly distribute the impact loading on test specimens. Drop periods of steel hammer are determined by the help of optic photocells in the test setup for each drop movement. Acceleration-time, displacement-time, impact force-time and impact force-displacement graphs of test specimens are constituted by using the values which are determined by measurement devices. Finally, obtained values after experimental study are investigated and suggestions are proposed.

Keywords: Concrete slab, impact loading, cement based mortars, drop weight test setup

2019, 130 pages

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Beton; su, agrega ve çimentonun belirli oranlarda karıştırılarak, başlangıçta akışkan ve plastik kıvamda olan, çimentonun hidrasyonu ile katılaştıran bir yapı malzemesidir. Yapı projelerinde, kullanımı oldukça yaygın olan betonun, zamanla dayanımını artırmak ve ekonomik ömrünü uzatmak için çeşitli katkı maddeleri üretilmiştir. İlerleyen dönemlerde, yapısal elemanlarda çelik donatı kullanılarak betonarme yapılar elde edilmiştir. Yeni yapılan her yapının, bir önceki evresine göre depreme daha dayanıklı olduğu görülmektedir. Yapıların temel oturumlarında uygulanan yeni yöntemlerin, rijitlik katsayılarındaki değişimlerle deprem sönümleme olasılıklarının daha yüksek oldukları görülmektedir.

Yapı malzemelerinin geliştirilmesi, yeni yapı malzemelerinin üretilmesi veya yapı malzemelerine ek katkı olacak şekilde destekleyen malzemelerin, gerekli deney aşamalarından geçerek kullanılması, güvenli yapı sistemlerini bizlere sunacağı gibi güvenli bir yaşama adım atılmasına da yardımcı olacaktır.

Günümüzde inşaat alanlarında kullanılan, dayanımı yüksek, ekonomik ömrü uzun ve ani kırılmalar karşısında elastik yapısını koruyan malzemelerin gelişimleri ve piyasaya katılım süreklilikleri hızla devam etmektedir. Yeni ve dayanımı yüksek olan malzemelerin, sürekli yoğun bir kullanım alanına sahip olan beton veya betonarme alanlarında olması da ekonomik ömür ile insanlığın yaşantısını olumlu yönde etkilemektedir. Bu tür malzemelerin, gelişim aşamasında girmesi gereken her türlü test ve deney aşamalarının, yenilikçi bir yapıya sahip olma ihtiyacı doğmaktadır.

Beton ve betonarme yapıların, ülkemizde sıklıkla tercih edilmesinden doğan ihtiyaçlara göre, yeni katkı maddeleri kullanılarak istenilen formatta bir gelişim oluşturulmaya çalışılmıştır. Katkı maddeleri, betonun içeriğinde bulunan su, agrega ve çimentonun dışında, hariçten bulunan organik veya inorganik maddeler olarak adlandırılmaktadır. Bu tür katkı maddelerinin kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Bu tür katkı malzemelerinden bazıları; deniz suyuna (sülfata) dayanımı artırmak için kullanılan katkılar, hızlı priz almayı sağlayan katkılar, priz geciktirici katkılar, püskürtme beton katkıları, akışkanlığı artıran katkılar, dayanımı artıran katkılar, vb. bir takım katkı maddeleri kullanılmış ve kullanılmaya da devam edilmektedir.

Mevcut yapılar göz önüne alındığında, kentsel dönüşümün hızlı bir etki alanı oluşturması ile eski ve aynı zamanda dayanımı düşük olan yapıların değişiminin, hızlı ve güvenilir bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Fakat kentsel dönüşümle sorunların tamamının ortadan kalkmadığı görülmektedir. Tarihi binaların, riskli binaların, onarım ve güçlendirme işlemlerinde, geniş açıklıklı köprülerin ayaklarının saplandığı bölgelerde, rüzgar türbinlerinin temellerinde kullanılmak üzere dayanımı yüksek, gerek enjeksiyon ve dış kaplamada, gerekse de temelde oluşacak olan titreşime bağlı deformasyonları engellemek amacıyla, grout harçlarının kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır.

Grout harcı; yüksek mukavemet gerektiren, dinamik etkilere maruz kalmakta olan, temel soketleri, çelik yapılar, çelik kolonların temele sabitleme aşamasında, perde ve kolon başlıklarında ve bu tür risk taşıyan imalatlarda kullanılan çimento esaslı, yüksek dayanımlı, akıcı, geçirimsiz ve büzülme yapmayan yapı malzemeleri olarak tanımlanmaktadır.

Grout harçlarının oluşum formatlarında bulunan katkı maddeleri sayesinde, dayanım değerlerinin çok yüksek değerlere çıkması ve priz sürelerinin kısa zamanlı olması, kritik ve hızlı kullanım gerektiren alanlarda, büyük oranda rahatlık sağlamaktadır. Bu nedenle, grout harçlarının kritik alanlardaki kullanma yaygınlığından doğan negatif etkileri ve grout harçlarının kullanım sonrası gevrekliği ile yüzeyde oluşacak olan ani çarpma etkilerini gözlemleyebilmek için, grout harçları kullanılarak üretilen deney numuneleri üzerinde, çarpma deneyleri uygulanmıştır. Böylelikle, deney numunelerinin çarpma etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

Çarpma etkisi, çarpışmaya maruz kalan nesnelere arasında oluşan ve dinamik etkiler sonucunda ortaya çıkan gerilmelerin, nesnelere üzerinde oluşturduğu mekanik özelliklerdeki değişimler olarak tanımlanmaktadır. Çarpma etkisinin araştırılma amacı, günümüzde yaşanan trafik kazaları, ani rüzgarlar, deprem etkileri, terör olayları, mermi veya füze çarpması ve bunlara benzer olaylar karşısında, farklı malzemeler ile üretilen yapısal elemanların verdiği tepkiyi belirleyebilmek ve bu tür olayların yapılarda oluşturabileceği hasarların minimum düzeyde kalmasını sağlayabilmektir. Çarpma etkisini belirlemek için, farklı tip ve çalışma prensibine sahip deney aletleri üretilmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan serbest ağırlık

düşürücü deney aleti, farklı düşme yüksekliği ve çekiç kütlesine olanak sağlamaktadır. Böylece, farklı çarpma enerjileri altında, numunelerin verdikleri tepkiler belirlenebilmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Çarpma deneyleri, farklı birçok malzeme üzerinde uygulanmış ve uygulanmaya devam etmektedir. Literatür araştırması sonucunda, grout harcı ile hazırlanmış deney numuneleri üzerinde, çarpma deneyleri ile ilgili yeterli sayıda çalışma bulunamamıştır. Bu çalışma kapsamında, çimento esaslı grout harçları kullanılarak üretilen beton plak numuneleri, çarpma yüklemesi altında test edilmiştir. Deneysel çalışma boyunca, ölçüm cihazları kullanılarak numunelerde oluşan etkiler kayıt altına alınmıştır. Tez çalışmasının amacı doğrultusunda üretilen deney numunelerinde, oluşan çatlak hasar gelişimleri takip edilmiştir.

Deneysel çalışmada üretilen plak numuneleri, 500x500x50 mm boyutlarındadır. Toplam 9 adet deney numunesi 3 farklı dayanım sınıfını sağlayan grout harçları ile üretilmiştir. Deney numuneleri, serbest ağırlık düşürücü deney aleti ve ölçüm cihazları ile oluşturulan deney düzeneğinde, çarpma yüklemesi altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada uygulanan serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesine, yapılan ön deneyler sonucunda karar verilmiştir. Tüm deney numuneleri için serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi sabit alınmıştır.

Yürütülen çarpma deneylerinde, çekiç kütlesi 4,125 kg ve çekiç yüksekliği 600 mm olarak alınmıştır. Tüm deney numunelerine sabit bir çarpma enerjisi uygulanmıştır. Deneyler sırasında oluşan deformasyonlar ve hasar durumları gözlemlenerek, kayıt altına alınmıştır. Ölçüm aletleri olarak, ivme değerlerinin ölçümünde piezoelektrik ivmeölçerler, çarpma kuvveti değerlerinin ölçümünde kuvvet algılayıcısı, düşme zamanlarının ölçümünde optik fotoseller kullanılmış ve zaman değerleri milisaniye hassasiyetinde kayıt altına alınmıştır. Deney numunelerinin alt yüzeylerine sabitlenen alüminyum çubuk yardımıyla, yer değişimi algılayıcısı (lvdt) bağlanarak, serbest düşme hareketi yapan düşey vurucu çekicinin uyguladığı çarpma yüklemesi ile oluşan deplasman değerlerinin ölçülmesi sağlanmıştır. Deney numunelerinden ölçülen değerler kullanılarak, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca, deney numunelerinde oluşan çatlak ve hasar gelişimleri deneysel çalışma

boyunca izlenmiştir. Numunelerde göçme hasar durumu oluşana kadar, çarpma deneylerine devam edilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Teknolojide yaşanan gelişmeler sonucunda, çeşitli malzemelerin çarpma etkisine karşı verdikleri tepkinin belirlenmesi, giderek artan ve ilgi çeken bir araştırma konusu olmuştur. Uzun süre metaller üzerinde başlayıp devam eden çarpma deneyleri, son yıllarda geniş bir kullanım alanına sahip olan beton ve betonarme yapı elemanlarında yürütülmüş ve bu konuda bilimsel araştırmalar hız kazanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile deney numunelerinin farklı yerlerinden ölçümler yapılarak, çarpma dirençleri belirlenmektedir. Ölçüm sonuçlarına göre oluşturulan grafiklerle, deney numunelerinin çarpma yüklemesi altındaki davranışı hakkında fikir sahibi olunmaktadır.

Arros ve Doumbalski (2007) çalışmalarında, 48.14x35.96x29.87 m boyutlarında bir yapı modelleyerek, nükleer santral binalarına uçak çarpmasının nasıl sonuçlar doğuracağını görebilmek için LS-DYNA adlı sonlu elemanlar programının yardımıyla çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmacılar, 11 Eylül 2001 tarihinde Dünya Ticaret Merkezine yapılan uçaklı saldırıdan sonra, bazı stratejik noktaların da aynı durumla karşılaşabileceği hissiyatını uyandırarak, herhangi bir nükleer santrale yapılacak bir saldırıda yapı tepkisinin nasıl olabileceğini araştırmışlardır. Bu çalışmada, Boeing 747-400 tipi bir uçak seçilmiş ve analizi yapmak için alınan yüklerde Riera Force History metodu kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda ise; gelişmiş bilgisayar sistemleri ve sonlu eleman programları yardımıyla uçak çarpması gibi dinamik problemlerin modellenmesi ve analizleri günümüzde uygun işlem sürelerinde gerçekleştirilebileceği, hedef yapıya model uçağın çarpması modellenmesi ile Riera Force Time History metodunda yapının yüksek frekans içeriği ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Rijitlik artışı ile bağlantılı betondaki çatlaklar ile meydana gelen süreksizliklerin, yüksek frekanslara ulaşılmasına sebep olduğu, modelleme açısından daha gerçekçi olan, lineer olmayan model davranışı daha iyi yansıtmaktadır. Fakat bu model çözüm açısından zaman gereksinimini artırmaktadır.[1]

Breen ve diğerleri (2005) çalışmalarında, çarpma hızının önemini araştırmak için uçakların kanatlarında kullanılan 24 mm kalınlığında karbon lif kullanarak güçlendirme işlemi yapılmış olan malzemeyi çarpma etkisine maruz bırakmışlardır. Çalışmalarında, sonlu eleman çözümlerinde hız değişimiyle birlikte modellenen malzemenin gerilme yoğunluğunun değişimini incelemişlerdir. Çalışmada, 8 mm

kalınlığındaki, 200 ve 500 mm yarıçap değerlerine sahip olan malzemeler kullanılmıştır. Darbe etkisinin hızları 2 ila 14 m/s arasında değişmekte olup, çekiç tipi olarak 25 mm çapında rijit küresel bir kütle seçilmiştir. Çarpma hızının etkisini gözlemek için, serbest ağırlık düşürücü deney aleti kurulmuştur. Sonuç olarak; oluşan maksimum gerilme ve deformasyonun, çarpma hızına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, çarpma hızının etkisiyle değişen çekme dayanımının, gerilme yığılma etkisine ve içsel rijitliğe bağlı olduğu belirtilmiştir.[2]

Delhomme ve diğerleri (2005) çalışmalarında, doğal toprak kaymaları veya kaya parçalarının koparak betonarme zemine ani düşme yapması sonucu verebileceği hasarı görebilmek için deneyler yapmışlardır. Deney malzemesi olarak C30 beton dayanım sınıfında, 12 m uzunluğunda 4,8 m genişliğinde ve 28 cm kalınlığında bir döşeme seçmişlerdir. Üretilen döşemeyi desteklemek maksadıyla 22 adet metal ayak ile sabitleme işlemi yapılmıştır. Yapılan metal ayakların boyutları, 100 mm yüksekliğinde, 70 mm çapında ve 2,9 mm kalınlığında seçilmiştir. Düşme yapılacak olan serbest ağırlık düşürücü deney aletindeki çekiç kütle 450 kg olarak alınmış, serbest düşme yüksekliği ise 15 ve 30 m olmak üzere iki farklı yükseklik seçilmiştir. Deney sonucunda, düşük enerjili çarpışmalarda çarpma enerjisinin sönmülenebildiğinin, yüksek enerjili çarpışmalarda ise kalıcı hasarların oluştuğu görülmüştür. Döşemelerin zımbalama ve eğilme modlarında da hasar görüldüğü tespit edilmiştir.[3]

Go'mez-del Rı'ó ve diğerleri (2005) çalışmalarında, 24 mm kalınlığında karbon lifle güçlendirilmiş panelleri düşük sıcaklık ve düşük hız altında incelemişlerdir. Deneylerin yapıldığı sıcaklık değerleri -150 ile 20 °C arasında değişmektedir. Deney aşamasında oluşan çatlak veya deformasyonlar mikroskop yardımıyla gözlemlenmiştir. Serbest düşme hareketi yapan malzemenin çapı 20 mm, kütle 3,65 kg'dır. Deneysel çalışma tamamlandığında, artan çarpma enerjisiyle birlikte, düşük hızlı çarpmaların panellerde hasar oranını artırdığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, yarı izotrop panellerde sıcaklık farkı 20 °C' den -150 °C'ye düşürüldüğünde eřik enerjisi miktarının yarı yarıya düştüğü, liflerin geometrilerinin ve yığımsal özelliklerinin, sıcaklığın fazla olduğu durumlarda, güçlendirilmiş paneller üzerinde büyük rol oynadıkları gözlemlenmiştir. Elemanların deney öncesinde soğutulması, daha geniş ve derin çentiklerin oluşturduğunu göstermiştir. [4]

Nataraja ve diğerkleri (1999) çalışmalarında, ağırlık düşürücü test aletleriyle çalışmalar yaparak, deney sonuçlarını istatistiksel veriler haline dönüştürmüşlerdir. Deneyde güçlendirilmiş beton ve normal beton olarak iki farklı grupta numuneler hazırlanmıştır. Beton üretiminde portland çimento kullanılmış ve 1 m³ beton için karışım oranını; çimento, ince kum, kaba agrega malzemelerinden sırasıyla 397 kg, 562 kg, 1152 kg olarak belirlemişlerdir. Su/çimento oranları sabit tutularak, 0,49 alınmıştır. Güçlendirilmiş betonda ise 0,5 mm çapında ve kırılma dayanımları 550 MPa olan çelik lifler ilave olarak kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı ve normal dayanımlı olarak üretilen betonların ortalama dayanımları 36 MPa ve 29,4 MPa olarak bulunmuştur. Deney sonucunda, çelik liflerle güçlendirilmiş olan numunelerin, normal beton numunelerine oranla enerji yutma kapasiteleri ve çatlak oluşumuna karşı dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir.[5]

Yankelevsky (1997) çalışmasında, beton döşemelerde mermi çarpması sonucu oluşan dinamik tepkileri, bir model yardımıyla incelemiştir. Merminin modele çarpmasını, modele nüfuz etmesini ve modeli delip geçmesini sırasıyla modellemiştir. Merminin oluşturduğu, delme çapı, delme derinliği ve oluşan çatlak gelişimi örnek modellerle incelenmiştir. Oluşturulan modeller yardımıyla mevcut ampirik formüllerin birbirleriyle örtüşmediğini ve fiziksel, mekanik parametrelerle ilgili olmadıklarını belirtmiştir. Geliştirilen iki aşamalı modelde, belirli bir hedefe girişin ve delip geçme olayının bu iki aşamalı model yardımıyla tahmini sağlanmaktadır. Geliştirilen model, ampirik formüller ve yapılan testlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmış olup, modelin delik açma kalınlığını, merminin hasar verdiği yüzeydeki oyuk şeklini ve merminin modelden ayrıldıktan sonra kalan mermi enerjisinin büyüklüğünü tahmin edebilmektedir.[6]

Elavenil ve Samuel Knight (2012) çalışmalarında, güçlendirici liflerle oluşturdukları farklı kalınlıklardaki döşemelerde çarpma etkisinin sonuçlarını gözlemlenmişlerdir. Döşeme boyutları, bütün numunelerde sabit tutulmuş ve 600x600 mm olarak belirlenmiştir. Döşeme kalınlıkları ise sırasıyla 20, 25 ve 30 mm'dir. Çarpma deneyinde kullanılan vurucu kütlesi 4,5 kg seçilmiş olup, düşme yüksekliği sabit olarak 750 mm seçilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak kullanılan çelik lifler 0,7 mm kalınlığında ve %0,50, %0,75 ve %1,00 oranlarında döşemelerde kullanılmışlardır. Liflerin boyları ise 35, 52,5 ve 70 mm olarak döşemelerde

kullanılmıştır. İvme-zaman, deplasman-zaman ve hız-zaman grafiklerinden elde edilen sonuçlara göre; maksimum deplasmanlar, 20 mm kalınlıktaki döşemede yaklaşık olarak 50 mm, 25 mm kalınlığa sahip döşemede yaklaşık olarak 40 mm ve 30 mm kalınlığa sahip döşemede ise deplasman yaklaşık olarak 35 mm bulunmuştur. Sonuç olarak; liflerin oranı ve uzunlukları arttıkça, numunelerin çarpma dirençlerinin arttığı görülmüştür.[7]

Korotkov ve diğerleri (2004) çalışmalarında, boyutları 4,74x3,05x1,5 m olan betonarme bir taban elemanında, 1285 kg ağırlığındaki düşey vurucuyla oluşan hasarı araştırmışlardır. Araştırmalarının temel sebepleri nükleer santrallerin taban numunelerinde oluşacak ani dinamik yüklerin etkisini görmektir. Düşey vurucunun çapı 0,365 m, uzunluğu ise 4,94 m değerindedir. Düşme yüksekliği 6,29 m olarak alınmıştır. Oluşturulan sistemde betonarme elemanın 4 kenarı da ankastre mesnet olarak dizayn edilmiştir. Düşme hızı, $V=(2gh)^{1/2}$ formülü ile hesaplanarak, 11,1 m/s olarak sonuç vermiştir. Çalışma sonunda betonarme elemanın, zamanla değişen yüzey etkileşim kuvveti ile aktarılan tepki bulunmuştur.[8]

Murtiadi (1999) çalışmasında, boyutları 950x950x100 mm olan yüksek dayanıma sahip beton plakların, çarpma yükü altındaki davranışını araştırmıştır. Bu deney için, hem normal dayanıma sahip, hem de yüksek dayanıma sahip iki farklı grup altında hazırlanan beton plaklarının dayanımları, 35-80 MPa arasında değişmektedir. Düşey vurucu olarak kullanılan ve 220 kg kütle kapasitesine sahip çelik silindir, 304,5 mm çapındadır. Düşme yüksekliği ise 4 m'dir. Çelik silindirin ucuna 1 adet ivmeölçer monte edilmiş ve ivme değişimleri kayıt altına alınmıştır. Deney sonucunda, yük-deplasman eğrileri ve yutulan enerji değerleri belirlenmiştir. Çarpma deneyi uygulandıktan sonra bütün numunelerde kesme çatlakları oluşmuş ve çatlak açıları normal dayanımlı beton plaklarda 60°, yüksek dayanımlı betonlarda ise 65° olarak ölçülmüştür. Yüksek dayanıma sahip beton plakların enerji yutma kapasitesinin daha yüksek olduğu ve deney numunelerinde kritik hızlar arasındaki farkın ise %20-30 arasında değiştiği gözlemlenmiştir.[9]

Rambaud ve diğerleri (2003) çalışmalarında, 12x4,4x0,28 m boyutlarındaki betonarme döşemelerin, özellikle dağlık bölgelerde kaya düşmelerine maruz kalması durumunda, sonlu elemanlar modelini oluşturarak analiz etmişlerdir. Deneyde 450 kg'lık kütle farklı yüksekliklerden serbest düşmeye bırakılmış ve betonarme

döşemenin, ABAQUS programının Explicit modülü kullanılarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Beton dayanımı 30 MPa ve donatı çeliğinin akma dayanımı ise 500 MPa olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda, deneysel çalışmaların ve analizlerin iyi bir uyum gösterdiğine ulaşılmıştır. Döşemelerin altlarında oluşan hasar gelişimlerinin ve deformasyon şekillerinin birbirine benzediği gözlemlenmiştir. Oluşturulan modelin deneysel çalışmayla gösterdiği uyum dikkate alınarak, aynı tür elemanların tasarımında da kullanılabilceği belirtilmiştir.[10]

Tai ve Tang (2006) çalışmalarında, daha önce Hanchak ve arkadaşları tarafından bir deneyde kullanılan, 610x610x178 boyutlarındaki betonarme plaklara ait verileri kullanmışlardır. Betonarme plakların dayanımları 48 ve 140 MPa'dır. Bu değerleri kullanarak, plakların çarpma etkisindeki dinamik tepki ve göçme hareketlerini, sonlu elemanlar analizi ile araştırmışlardır. Plakların donatı dağılımları 3 sıra ve 5,69 mm çapında alınarak modellenmiştir. Vurucu özellikleri 143,7 mm uzunluğunda ve 25,4 mm çapında modellenerek mermi şekline benzetilmiştir. Vurucu hızları 381 m/s ile 1058 m/s arasında ve sonlu elemanlar modelinde oluşturulan ağ yapısı, 10500 ile 20000 nokta arasında oluşturulmuştur. Beton modeli olarak Johnson-Holmquist beton modeli kullanılmıştır. Deney sonucunda, yapılan simülasyonların göçme modlarını doğru olarak tanımladığı ve deneysel sonuçlarla uyumlu sonuçların elde edildiği görülmüştür. Ayrıca betonarme elemanların, vurucu hızına bağlı olarak göçme davranışlarının değiştiği belirtilmiştir.[11]

Zineddin ve Krauthammer (2007) çalışmalarında, 152x152 mm boyutlarında plakları, farklı yöntemlerle güçlendirerek çarpma deneyi uygulayıp, dinamik tepkileri ve davranışları incelemişlerdir. Düşey vurucunun kütlesi 2608 kg'dır. Düşme yükseklikleri farklılık göstererek sırasıyla, 152, 305 ve 610 mm olarak seçilmiştir. Plaklarda güçlendirme malzemesi olarak kullanılan çelik hasırlar, betonun 25 mm altına veya plağın tam ortasına yerleştirilerek, deney elemanları üretilmiştir. Deneyler sonucunda, düşme yüksekliğinin artış göstermesi, plakların enerji yutma kapasitesini düşürerek, sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru mod değiştirdiklerini göstermiştir. Yüksekliğin artış göstermesi, plaklarda zımbalama ve kesme etkisini aşırı yüksek değerlere taşımakta ve döşemeler zımbalama problemi ile göçmektedirler. Düşük yüklemeler için sünek kırılması beklenen plakların, belirli çarpma yükleri

altında da gevrek olarak göçtükleri görülmüş ve çelik hasırların yerleşim biçimine göre göçme durumunda değişiklikler gözlemlenmiştir.[12]

Erdem (2014) çalışmasında, 700x700x100 mm ölçülerinde betonarme bir levha üzerinde çarpma etkisinin etkilerini araştırmıştır. Deneyin amacı çarpma deneyinin sonuçları ile yapay sinir ağı analizinin sonuçlarının tutarlılık derecesini karşılaştırmaktır. Yapılan deney sonucunda, 150 mm ve 250 mm mesafede ölçülen ivme ve çarpma kuvveti değerlerinin, yapay sinir ağı analizi ile elde edilen değerlere yakın olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma sayesinde, çarpma etkisine maruz kalan deney numunelerinin vereceği tepkilerin, tahmin edilebilmesi söz konusu olmuştur.[13]

Anıl ve diğerleri (2015) çalışmalarında, 500x500x50 mm boyutlarında 8 adet betonarme döşeme üzerinde, farklı mesnet koşulları için çarpma deneyleri uygulamıştır. Çarpma etkisine maruz kalan betonarme döşemelere uygulanan çekiç kütlesi ve serbest düşme yüksekliği, deneysel çalışma boyunca sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda, farklı mesnet koşullarının, çarpma yüklemesi etkisindeki betonarme döşemelerin davranışı hakkında önemli etkisinin olduğu görülmüştür. Döşemelerin, mesnet rijitlikleri arttıkça, ölçülen ivme değerlerinde düşüş ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yapılan düşme sayısı arttıkça, ivme değerleri azalmakta, deplasman sonuçları artmaktadır. Çalışmanın nümerik kısmında, ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Deney ve analiz sonuçlarına ait değerler, oluşturulan grafikler ve tablolarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, deneyler sonucunda elde edilen değerlerin, analiz sonuçları ile tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.[14]

Arslan (1995) çalışmasında, üzerinde 85 mm çentik bulunan 150x150x15 mm boyutlarındaki numuneleri kullanmıştır. Numunelerin, normal beton ve liflerle güçlendirilmiş beton olarak iki ayrı grup altında oluşturulduğu belirtilmiştir. Liflerle güçlendirilmiş beton numuneleri de çelik lifli ve polipropilen lifli olarak ayrı bir grup altına alınmıştır. Çelik liflerle güçlendirilmiş beton numunelerinde, çelik liflerin numune toplam ağırlığına oranları sırasıyla %1, %2 ve %3 olarak belirlenmiş bulunmaktadır. Polipropilen lif katkılı numunelerin, toplam beton elemanına ağırlık oranı ise, %0,1, %0,2 ve %0,3 olarak belirlenmiştir. Normal beton numune içerisinde bulunan oranlar ise çimento (1 kg), kum (1,8 kg) ve iri agrega (2,8 kg) alınmış olup, çalışmanın her aşamasında su/çimento oranınının 0,45 olarak sabit tutulduğu görülmüştür. Her bir seri için ayrı olarak 12 adet numune hazırlanmış olup,

deneylerden önce kullanılmak üzere, 6 adet standart kontrol elemanı hazırlanmıştır. Numune betonları, kalıplara yerleştirildikten 24 saat sonra kür havuzunda bekletilmiş ve 28 günün ardından oda sıcaklığına alınmıştır. Deneysel çalışma boyunca, çekiç ağırlığı 5, 10, 20, 30 ve 40 N, maksimum düşme yüksekliği ise 2500 mm olarak alınmıştır. Sonuç olarak, iki ayrı çatlak paternlerinin geliştiği, bunlardan birinin kesmeye ve diğerinin de çekme kuvvetine bağlı olduğu, darbe altındaki kırılma enerjisinin normal betonlar için statik testlerdekenden 10 kat daha fazla olduğu, kırılma enerjisindeki artışın güçlendirilmiş betonda, normal betondan daha fazla olduğu, sonuçlarına ulaşılmıştır.[15]

Barr ve Baghli (1988) çalışmalarında, 27 adet 500x100x100 mm boyutlarında ve 18 adet 250x100x100 mm boyutlarında iki seri numune hazırlamışlardır. Numunelerde çelik lif kullanılmış ve mesnet açıklığı ilk seride 400 mm, ikinci seride ise 200 mm olarak alınmıştır. Deneysel çalışmada, numunelerin üzerine 20, 40 ve 60 mm derinliklerinde çentikler açılmıştır. Çekiç kütle değerleri 1, 2 ve 4 kg olarak seçilmiştir. Düşme yükseklikleri de 0,5, 1 ve 2 m olarak alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, deneysel sonuçların ortalama %15-20 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Kısmen tutarlı bir yaklaşımla çentikli numunelerin zayıf noktalarının yeri önceden belirlenebilmiştir. Lif oranının artması çarpma direncini artırmıştır. Büyük deney numunelerinde lif oranı %1 den %2'ye çıktığında, çarpma direncinde daha büyük artışlar görülmüştür. Küçük deney numunelerinde ise çarpma direnci artışının, daha düzenli olduğu gözlenmiştir.[16]

Barr ve Bouamrata (1988) çalışmalarında, ACI 544'ün önermiş olduğu test metotlarına göre, 4,5 kg (10 lb) ağırlığında çelik top kullanarak, 457 mm (18 in) düşme yüksekliğinde, 152 mm (6 in) çapında ve 63,4 mm (2,5 in) kalınlığında, güçlendirici liflerin değişim oranına göre hazırlanmış farklı numuneler içeren, bir serbest ağırlık düşürücü deney aleti kullanmışlardır. Her numunede 1 kg çimento, 1,8 kg kum ve 2,8 kg agrega kullanılmış olup, su/çimento oranı bütün numunelerde 0,5 olarak sabit tutulmuştur. Lif katkılarının, kullanıldıkları numunelerin ağırlıklarına oranları sırasıyla, 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 olarak alınmıştır. Deneyde kullanılan ağırlıklar 1 ile 4 kg aralığında değişmekte olup, 500x100x100 mm ebatlarında standart kirişler ve 100 mm boyutlu küp numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin üzerinde 10, 20 ve 30 mm olmak üzere üç farklı çentik açılmıştır. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten

sonra, çarpma deneyleri tamamlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, düşme yükseklik değeri arttıkça, göçme olayını meydana getiren düşme sayısı azalmıştır. Aynı zamanda açılan çentik boyutlarındaki artışın etkisi ile düşme sayısı azaltmıştır. Lif oranındaki artış ise, numunelerde oluşan kırılma enerjisini artırmıştır.[17]

Chakradhara ve diğerleri (2011) çalışmalarında, yıkılmış beton menfezlerden geri dönüştürülerek elde edilmiş agregalar kullanarak, ürettikleri kiriş numunelerin üzerinde çarpma deneylerini gerçekleştirmiştir. Kullanılan deney aletinde, çekicinin çapı 50 mm ve kütlesi 5 kg olarak seçilmiştir. Numune boyutları, 1,15x0,10x0,15 olarak seçilmiş ve hazırlanan numuneler içerisindeki geri dönüştürülmüş agrega oranları sırasıyla %0, %25, %50 ve %100 olarak kullanılmıştır. Numunelerde oluşan göçme hasar durumu, 15-17 arasındaki düşmelerde oluşmuştur. Deney sonucunda, geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen betonların, işlenebilirliğinin azaldığı görülmüştür. Geri dönüştürülmüş agrega oranının, beton içinde gösterdiği artışa göre, betonun basınç ve çekme dayanımları ile elastisite modülünün de düştüğü ve maksimum deplasman oranının arttığı gözlemlenmiştir.[18]

Erdem (2013) çalışmasında, boyutları 100x100x710 mm ve 200x200x710 mm arasında değişen, 6 beton ve 6 betonarme olmak üzere, toplam 12 adet numune kullanmıştır. Çekiç kütlesi 8 kg seçilmiş ve düşme yüksekliği ise 1000 mm alınmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, 4 adet ivmeölçer, 1 adet kuvvet algılayıcısı, 1 adet veri toplayıcı, 1 adet bilgisayar ve ölçüm bağlantı kabloları kullanılmıştır. Numunelerin, tam orta noktasına çelik bir plaka yerleştirilmiş ve merkez noktanın 150 ve 250 mm sağ ve sol taraflarına ivmeölçerler yerleştirilmiştir. İvme-zaman, deplasman-zaman, hız-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri oluşturularak, karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, betonarme elemanların, beton elemanlara nazaran ivme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Deney numunelerinin kesit boyutları arttıkça, ivme değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm numunelerde, 150 mm mesafede bulunan ivmeölçerle ölçülen değerlerin, 250 mm mesafede bulunan ivmeölçerlerin ölçtüğü değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Deney numunelerinde ölçülen ivme değerlerinin, ilk düşme durumundan göçme durumuna doğru azaldığı gözlemlenmiştir. Betonarme elemanların, enerji yutma kapasitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmanın sonlu elemanlar analiz kısmında, deneysel

çalışmadan elde edilen değerler, analiz sonuçları ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Ayrıca, numunelerde oluşan gerilme dağılımları, analizler sonucunda elde edilmiştir.[19]

Yoo ve Banthia (2017) çalışmalarında, ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli beton (UHPFRC) kirişlerin, çarpma etkisine karşı tepkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, 50x50x250 mm, 100x100x400 mm ve 150x150x550 mm boyutlarında 3 farklı kiriş ölçüleri kullanılmıştır. Yapılan çarpma deneyinde, çekiç düşme yükseklikleri sırasıyla 180 mm, 600 mm ve 1400 mm olarak seçilmiştir. 3 ayrı kiriş elemanına, yaklaşık potansiyel enerji 145, 480 ve 1130 J olarak uygulanmıştır. Deney sonucunda, statik eğilme mukavemeti, numunede kullanılan lif oranının azalmasıyla azalmıştır. Lif oranına, en-boy ve tipe bakılmaksızın, tüm kirişlerde mikro çatlaklar oluşmuştur. Deneyler sonucunda, lif tiplerinin çarpma direnci üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uzun ve düz liflerin, numunelerin çarpma direncini artırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, numune boyu arttıkça, eğilme dayanımında düşüş gözlemlenmiştir.[20]

Yoo ve diğerleri (2016) çalışmalarında, 100x100x350 mm, 100x100x300 mm, 150x150x500 mm ve 150x150x400 mm boyutlarındaki, çelik lif katkılı kirişler üzerinde, statik ve çarpma yüklemesi etkilerini araştırmışlardır. Her kiriş türünden 3'er adet, toplamda 12 adet kiriş üretilmiştir. Çalışmada, çekiç düşme yüksekliği 600 ve 1400 mm olarak alınmıştır. Kısa açıklıklı kirişler ile geniş açıklıklı kirişler lif uyumu bakımından karşılaştırılmıştır. İyi bir lif uyumu sağlandığında, enerji kapasitelerinde artış görülmüştür. Ek olarak, geniş açıklıklı kirişler, kısa açıklıklı kirişlerden daha düşük statik eğilme dayanımları sergilemiştir. Bunun nedeni ise, boyut etkisi ve zayıf lif uyumundan kaynaklanmıştır.[21]

Yoo ve diğerleri (2015) çalışmalarında, 200x270x2900 mm boyutlarında beton ve değişik donatı düzenine sahip betonarme eleman olarak üretilmiş, toplamda 4 adet kiriş numunesi üzerinde çarpma deneyi uygulamışlardır. Üretilen kiriş numunelerinin, lif oranları tamamında %2'nin altında tutulmuştur. Betonarme olarak üretilen kirişlerde, kullanılan donatı çapları 12,7 mm olarak alınmıştır. Donatıların çekme görevini yapabilmesi için, kirişin alt tarafına yerleştirilmiş ve tek sıra iki adet, tek sıra dört adet ve iki sıra altı adet olarak yerleşim düzeni oluşturulmuştur. Kinetik enerji ve çarpma hızı değerleri sırasıyla, 4,2 kJ ve 5,6 m/s olarak alınmıştır. Donatı oranı

arttıkça, maksimum ve kalıcı deplasman değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Benzer şekilde, donatı oranındaki artış, çatlak genişliğini de sınırlandırmıştır. Ayrıca, kirişlerin çarpma dayanımını tahmin edebilmek için, doğrusal olmayan analitik bir model geliştirilmiştir. Deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılarak, yorumlanmıştır.[22]

Erki ve Meier (1999) çalışmalarında, CFRP ve çelik levha yardımıyla, dıştan güçlendirilmiş betonarme elemanlarda oluşan tepkileri belirlemek için, çarpma deneyleri uygulamışlardır. Çalışmada, 8 m uzunluğunda 4 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Bu numunelerden, 2 tanesi CFRP ile diğer 2 tanesi ise dıştan çelik levha yardımıyla güçlendirilerek oluşturulmuştur. Çarpma deneyi, kirişin bir ucundan kaldırılıp, aniden bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. CFRP ile güçlendirilen kirişler, 0,5 ila 2,0 m arasında değişen bir yükseklikten bırakılmıştır. Çelik levha ile güçlendirilmiş olan kirişler ise 1,7 ila 2,2 m yükseklikten bırakılmıştır. Deney sonucuna göre, CFRP tabakasıyla güçlendirilen kirişlerin, çarpma etkisi altında çelik tabaka ile güçlendirilen kirişlere göre yutulabilen enerji kapasitesi düşük kalmıştır. Bu duruma rağmen, CFRP ile güçlendirilen kirişler iyi bir dayanım sergilemiştir. Deneyler sırasında, beton yüzey ile CFRP tabaka yüzeyi arasındaki bağlantı kayıpları ve çekme gerilmeleri meydana gelme aşamasında, hasarların olduğu gözlemlenmiştir. Tabakaların birinde kopma yaşandığında, aşırı yük tek tabaka üzerinde yoğunlaştığı için, kirişte bulunan çatlaklar daha da büyümüş ve çatlakların birleşme noktasında çekme çatlaklarının olduğu gözlemlenmiştir.[23]

Kaçaran (2018) çalışmasında, betonarme döşemelerin kırılma biçimlerini ve dinamik davranışlarını, donatı aralığı, çarpışma enerjisi ve düşü yüksekliği gibi parametrelerin değiştirilme esaslarına göre inceleyerek, çarpma deneylerini gerçekleştirmiştir. Betonarme elemanlar, aynı donatı aralığına sahip 3'er adet olmak üzere, toplamda 9 adet olarak üretilmiştir. Her 3'erli grupta bulunan betonarme elemanların, üzerine etkiyen çarpışma enerjisi ve düşü yüksekliği değiştirilmiştir. Serbest ağırlık düşürücü deney aletine yerleştirilen her deney numunesi üzerine, ivmeölçer, kuvvet algılayıcısı ve deplasman ölçer sabitlenerek, deney numunelerinin tepkileri ölçülmüştür. Betonarme elemanlar üzerindeki, donatı aralığının azalması, ivme değerlerinin artmasına ve deplasman değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Çarpışma enerjisinin artırılması, ivme değerlerinin ve deplasman değerlerinin

artmasına neden olmuştur. Donatı aralığı ile çarpışma enerjisinin birlikte artırılması, döşemelerde meydana gelen hasarın büyük oranda artmasına sebebiyet vermiştir.[24]

Kantar ve diğerleri (2011) çalışmalarında, farklı basınç dayanım değerlerine sahip beton kirişlerin üzerinde, çarpma deneyleri uygulamışlardır. 5 adet normal (24-25 MPa) ve 5 adet yüksek dayanımlı (45-46 MPa) olmak üzere, 150x150x710 mm boyutlarında toplam 10 adet beton kiriş eleman üretilmiş ve sabit ağırlıklı çekiç yardımıyla çarpma kuvveti uygulanarak test edilmiştir. Çekiç kütlesi 5,25 kg olarak belirlenmiş ve çekiç yüksekliği ise 300-500 mm arasında tutulmuştur. Deney numunelerinde, çekiç kütlesinin çarpma yapacağı noktaya, dayanımı çok yüksek çelik parça ve çelik parçanın altına da kauçuk parça yerleştirilerek, 2 adet çelik dübelle numuneye sabitlenmiştir. Deneylere, numunelerde göçme hasar durumu oluşuncaya kadar devam edilmiştir. Numunelere, simetrik olarak 2 adet ivmeölçer monte edilmiştir. Yapılan düşmelerin sonucu olarak, hesaplanan aşağı yönlü deplasman değerlerinin, yüksek dayanımlı deney numunelerinden ortalama %19 daha büyük olduğu görülmüştür. Normal dayanımlı deney serisi için ölçülen yukarı yönlü deplasmanlar ise, yüksek dayanımlı seriden ortalama %32 daha büyük olarak hesaplanmıştır.[25]

Kishi ve diğerleri (2002) çalışmalarında, deneylerde kullanılmak üzere 150x250 mm kesitlerinde ve 1000, 1500, 2000 mm mesnet açıklıklarında 27 adet kiriş üretmişlerdir. Deneylerde, kirişlere kesme donatısı koyulmazken, kirişlerdeki boyuna donatı oranları, 0,0182 ve 0,0080 olarak alınmıştır. Çekiç kütlesi 300 kg olarak seçilmiş ve çarpma etkisi kirişin orta noktasında uygulanmıştır. Deney sonuçlarına ulaşabilmek için, çarpma hızı, çarpma ve reaksiyon kuvvetleri, elemanlar tarafından yutulan enerji, çatlak gelişimleri ve kiriş ortasında oluşan deplasmanlar yardımıyla sonuçlara ulaşılmıştır. Donatı oranı 0,0182 olarak gruplandırılan kirişlerdeki ortalama kesme kapasitesi 70,8 kN, ortalama eğilme kapasitesi ise açıklık mesafeleri de göz önünde bulundurularak 82,6 ile 165,2 kN arasında ölçülmüştür. Donatı oranı 0,0080 olan grupta ise ortalama kesme kuvveti 53,9 kN, ortalama eğilme kapasiteleri ise açıklık mesafeleri göz önünde bulundurularak 39,4 ile 78,8 kN arasında olduğu görülmüştür. Çarpma hızları, birinci grupta 1,3 ile 6 m/s arasında görülürken, ikinci grupta aynı hız 1 ile 6 m/s arasında ölçülmüştür. Deney sonucu olarak, kirişlerdeki çatlak gelişiminin, kirişe çarpma etkisi uygulanan orta noktadan başlayarak, mesnet

noktalarına doğru ilerlediği ve sonucunda göçme hasar durumu olduğu görülmüştür. Reaksiyon kuvvetleri, ilk önce lineer olarak maksimum değerlere kadar ulaşmış ve daha sonradan giderek azalmıştır. Kesme donatısı bulunmadığı için, betonarme kirişlerdeki reaksiyon kuvvetleri orta nokta deplasmanlarını artırmış ve kesme göçmesi durumunun üçgen şeklinde gerçekleşebileceği belirtilmiştir.[26]

Marar ve diğerleri (2001) çalışmalarında, yüksek dayanımlı çelik lif ile güçlendirilmiş, boyutları 150x300 mm olan silindir numuneden kesilerek elde edilen, 150x60 mm boyutlarında silindir numunelerle, basınç tokluğu ve darbe enerjisi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Numunelerde kullanılan su/çimento oranı 0,31 olarak alınmıştır. Düşme yapılacak yükseklik 0,3 m ve düşey vurucu ağırlığı 13,5 kg seçilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, düşey vurucu ağırlığının artırılmasıyla, düşme sayısının azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda çelik lif katkısının, betonun darbeye karşı dayanımını ve enerji yutma kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir. Numunelerin darbe dirençleri hesaplanırken, hasar durumları göz önünde tutularak, aralarındaki ilişki, varyasyon katsayıları yardımıyla çözüme ulaştırılmıştır.[27]

Nili ve Afroughsabet (2010) çalışmalarında, 150x300 mm boyutlarında hazırlanmış olan, numunelerden kesilerek elde edilmiş, 6 adet 150x64 mm boyutlarındaki silindirik numuneleri kullanmışlardır. Deney numunelerinin üretiminde, silis dumanı ile 0,75 mm çapında ve 60 cm uzunluğunda çelik lifler kullanılmıştır. Çarpma deneyi yapılmadan önce, numuneler üzerinde eğilme ve çekme deneyleri uygulanmıştır. Eğilme deneyi uygulanan numuneler, 80x100x400 mm boyutlara sahiptir. Çekme deneyi yapılan numunelerin boyutları ise 100x200 mm'dir. Beton üretiminde, silis dumanı oranı sabit ve %8 olarak alınmıştır. Su/çimento oranı 0,46 ve 0,36 olmak üzere iki grupta, çelik lif oranı ise %0,5 ve %1,0 olarak kullanılmıştır. Çarpma deneyinde kullanılacak olan, 150x64 mm boyutundaki silindir numuneler, 6,35 cm çapındaki çelik bir tabaka üzerine yerleştirilmiştir. 4,45 kg kütleyle sahip çekiç, 45,7 cm düşme yüksekliğinden düşürülerek, çarpma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, silis dumanı ve çelik liflerin beraber kullanılması ile beton dayanımının arttığı görülmüştür. Ayrıca, numunelerde kinetik enerjiyi sönmüleme yeteneğinin de arttığı görülmüştür. Yalnızca çelik lif veya yalnızca silis dumanı kullanılan numunelere göre, aynı anda hem silis dumanı hem de

çelik lif kullanılan numunelerin, çarpma dirençlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.[28]

Saatci ve Vecchio (2009) çalışmalarında, 4 grup halinde ve 8 adet olmak üzere 250x410x4880 mm boyutlarındaki kirişlerde çarpma etkisini araştırmışlardır. İlave olarak 4 adet daha numune üretilmiş ve statik davranış gözlemlenmiştir. Gruplanma sürecini, kesme donatılarının miktarı belirlemiştir. Boyuna donatılar, toplamda 29,9 mm çap ve 700 mm² kesit alanına sahiptirler. Enine donatılar ise 38.71 mm² kesit alanı ve 7,1 mm çapında olup, oranları %0,0-%0,4 arasında değişim göstermektedir. Çarpma noktasının mesnetlere uzaklığı 1500 mm, düşme yüksekliği ise 3,26 m seçilmiştir. Vurucunun kütlesi 211 ve 600 kg olarak seçilmiştir. Statik enerji kaybının bulunması adına, yük-açıklık ortasındaki yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların toplamları hesaplanmıştır. Aynı zamanda, çarpma deneyi sonucunda oluşan çatlak gelişimi, maksimum dinamik reaksiyon kuvveti ve yer değiştirme biçimleri hesaplanmıştır. Deney sonucunda, kesme donatılarının numunelerin davranışları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kütle, geometrik özellikler ve kiriş açıklıklarının deney sonucunu değiştirici önemli parametreler oldukları görülmüştür.[29]

Saatci ve Vecchio (2009) çalışmalarında, sonlu elemanlar analizlerini, 211 ve 600 kg kütleyle sahip düşey vurucu etkisi altında ve farklı enine donatı düzenine sahip kirişler için gerçekleştirmişlerdir. Deneylere ait veriler, VecTor2 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kirişlerdeki beton için toplamda 992 dikkörtgen eleman, boyuna donatı için ise 124 çubuk eleman kullanılmıştır. Kirişlerin mesnetleri, yukarı yönlü hareketi kısıtlanacak şekilde modellenmiştir. Beton için programda varsayılan malzeme modeli kullanılmıştır. Çözüm tutarlılığının sabit kalması için, bütün çözümlerde Nemark'ın sabit ivme yöntemi ($\beta=0,5$, $\gamma=0,5$) değerleri kullanılmıştır. İterasyonlar kısa zaman aralıklarında gerçekleştiğinden ötürü, herhangi olumsuz bir durumla karşılaşılmamıştır. Yapılan analizler ile elde edilen deplasman değerleri, çatlak biçimleri ve hasar seviyeleri, deney sonuçlarıyla uyum göstermiştir.[30]

Selvi (2008) çalışmasında, 5 adedi yüksek dayanımlı, 5 adedi ise normal dayanımlı olmak üzere, toplamda 10 adet dikkörtgen kesitli kiriş numune hazırlamış ve çarpma deneyine tabii tutmuştur. Deney göçme olayı oluşana kadar sürdürülmüştür. Çekiş kütlesi 5,25 kg seçilmiş ve düşme yüksekliği 300, 350, 400, 450 ve 500 mm

olmak üzere 5 farklı düşme yüksekliği kullanılmıştır. Deney sırasında, beton dayanımındaki değişim etkileri, çatlak gelişimleri, vurucu düşme sayısı, numunedeki ivme dağılımı ve numunelerin göçme sırasında göstermiş oldukları davranışlar incelenmiştir. Deneyler tamamlandıktan sonra, çalışmalar ABAQUS sonlu eleman programıyla modellenerek, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, yükseklik arttıkça çekiç düşme sayısında azalma olmuştur. Yükseklik arttıkça, numunenin enerji yutma kapasitesi daha da azalmaktadır. Yüksek dayanımlı numunelerde, çekiç düşürüldükten sonra elde edilen sıçrama yüksekliği daha fazladır. Çatlak şekilleri ve ilerleyişleri göz önüne alındığında, yüksek dayanımlı numunelerde çatlak açılarının dik açığa daha yakın olduğu gözlemlenmiştir. Düşey vurucu yüksekliği arttıkça, numunelerdeki ivme değerleri de artış göstermiştir. Yüksek dayanımlı numunelerin, düşük dayanımlı numunelere ivme oranları, (S6/S1, S7/S2, S8/S3, S9/S4, S10/S5) minimum %16, maksimum %68 ve ortalama %31 olarak ölçülmüştür. Hızlardaki oranlar, minimum %0,6, maksimum %21 ve ortalama %1 olarak elde edilmiştir. ABAQUS programından elde edilen sonuçların, deney sonuçlarıyla iyi bir uyum gösterdiği görülmüştür.[31]

Soroushian ve Elzafraney (2004) çalışmalarında, yüksek ve normal dayanımlı silindirik ve prizmatik numuneler hazırlamış ve hasarın beton performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Silindirik numunelerin boyutları 102x51 mm ölçülerinde ve prizmatik numunelerin boyutları ise 76x76x305 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, basınç deneyi, darbe deneyi, donma-çözülme deneyi ve yorulma deneyi etkileri altında incelenmiştir. Çalışma sonucu olarak, beton performansına bakıldığında, donma-çözülme olayı sonrasında numunede iç çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Darbe etkisinin, mikro çatlak genişliklerinin artması yönünde bir etki bıraktığı ve çatlak gelişim şeklinin, beton performansı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.[32]

Suaris ve Shah (1983) çalışmalarında, 38,1x76,2x457,2 mm boyutlarına, değişik karışım özelliklerine ve farklı güçlendirme oranlarına sahip olan kırıç numuneleri hazırlamış ve numuneler üzerinde çarpma deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Hazırlanan numuneler 14 gün kür havuzunda, 7 gün ise normal ortam şartlarında bekletilmişlerdir. Çarpma deneyleri, 1,016 m/s'lik hızlarda gerçekleştirilmişlerdir. Numunelerde bulunan su/çimento oranları sabit tutularak, tüm

numunelerde 0,5 olarak alınmışlardır. Güçlendirme yapılan numunelerde, %0,1 lif katkısı kullanılmıştır. Deney sonucunda, birim deformasyon oranının hızı arttırıldıkça, beton ve harç malzemesinde statik haldeki dayanımdan daha yüksek bir dayanım elde edilmiştir. Meydana gelen çatlakların ve deformasyonların, beton dayanımında oluşan farklardan dolayı oluştuğu değerlendirilmiştir.[33]

Tachibana ve diğerleri (2006) çalışmalarında, 150x200 mm kesit boyutlarında, 1, 2 ve 4 m mesnet açıklıklarında ve enine 6 mm, boyuna 13 mm donatı çaplarına sahip kiriş numunelerin çarpma etkisi altındaki davranışını, deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada, kiriş kenarları sabit mesnet üzerine tasarlanmıştır. Düşey vurucu, hem kirişe direkt olarak, hem de kiriş üzerinde bulunan 50 mm kalınlığındaki kauçuk tabaka ile 12-24 cm kalınlığındaki kum tabaka üzerine yük uygulamıştır. Çalışma sonucunda, farklı mesnet ölçüleri ve vuruş yüzey özelliklerine göre, çatlak gelişimleri, çarpma kuvveti, reaksiyon kuvveti, ivme, hız, sönümlenen enerji ve deplasman değerleri elde edilmiştir. Kum tabaka kullanıldığında oluşacak olan çatlak sayısının, azalma eğiliminde olduğu, kauçuk ve kum tabaka kullanıldığında, maksimum çarpma kuvveti değerinin düştüğü ve son olarak kum tabakasının kalınlığına göre farklı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.[34]

Wang ve diğerleri (2011) çalışmalarında, C25 malzeme sınıfında üretilen 250x300 mm kesitlerine sahip 8 adet betonarme kolonun çarpma davranışını, yatay çarpma kuvveti etkisi altında incelemiştir. Çin Standartı'na göre yerleştirilen enine donatılar 1. Dereceye, boyuna donatılar ise 2. Dereceye aittir. Deneylerin sonunda, 3 tip göçme gözlenmiştir. Çatlak ilk olarak, yanal yüzeydeki açıklık ortasında oluşmuş ve ardından, üst ve alt yüzeylere doğru genişlemiştir. Sonuç olarak çatlak, bir mesneti tamamen kesmiştir. Eğilme göçmesi aşamasında ilk oluşan çatlak, çekme bölgesinde açıklık ortasında meydana gelmiş ve çatlaklar genişleyerek devam etmişlerdir. Hem eğilme hem de kesme göçmesinin birlikte gerçekleştiği durumda ise, çatlaklar bütün kesiti kesmiş ve plastik mafsallara sebep olmuştur. Enine yerleştirilen donatının, kolon üzerinde göçme faktörünü oluşturan en önemli etken olduğu görülmüştür. Boyuna donatı ve yükleme hızı, enine donatı kadar etkili olmamıştır. Enine donatı aralığının fazla olması, kolonun kesme göçmesine doğru yön aldığı, aksi takdirde eğilme göçmesine doğru yöneldiği gözlemlenmiştir. Boyuna donatının etkin rol oynadığı alanlar ise, nihai yük, yanal deplasmanlar ve uç moment değerlerinin

değişimleridir. Nihai yükün donatı oranına bağlı olarak, %6-%21 oranında artış gösterdiği gözlemlenmiştir.[35]

Yılmaz (2013) çalışmasında, CFRP sargılı kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin, çarpma yükü altındaki davranışının incelenmesini amaçlamıştır. Çalışmada, düşme yüksekliğine bağlı olarak değişim gösteren çarpma hızı, beton basınç dayanımı ve kesme güçlendirilmesi için kullanılan CFRP şerit aralıkları değişken etkenlerdir. Düşey vurucu yüksekliği olarak 500 ve 750 mm olmak üzere iki farklı değer kullanılmıştır. Beton basınç dayanımları, 20 ve 30 MPa olarak elde edilmiştir. CFRP şerit aralıkları ise, 50, 75 ve 100 mm olarak uygulanmış ve deney 4 seri olarak gerçekleştirilmiştir. Her seri için, 1 adet de referans numunesi de dahil olmak üzere, toplamda 16 adet numune üretilmiştir. Çarpma hızının artırılması ile, basınç dayanımı 30 MPa olan numune üzerindeki ivme değişimi %9 ile %20 arasında, hız değişimi %10 ile %19 arasında ve deplasman değişimi %2 ile %32 arasında artmıştır. Basınç dayanımı 20 MPa olan numune incelendiğinde ise, ivme değişimi %5 ile %12 arasında, hız değişimi %3 ile %6 arasında ve deplasman değişimi %11 ile %20 arasında artmıştır. Ayrıca, CFRP şerit aralıkları arttıkça ölçülen ivme değerlerinde de artış görülmüştür.[36]

Yılmaz ve Dok (2016) çalışmalarında, 250x400x2500 mm boyutlara ve 4Ø16 (çekme donatısı), 2Ø12 (basınç donatısı), Ø8/200 mm enine donatı düzenine sahip betonarme kirişlerde, farklı düşme yükseklikleri ve düşey vurucu ağırlıkları uygulayarak, kirişlerin çarpma direncini ve göçme mekanizmalarını incelemiştir. Deney 1, 2 m yükseklik ve 220 kg ağırlık, Deney 2, 3,25 m yükseklik ve 220 kg ağırlık, Deney 3, 3,25 m yükseklik ve 506 kg ağırlık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan 3 adet deneyden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney 1 ve Deney 2 karşılaştırıldığında, Deney 2’de aynı yükseklik için elde edilen ivme değerleri, Deney 1’e göre %2,82 artmıştır. Deney 2 ve Deney 3’te uygulanan ağırlık farkından dolayı, Deney 3’te elde edilen ivme değerlerinin, Deney 2’ye oranla %140 arttığı tespit edilmiştir. Ağırlık ve yükseklik değerlerinin birinin ya da her ikisinin aynı anda artırılması sonucunda, ivme değerlerinde artış görülmüştür. Bunun yanında, ölçülen orta nokta deplasman değerleri ve ivme değerleri arasındaki değişimlerin lineer olmadığı, uygulanan ağırlığın ve yüksekliğin kırılma biçimlerini değiştirebildiği ve

mesnet bölgelerinde, mesnet kuvvetlerinden dolayı gerilmelerin oluştuğu, tespit edilmiştir.[37]

Yılmaz ve diğerleri (2018) çalışmalarında, 1000x1000x80 mm boyutlara sahip ve 6Ø15 çekme donatısı bulunan, CFRP ile güçlendirilmiş betonarme döşemeler üzerinde, çarpma deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Toplamda 9 adet, aynı boyut ve donatı düzenine sahip betonarme döşeme üretilmiştir. Betonarme döşemeler, ortalama 25 MPa basınç dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. İlk betonarme döşeme, referans olarak tutulmuş ve diğer 8 adet betonarme döşeme üzerine epoksi ile CFRP şeritleri yapıştırılarak, güçlendirme yapılmıştır. Yapılan güçlendirmede, CFRP şeritlerinin yönleri ve kalınlıkları farklılık göstermiştir. CFRP şeritlerinin kalınlıkları, 50 mm ve 100 mm olarak iki farklı grup oluşturulmuş ve her grupta 4 farklı şerit döşeme numunesi kullanılmıştır. CFRP şeritler, hem bir, hem de iki yönde dik ve çapraz olarak uygulanmıştır. CFRP şeritleri, 4 döşemede 50 mm, 4 döşemede ise 100 mm olarak ölçülandırılmıştır. CFRP şeritleri, epoksi yardımıyla yüzeye yapıştırılmış ve üzerine 0,5 mm epoksi uygulanarak sabitlenmiştir. Çarpma deney aletine yerleştirilen betonarme döşemelerin üzerlerine, ivmeölçer ve deplasman ölçer yerleştirilmiş ve gerekli ölçümler alınmıştır. Bütün döşemelerde, 1500 mm yükseklik ve 84 kg ağırlık kullanılmıştır. Darbe yükünü eşit dağıtabilmek için, döşemenin ortasına, 100x100x10 mm boyutlarında çelik plak yerleştirilmiştir. Aynı deney, sonlu elemanlar programıyla da gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, CFRP şeritleriyle güçlendirilmiş olan döşemelerdeki ivme değerlerinin ve çarpma direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Diyagonal olarak yerleştirilen CFRP şeritleri, döşemelerin ivme değerlerini ve çarpma direncini daha da artırmıştır. 100 mm CFRP şeritlerin uygulandığı döşemelerde, 50 mm CFRP şeritlerin uygulandığı döşemelere göre daha geç göçme durumu oluştuğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonunda, nümerik analiz sonuçları, deneysel sonuçlar ile oluşturulan şekil ve tablolar yardımıyla karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları ile deney sonuçları arasında iyi bir uyum oluştuğu belirlenmiştir.[38]

3. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN TEÇHİZATLAR

Deney hazırlık aşamasında, plywood kalıp malzemesi, matkap, 25 kg'lık kraft torbalarda grout harçları, su, harç karıştırıcı, plywood kalıp yağı, sentetik beyaz boya, 6 mm çapında setskur vida ve kimyasal dübel malzemeleri temin edilmiştir.

Çarpma deneyinde kullanılan malzemeler; ivmeölçerler, kuvvet algılayıcısı, optik fotoseller, lvd, serbest ağırlık düşürücü deney aleti, ivmeölçerler ve kuvvet algılayıcısı için veri toplayıcı, lvd için veri toplayıcı, bilgisayar ve bağlantı kablolarından oluşmaktadır.

3.1. İvmeölçer

İvme, hızın zamanla değişimi ya da hızın türevi olarak tanımlanmaktadır. İvme, vektörel bir büyüklüktür. Bir şeklin veya cismin, hızının ya da yönünün zamana göre değişmesiyle de elde edilebilmektedir. $F=m.a$ (F: Uygulanan Kuvvet, m: Cismin Sahip Olduğu Kütle ve a: Cismin İvmesi) formülü kullanılarak, cismin ivme değer büyüklüğüne ulaşılabilir.

İvmeölçerler, bir kütleyle uygulanan ivmeyi ölçmeye yarayan cihazlardır. İvmeölçerler yardımıyla ölçüm yapılırken, referans ivmenin bilinmesine gerek yoktur. İvmeölçer, konumlandırılmış olan kütlelerin, değişim gösteren konumundan fayda sağlayarak sonuç elde etmektedir.

İvmeölçerler, birçok alanda aktif olarak kullanılmaktadır. Stratejik öneme sahip olan uçak, denizaltı, gemi ve füze gibi araçların navigasyon sistemlerinde, hassasiyet gereğini gösterdiği için kullanılma gereği duyulmuştur. Gündelik kullanılan elektronik cihazlarda da titreşimi kontrol ederek, titreşimin istenilen frekansta tutulması için kullanılmaktadırlar. Sismik ivmeölçerler ile binaların, köprülerin ve yolların üzerlerinde, deprem etkilerinin, maden ve kazı çalışmalarının ve bunun gibi titreşim oluşturması muhtemel sistemlerin, ivme hareketleri ölçülerek bilime yardım edilebilmektedir.

İvmeölçerlerin, farklı kullanım alanları ve kullanılma şekilleri mevcuttur. Farklı yöntemlerle çalışan ivmeölçerlerin, en yaygın kullanılan türleri piezoelektrik ivmeölçerler ve kapasitif ivmeölçerlerdir.

3.1.1. Kapasitif İvmeölçer

Kapasitif ivmeölçerler, birbirlerine yakın iki adet paralel ve kapasitör şeklinde çalışan levha arasındaki, kapasitans değerlerinin değişmesi ile çalışmaktadırlar. Herhangi bir ivme meydana geldiğinde, hareketli ve sabit elektrot arasındaki mesafeler değişerek, sabit kapasite değerini de değiştirip sistemdeki ivme değerini göstermektedirler. Düşük seviyeli veya düşük frekanslı ivmeleri ölçmede kullanılmaktadırlar. Kullanım alanları genel olarak, bina dinamiği ölçümleri, otomotiv sürüş kalite testleri ve robotik alanlarda kullanılmaktadırlar. 12 VDC veya 24 VDC gibi güçlerle besleme yapılarak kullanımları mümkün olmaktadır.

3.1.2. Piezoelektrik İvmeölçer

Piezoelektrik ivmeölçerler, içerisinde barındırdıkları mikroskobik kristaller yardımıyla (kuvars vb.), kristallerin etkisi altında kaldıkları stresin sonucu olarak gerilim meydana getirmektedirler. Ortaya çıkan gerilim değeri ilk başta durağan şekildeki gerilim değeriyle kıyaslanarak ivme değerleri bulunmuş olmaktadır. Çarpma deneyleri, düşük ve yüksek frekansta çalışma aralığı gerektirdiğinden, her türlü çalışma frekansında ve zorlu ortam koşullarında, çalışmalarla uyum gösterdiği için bu deneyde, ICP 350B03 model piezoelektrik ivmeölçerler kullanılmıştır.

3.1.3. ICP 350B03 Model İvmeölçer

Deney sırasında, deney numunesi olarak adlandırılan plak üzerinde oluşan titreşimleri algılayabilmek için piezoelektrik ivmeölçerler kullanılmıştır. Deneyde kullanılan piezoelektrik ivmeölçerler, PCB Group markası adı altında üretilen Şekil 3.1’de görülen ICP tip ve 350B03 model olarak seçilmişlerdir.



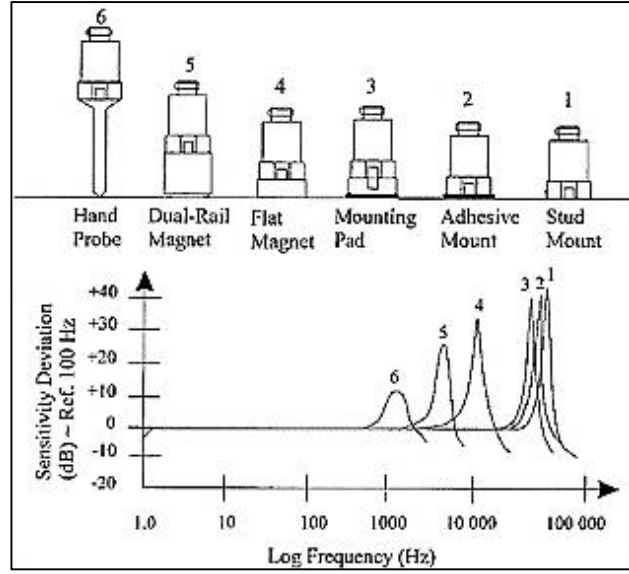
Şekil 3.1 ICP 350B03 model ivmeölçer

Deneylerde kullanılan, PCB markasına ait ICP 350B03 model ivmeölçerlerin özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. ICP 350B03 model ivmeölçer özellikleri

Duyarlılık ($\pm 30\%$)	0.05 mV/(m/s ²)
Ölçüm Aralığı	± 98000 m/s ² pk
Frekans Aralığı (± 1 dB)	0,4 ile 10,000 Hz
Frekans Aralığı (-3 dB)	0.2 ile 25,000 Hz
Rezonans Frekansı	≥ 100 kHz
Genişbant Çözünürlüğü	0.39 m/s ² rms
Doğrusal Olmama	≤ 2 %
Enine Duyarlılık	≤ 7 %
Aşırı Yük Limiti (Şok)	$\pm 490,000$ m/s ² pk
Sıcaklık Aralığı (İşletme)	-18 ile +66 °C
Sıcaklık Tepkisi	-40 ile +93 °C
Temel Gerilme Duyarlılığı	≤ 0.02 (m/s ²)/ $\mu\epsilon$
Eksizyon Voltajı	20 ile 30 VDC
Sabit Akım Eksizyonu	2 ile 20 mA
Çıkış Empedansı	≤ 200 ohm
Dış Kaynaklı Gerilim	8 ile 14 VDC
Deşarj Zaman Sabiti	1.0 ile 2.0 sn
Yerleşme Zamanı (10% Sapma Kapsamında)	<10 sn
Algılama Ana Unsuru	Seramik
Algılama Geometrisi	Makaslama
Gövde Materyalleri	Titanyum
Mühürleme	Hava Geçirmez Kaynaklı
Ölçü (Yükseklik)	25.9 mm
Ağırlık	4.5 gm
Elektrik Konektörü	5-44 Koaksiyonel
Elektrik Bağlantı Konumu	Üst
Montaj Vida Dişi	1/4-28 Erkek

İvmeölçerlerin standart bağlantı yöntemleri, aşağıdaki Şekil 3.2’de verilmiş ve en ideal duyarlılık seviyesine göre deney bağlantısı yapılmıştır. İdeal bağlantı yöntemleri, 1. vida ile 2. yapıştırıcı ile 3. montaj pedi ile 4. düz mıknatıs ile 5. çift taraflı mıknatıs ile 6. el çubuğu ile olarak gruplanmış ve ölçüm sırasında yüksek doğruluk payları oluşturmaktadır.



Şekil 3.2. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekans değerleri

Çarpma deneyinde, anlık yüksek frekanslar oluşması ve kullanılan malzemenin beton olması nedeniyle, sabitlemenin sağlamlığı açısından vidalama yöntemi kullanılmıştır.

3.2. Kuvvet Algılayıcısı

Kuvvet, durağan bir cismi harekete geçirebilen, hareket halindeki bir cismi durdurabilen veya durağan ya da hareket halindeki cismin yönünü veya doğrultusunu değiştirebilen, vektörel bir büyüklüktür. Aynı durum üç boyutlu bir cisme uygulandığında, cismin dönmesine veya cisim üzerinde şekil bozuklukları oluşmasına neden olan büyüklük olarak tanımlanmaktadır.

Uygulanan kuvvetleri ölçmenin çeşitli yöntemleri bulunmaktadır.

Bunlardan bazıları;

- Kaldıraç yöntemi kullanılarak, uygulanan kuvvete dengeleme yapılarak,
- Miknatıs ve bobin yardımıyla oluşturulan bir manyetik alanda dengeleme yapılarak,
- Kuvvet uygulanan ve kütlesi bilinen bir cismin ivmesini ölçerek,
- Elastik bir elementin deformasyonuna çevrilerek,
- Belirli bir alana güç dağılımı yaparak basınç oluşturarak ardından basınç ölçerek, kuvvet şiddeti elde edilebilmektedir.

Kuvvet algılayıcıları da bu yöntemlerden biri olarak kullanılmaktadır. Yaygın kullanım alanları, daha pratik ve kolay olmasından kaynaklanmaktadır. Kuvvet

algılayıcısının ana çalışma prensibi, piezoelektrik ivmeölçerler gibi yük hücresi yönteminin kullanılmasıdır. Kristal yapının hareketi neticesinde oluşan elektrik sinyalleri yardımıyla, ölçüm yapılmaktadır. Sonuç olarak, elastik bir elementin deformasyonuna çevrilerek ölçüm yapıldığı söylenilebilmektedir.

Kuvvet algılayıcıları, kiriş ve halka şeklinde olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir. Kiriş tipi kuvvet algılayıcıları, genellikle düşük seviyedeki yüklerin ölçümlerinde kullanılmaktadırlar. Kiriş tipinde kullanılan eleman, basit bir konsol kiriş olarak, elastik elemanlar kullanılmaktadır. Kirişin, iki adet üst kısmına ve iki adet alt kısmına Strain-Gage yerleştirilerek, birbirlerine Wheatstone adı verilen bir köprüyle bağlanmış şekilde kullanılmaktadır.

Halka tipi kuvvet algılayıcıları ise elastik eleman olarak halkayı kullanılmaktadırlar. Halkanın kalınlığı, çapı ve halka derinliği değiştirilerek, etki kuvveti üzerinde oynanabilmektedir. Halka kuvvet algılayıcılarının seçilme sebebi, geniş aralıktaki yükleri ölçmek ve çekicinin ucuna montaj esnasında uyum sağlamasıyla açıklanabilmektedir.

Deneyleerde kullanılmak üzere, PCB marka ICP 202B model halka kuvvet algılayıcısı kullanılmıştır.

3.2.1. ICP 202B Model Kuvvet Algılayıcısı

Çarpma deneylerine uygunluğu, montaj ve kullanım kolaylığı sağladığı için halka tipi kuvvet algılayıcı kullanılmıştır. Kullanılan ICP 202B model halka kuvvet algılayıcısının, tip resmi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. ICP 202B model kuvvet algılayıcısı

Kullanılan ICP202B model halka kuvvet algılayıcısının, performans, çevresel, elektriksel ve fiziksel özellik değerleri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. ICP 202B model kuvvet algılayıcısı özellikleri

Duyarlılık ($\pm 15\%$)	112.4mV/kN
Ölçüm Aralığı	44.48 kN
Maksimum Statik Kuvvet	66.72 kN
Genişbant Çözünürlüğü	0.890 N-rms
Düşük Frekans Tepkisi	0.0003 Hz
Yüksek Frekans Sınırı	60 kHz
Doğrusal Olmama	$\leq 1\%$ FS
Sıcaklık Aralığı	-54 ile +121 °C
Hassas Sıcaklık Katsayısı	$\leq 0.054\%$ /°C
Deşarj Süresi Sabiti	≥ 2000 sn
Eksizyon Voltajı	20 ile 30 VDC
Sabit Akım Eksizyonu	2 ile 20 mA
Çıkış Empedansı	≤ 100 ohms
Dış Kaynaklı Gerilim	8 ile 14 VDC
Çıkış Polaritesi	Pozitif
Önyükleme	8.896 kN
Sertlik	2.8 kN/ μ m
Ölçü (Çap x Yükseklik x Cıvata Çapı x Algılama Yüzeyi)	22.1 mm x 9.91 mm x 10 mm x 16.89 mm
Ağırlık	19 g
Gövde Materyalleri	Paslanmaz Çelik
Kapama	Hava Geçirmez
Elektrik Konnektörü	10-32 Koaksiyel Jak
Elektrik Bağlantı Konumu	Yan

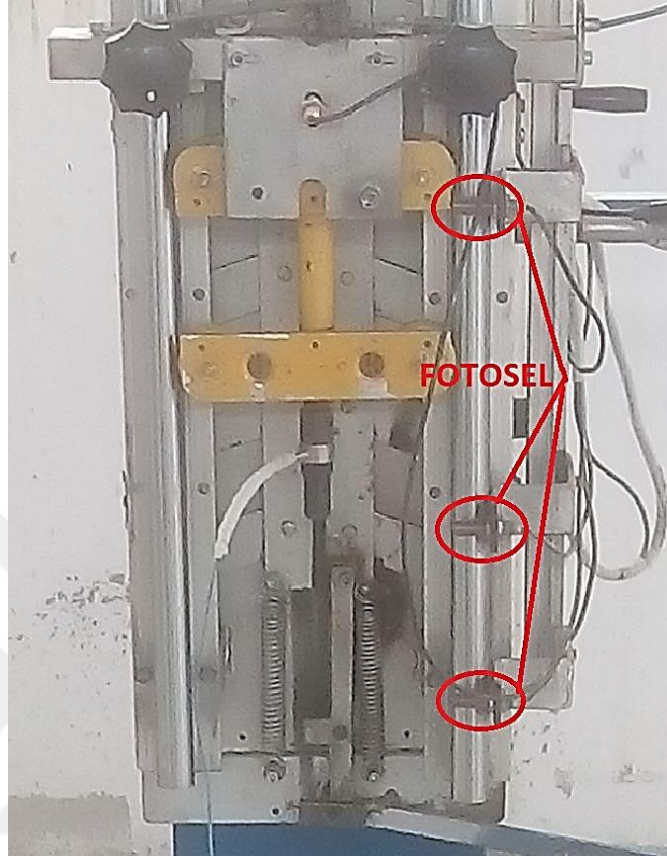
3.3. Optik Fotosel

Fotoseller, temas sağlamadan bir cismin hareketlerinin algılanmasını sağlayan donanımlardan oluşmaktadırlar. Fotosellerin, kullanım alanlarına göre mevcut türleri bulunmaktadır. Deneyleerde, birkaç metre uzaklıkta bulunan cisim hareketlerini dahi tanımlayabilen, optik fotoseller kullanılmıştır.

Kapasitif ve büyük indüktif fotosellerin, hareket ölçümleyebilme mesafeleri maksimum 10 cm uzaklığı geçememektedir. Optik fotosellerde bu mesafe, yaklaşık 10 ila 15 kat daha fazla olmaktadır. Fotosellerin sınıflandırmalarına bakıldığında, yansıtıcı fotoseller, karşılıklı kurulan fotoseller ve yansımali fotoseller olarak üç ayrı grupta incelenebilmektedir.

Deneyleerde kullanılan fotoseller, yansımali fotoseller olarak seçilmiş ve fotosellerin montajlarının yapıldığı bölgeler Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Bu tip fotosellerin avantajları, yansıtıcı ve karşılıklı kurulan fotosellere göre, tek fotoselin

montajıyla çalışma alanının sağlanmış olması, şeffaf cisimlerin diğer tiplere göre daha iyi algılanabilmesi ve yanlış ayarlama ile yansıtıcı kirlenmesinin oluşmamasıdır.



şekil 3.4. Ağırlık düşürücü deney aletinde kullanılan yansımali optik fotoseller

Serbest ağırlık düşürücü deney aletinin sağ tarafında bulunan, c adet sıralı optik fotoselin en üstündeki fotosel, eki hareketine geçtiğinde zaman ölçümü yapmakta ve orta da bulunan fotosel çekicinin deney numunesine arpıtıktan sonra yaptığı sıçrama hareketinin zaman ölçümünü almaktadır. Son olarak da en altta bulunan fotosel, çekicinin deney numunesine çarpma anındaki zaman ölçümünü yaparak, çarpma süresini belirlemiş olmaktadır. Bu lcmler yardımıyla, çarpma etkisi oluşturan serbest ağırlık düşürücü deney aletinin, sürtünme kuvvetini ve cisimdeki zamana bağlı değişimleri görebilmek mümkün olmaktadır. Deneyde kullanılan optik fotosel şekil 3.5'te gösterilmiştir.

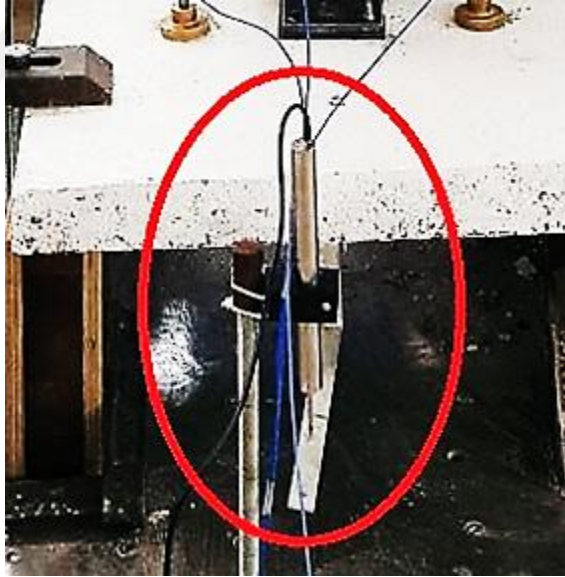


Şekil 3.5. Yansımali optik fotosel

3.4. Yer Değişimi Algılayıcısı (Lvdt)

Titreşimli tel tipinde tasarlanan ölçüm cihazları, hassas deplasman ölçümü yapabilmektedir. Su geçirmez özelliğe sahip olan yer değişimi algılayıcı cihazları, taşınabilir okuma ünitesi veya bir veri toplayıcı yardımıyla, değer okumaları yapılabilmektedir.

Deney numunelerine, çekiç tarafından uygulanan çarpma yüklemesi sonucunda oluşan deplasman ölçümlerini alabilmek için, Şekil 3.6'da gösterilen yer değişimi algılayıcısı (lvdt) kullanılmıştır.

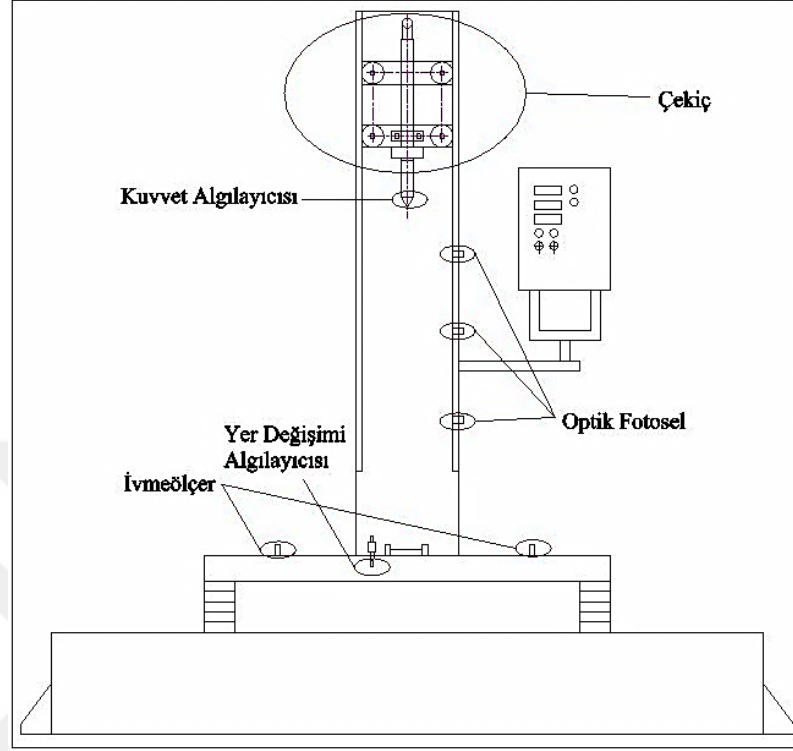


Şekil 3.6. Yer değişimi algılayıcısı (lvdt)

3.5. Serbest Ağırlık Düşürücü Deney Aleti

Yapılan araştırmalar sonucunda, çarpma deneylerinde kullanılan düzenekler incelenmiştir. Farklı kütle, yükseklik ve numune boyutlarına olanak sağlayan serbest ağırlık düşürücü deney aletinin, araştırmacılar tarafından çarpma yüklemesi altında, deney numunelerinin davranışını belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanıldığı

görülmüştür. Serbest ağırlık düşürücü deney aleti ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazları, Şekil 3.7’de şematik olarak gösterilmiştir.



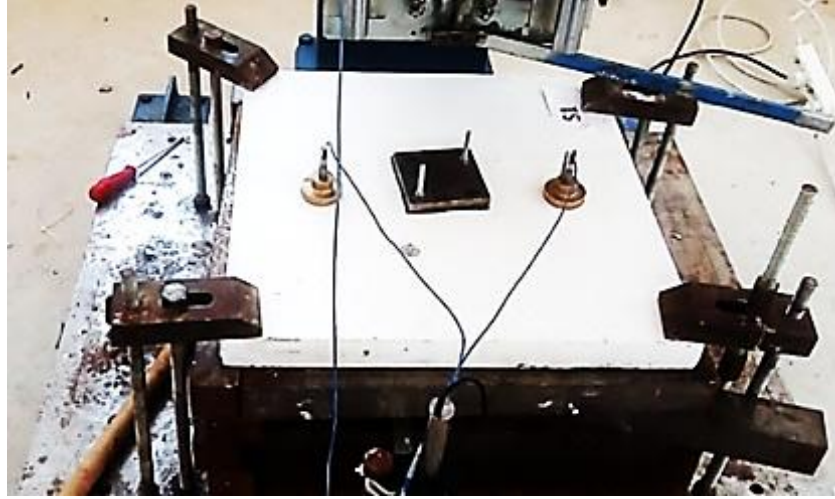
Şekil 3.7. Deney aleti ve ölçüm cihazlarının şematik olarak gösterilmesi

Deney düzeneğinde yer alan çekicinin kütlesi ve serbest düşme yüksekliği değiştirilebilmektedir. Böylece, deney numunelerine farklı çarpma enerjileri uygulanabilmektedir. Deney aleti, ölçüm cihazları ve deney numunesinin yer aldığı deney düzeneği, Şekil 3.8’de verilmiştir.



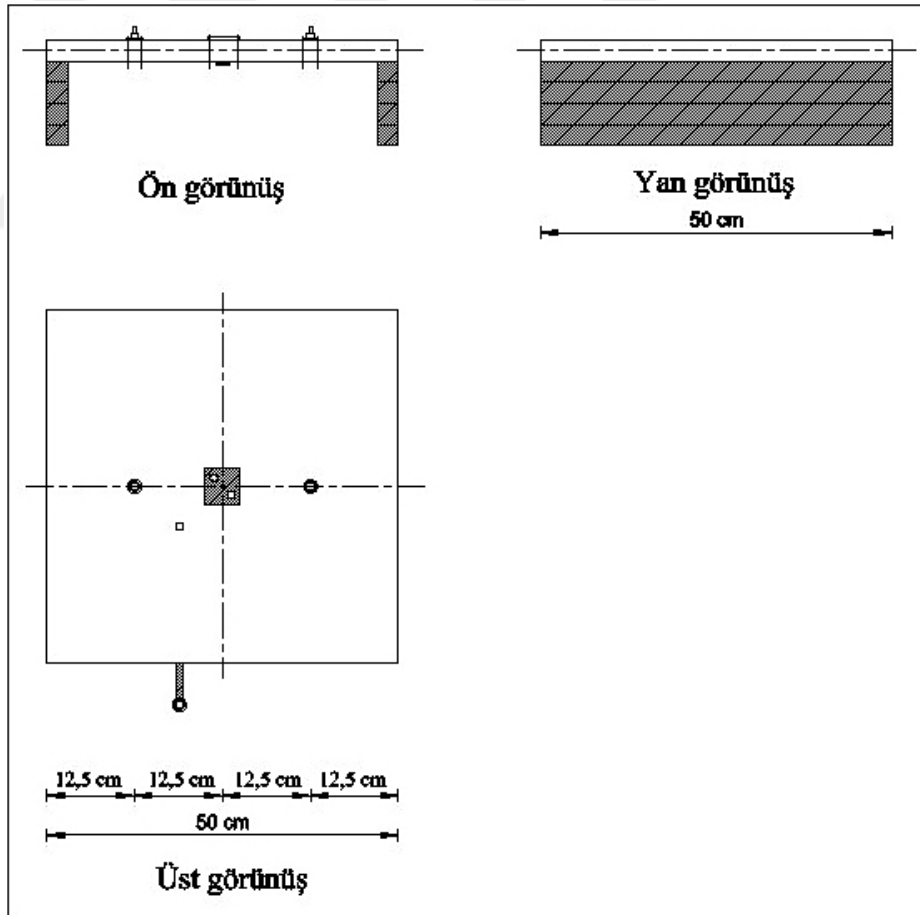
Şekil 3.8. Serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği

500x500x50 mm boyutlarında üretilen deney numunelerinin, deney düzeneğine mesnetlenmesi için 50x50x500 mm boyutlarında çelik malzemeden üretilmiş aparatlar kullanılmıştır. Deney numunesi, düşme tablası üzerinde yükseltildikten sonra, karşılıklı kenarlar mesnet aparatları kullanılarak Şekil 3.9’da gösterildiği şekilde sabitlenmiştir. Tüm deney numunelerine aynı mesnet koşulları uygulanmıştır.



Şekil 3.9. Düzeneğe yerleştirilen deney numunesi

Serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğine yerleştirilmiş olan deney numunesinin ön, yan ve üst görünüşü, şematik olarak Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



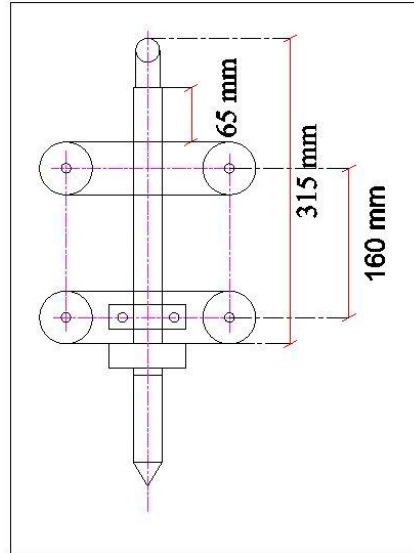
Şekil 3.10. Düzeneğe yerleştirilen deney numunesinin ön, yan ve üst görünüşü

Deney düzeneğinde, düşey vurucu olarak adlandırılan ve Şekil 3.11’de gösterilen çekicin görevi, deney aletinde yer alan kızaklar yardımıyla düşey yönde serbest düşme hareketini tamamlayıp, çarpma yüklemesini deney numunesine uygulamaktır.



Şekil 3.11. Çekiç

Serbest ağırlık düşürücü deney aletinde kullanılan çekicin şematik olarak gösterimi Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Çekicin şematik olarak gösterimi

Çekicin düşey hareketini kayıpsız tamamlaması için sürtünmenin düşük seviyelerde olması gerekmektedir. Bu sebeple, döküm kestamit malzemedan üretilmiş, tekerlek şeklindeki elemanlar sürtünme etkilerini azaltmak için kullanılmıştır.

Kestamit malzemenin kullanılma amacı, dokusunun sıkı ve sert, mekanik dayanımının ve aşınma mukavemetinin çok yüksek olmasıdır.

3.6. İvme ve Kuvvet Değerleri İçin Kullanılan Veri Toplayıcı

Veri toplayıcıları, deneylerde kullanılan ölçüm aygıtlarının ölçtüğü verileri toplayarak, bilgisayar ortamında değerlendirme yapılabilmesi için bilgisayar verileri haline çevirmektedirler.

Kullanılan veri toplayıcının seçimi aşamasında, deneylerde kullanılan ivmeölçer ve kuvvet algılayıcısından elde edilen verileri, sayısal veri olarak bilgisayar ortamına aktarması ve USB bağlantı yardımı ile her ortamda deney yapılabilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneylerde Şekil 3.13'te gösterilen DEWESoft™ marka DEWE-43 A model veri toplayıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.13. DEWE 43 A model veri toplayıcı

Deneylerde kullanılan DEWE-43 A model veri toplayıcının özellikleri Tablo 3.3'te tabloda verilmiştir.

Tablo 3.3. DEWE-43 A model veri toplayıcı özellikleri

Kanal Sayısı	8
Giriş	Gerilim, köprü (IEPE, sıcaklık adaptörlerle birlikte)
ADC Tipi	24 bit sigma delta kenar yumuşatma filtresi
Örnekleme Oranı	Eşzamanlı 200kS / sn örnekleme oranı
Giriş Tipi	Diferansiyel
Giriş Aralıkları	$\pm 10V$, $\pm 1V$, $\pm 100mV$, $\pm 10mV$
Sensör Kaynağı	12V, 400mA sensör kaynağı $\pm 5V \pm \% 0,1$ köprü sensörü beslemesi
Aşırı Gerilim Koruması	$\pm 70V$ giriş koruması
Dinamik Aralık	107dB@ $\pm 10V$
DC Hassasiyeti 10 V Menzili	0,05% - +1 mV

1 V Menzili	0,05% - +0.2 mV
100 mV Menzili	0,05% - +0.1 mV
10 mV Menzili	0,05% - +0.1 mV
Giriş Empedansı	20M Ω 47pF (diferansiyel) 10M Ω 33pF (ortak mod)
CMRR	>80dB
Maksimum Ortak Voltaj Modu	\pm 13V
Gürültü Sinyali	
0.1 kS/s ile 51.2 kS/s	105dB
51.2 kS/s ile 102.4 kS/s	100dB
102.4 kS/s ile 200 kS/s	75dB
Aşamalı Kanal Uyumsuzluğu	<0.1deg @5kHz
Faz uyumsuzluğu	-0.6deg @1kHz
Kanal Sayısı	8 sayaç / 24 dijital giriş, tamamen analog ile senkronize edildi
Modları	Sayım, dalga zamanlaması, kodlayıcı
Sayaç Zaman Tabanı	102.4MHz
Zaman Tabanı Doğruluğu	Tipik: 5 ppm, Maks: 20 ppm
Maksimum Bant Genişliği	10MHz
Giriş Filtresi	500 ns, 1 μ s, 2 μ s, 4 μ s, 5 μ s ve 7.5 μ s
Sayaç Çözümü	32-bit
Uygunluk	TTL/CMOS
Yapılandırma	100k Ω 'la çekme
Giriş Düşük Seviyesi	-0.7V ile 0.7V
Giriş Yüksek Seviyesi	2V ile 5V
Aşırı Gerilim Koruması	\pm 30V giriş koruması
Port Sayısı	2
Arabirim Türü	CAN 2.0B, saniyede 1 MBit'e kadar
Özel Uygulamalar	OBDII, J1939, CAN çıkışı
Galvanik İzolasyon	İzole değil
Veriyolu Pimi Arıza Koruması	\pm 36V
ESD Koruması	8kV
Güç Kaynağı	6-36 V DC
Maksimum Güç Tüketim Sensörü	6 W
Maksimum Güç Tüketimi	11 W
Arayüz	USB 2.0 arabirimi
Fiziksel Boyutlar	225x80x45 mm
Ağırlık	720 g
Çalışma Sıcaklığı	-20 ile 60 °C
Depolama Sıcaklığı	-40 ile 85 °C
Nem	% 95 RH yoğunlaşmayan @ 60 ° C'de

3.7. LvdT İçin Kullanılan Veri Toplayıcı

Veri toplayıcılarının ana çalışma prensibi, deneylerde kullanılan ölçüm aygıtlarının oluşturmuş olduğu verileri toplayarak, bilgisayar ortamında değerlendirilebilmesi için bilgisayar verileri haline çevirmeleridir.

Kullanılan veri toplayıcının seçiminde, deneyde kullanılan lvd'ten elde edilen verileri, sayısal veri olarak bilgisayar ortamına aktarması ve USB bağlantı yardımı ile her ortamda deney yapılabilmesi göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan veri toplayıcısı olarak, Testart firmasına ait TESTBOX2010-ATT dinamik veri toplama cihazı seçilmiştir. Dinamik veri toplama cihazı, kullanım alanları olarak yapısal sağlık takibi, inşaat mühendisliği, deprem mühendisliği ve diğer dinamik karakterdeki uygulamalar için geliştirilmiştir. Kullanılan TESTBOX2010 model veri toplayıcı Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. TESTBOX2010 model veri toplayıcı

Deneylerde kullanılan TESTBOX2010-ATT model veri toplayıcının özellikleri Tablo 3.4'te tabloda verilmiştir.

Tablo 3.4. TESTBOX2010-ATT model veri toplayıcı özellikleri

ADC Çözünürlüğü	24 bit
Senkronizasyon	Eşzamanlı Örnekleme - Ayrı ADC / Kanal
Analog Giriş Kanalları	Cihaz başına 4/8/16 (GPS Tabanlı Kablosuz veya Kablolu Senkronizasyon ile daha fazla kanal)
Dinamik Aralık (@ 200Hz)	138 dB
Örnekleme oranı	Kanal başına 16 kHz'e kadar 4 Kanal Versiyonu (Standart) Kanal başına 8 kHz'e kadar 8 Kanal Versiyonu (Standart) Kanal başına 4 kHz'e kadar 16 Kanal Versiyonu (Standart)
Giriş aralığı (Programlanabilir)	± 5.5 V

Giriş sinyali tipi	Diferansiyel (en iyi performans için) / Tek uçlu
Programlanabilir Kazanç Seçenekleri	1
Analog Filtreleme	Kenar Yumuşatma / Düşük Geçiş
DSP	Aşırı Örnekleme / Altörnekleme / Decimation / Dijital Filtreleme
Sensör uyarma	+ 5V, + 12V, -12V (Standart)
İletişim arayüzü	Ethernet
Depolama	2GB Dahili / USB - Flash Bellek / 160 GB'a kadar Sabit Disk
Sensör Konnektörleri	IP67, İtme-Çekme, Dairesel, 9 pin
Dijital I / O	4 Giriş / 4 Çıkış
CPU	ARM-Cortex / Gömülü Linux
Muhafaza	Ex-Proof Mobil Muhafaza (NATO Cage Kodu A7423)
Boyutlar	12 "L x 10.625" G x 5.6875 "H - 4 kanallı versiyon / 16.125 "L x 13.375" G x 8.0625 "H -8 ve 16 kanallı versiyonları
Çalışma Sıcaklığı	-20 °C - +55 °C
Güç	12 VDC-220 VAC / Maks 40 Watt

3.8. Bağlantı Kabloları

Deneysel çalışmada kullanılan ölçüm cihazların oluşturduğu sinyalleri, bilgisayar ortamına aktarabilmek için bağlantı kablolarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple, veriyi en doğru şekilde, herhangi bir kayba uğratmadan bilgisayar ortamına aktarabilmek için Şekil 3.15'te verilen PCB Group firmasına ait olan, 002C30 model düşük gürültülü koaksiyel bağlantı kabloları kullanılmıştır.



Şekil 3.15. PCB marka 002C30 model bağlantı kablosu

Deneylerde kullanılan PCB Group firmasına ait 002C30 model bağlantı kablosunun özellikleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. PCB marka 002C30 model bağlantı kablosu özellikleri

İletken Sayısı	1
Kablo Stili	ortak eksenli
Sıcaklık aralığı	-90 ila +204 ° C
Çekme Mukavemeti	220 N
Empedans (± 2 Ohm)	50 Ohm
Kapasitans (iletken - iletken @ 70 ° F (21 ° C))	95 pF / m
Kablo Ceket Çapı	1,9 mm
Kablo Ceket Malzemesi	FEP
Kablo Ceket Rengi	Beyaz
İletken Stili	Çok telli - 7 telli 38 AWG
İletken Malzemesi	Gümüş Kaplamalı Bakır Kaplı Çelik
İletken Çapı (30 AWG)	.305 mm
İzolasyon Malzemesi Aşırı İletken	Ekstrüzyon PTFE
Kalkan Tipi Aşırı İletken	Örgü:% 95 Minimum Kapsama
Kalkan Malzemesi Aşırı İletken	Gümüş Kaplama Tel
Bükülme Yarıçapı (minimum)	20mm
Ağırlık	9,23 g / m

4. DENEY HAZIRLIK AŞAMASI

Yapılan tez çalışması kapsamında, deney numunelerinin boyutları 500x500x50 mm olarak belirlenmiştir. Deney numunelerinin üretiminde, yüksek dayanım, hızlı priz etkisi ve kolay kullanım sağlayan grout harçları kullanılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri, dayanım değerlerinin değişimine göre sınıflandırılmış ve çarpma deneylerine tabi tutulmuştur.

Deney düzeneğinde bulunan çekicinin kütlesi ve serbest düşme yüksekliği, deneysel çalışma boyunca sabit tutulmuştur. Farklı dayanım sınıflarını sağlayan, toplam 9 adet deney numunesinin geometrik özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney numunelerinin özellikleri

Deney Numunesi	Genişlik (mm)	Uzunluk (mm)	Yükseklik (mm)
S1	500	500	50
S2	500	500	50
S3	500	500	50
S4	500	500	50
S5	500	500	50
S6	500	500	50
S7	500	500	50
S8	500	500	50
S9	500	500	50

4.1. Deney Numuneleri İçin Gerekli Malzemeler

Deney numuneleri hazırlanırken kullanılan malzemeler;

- Pere Yapı Malzemeleri firmasına ait Pere grout harcı
- Sika Yapı Kimyasalları firmasına ait Sika-212 marka grout harcı
- BASF firmasına ait MasterFlow® 4800 marka grout harcı
- Plywood kalıp malzemesi,
- Su,
- Plywood malzemesi kalıp yağı,
- Sentetik beyaz boya.

4.1.1. Plywood Kalıp Malzemesi

Plywood malzeme, tekrar kullanım sayısının fazla, ahşap kalıp malzemesine göre daha esnek ve yüzey alanının pürüzsüz olması nedeniyle, kullanımı yaygınlaşan bir malzeme olmaya başlamıştır. Oluşum aşaması, ince ağaç katmanlarına dayanmaktadır. Plywood malzemenin kalınlığına, kullanılan ağaç türüne ve katman sayısına bağlı çeşitleri bulunmaktadır. Rutubet ve sudan etkilenmemesi için akrilik boya ile yalıtım yapılmıştır.

Deneyleerde kullanılan kalıp malzemesi, 21 mm kalınlığında ve huş (birch) ağacının katmanlarından üretilmiştir. Plywood kalıp malzemesi, her bir katmanı 1,4 mm kalınlığında olacak şekilde, toplamda 15 katman olarak üretilmiştir.

Tek parça olarak alınan, plywood malzemedan kesilen parçalar, matkap yardımı ile 5 cm uzunluğunda montaj vidaları kullanılarak kalıp haline getirilmiştir. Farklı grout harçları kullanılarak üretilcek deney numuneleri için toplamda 3 adet kalıp hazırlanmıştır. Hazırlanan kalıplar kalıp yağı ile yağlanarak, yüzeylerin kaygan ve yapışmaz hale getirilmesi sağlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Hazırlanan kalıplar

4.1.2. Grout Harçları

Grout harçları, çimento esaslı olup, yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilen, akıcı özelliği sayesinde kendiliğinden yerleşebilen, rötresiz ve su geçirimsiz tamir ya da dolgu harçları olarak tanımlanmaktadır.

Genel uygulama alanları, hızlı şekilde mukavemet istenilen alanlar, köprü ve yol bağlantıları, yol kenarlarında bulunan levha ve trafik lambalarının temelleri, yüksek taşıma kapasitesi istenilen yataklama alanları, çelik yapıların inşaatları, çelik ve beton birleşim yerleri gibi alanlar gösterilebilmektedir. Tamir harcı olarak ise, yaya veya araç yolu gibi alanların, rögar kapaklarının yükseltilmesi gibi alanların tamirinde

kullanılmaktadır. Ayrıca, akışkan yapıya sahip grout harçlarında, yüksek basınç ve eğilme dayanım değerleri kısa sürede oluşmaktadır.

Deneylerde kullanılan grout harçları, Pere marka grout harçları, Sika-212 marka grout harçları ve BASF firmasına ait MasterFlow® 4800 marka grout harçlarından oluşmaktadır.

S1, S2 ve S3 deney numunelerinin üretiminde kullanılan, Pere grout marka çimento esaslı grout harçlarının özellikleri, Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Pere grout markasına ait grout harcının özellikleri

Kimyasal Yapı	Çimento bazlı kullanıma hazır harç
Şekli / Renk	Toz / Gri
Yoğunluk	1,5 kg/lt
Taze Harç Yoğunluğu	1,90 -2,00 kg/lt
Su Miktarı (25 Kg Torba İçin)	2,27 – 3,50 lt
Plastik Kıvamda	3,75 – 4,00 lt
Akışkan Kıvamda	
Çevre Sıcaklığı	+0 - +25 °C
Basınç Dayanımı (20°C)	
1 Gün	30-35 N/mm ²
28 Gün	60-70 N/mm ²

S4, S5 ve S6 deney numunelerinin üretiminde kullanılan, Sika-212 marka çimento esaslı grout harçlarının özellikleri, Tablo 4.3’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Sika-212 markasına ait grout harcının özellikleri

Kimyasal Yapı	Çimento, granülometrisi özel olarak belirlenmiş agregalar ve özel katkıları
Görünüm / Renk	Toz / Gri
Uygulama Kalınlığı	
Minimum	10 mm
Maksimum	75 mm
Taze Harç Yoğunluğu	2,2-2,4 kg/dm ³
Su Miktarı (25 Kg Torba İçin)	2,75 – 3,25 lt
Pota Ömrü	40 dk
Çevre Sıcaklığı	+5 - +30 °C
Basınç Dayanımı (20°C)	
1 Gün	30-50 N/mm ²
28 Gün	60-90 N/mm ²

S7, S8 ve S9 deney numunelerinin üretiminde kullanılan, BASF firmasına ait MasterFlow® 4800 marka çimento esaslı grout harçlarının özellikleri, Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. MasterFlow® 4800 markasına ait grout harcının özellikleri

Özellik	Test Yöntemi	Sonuçlar	Birim
Kimyasal İçerik	-	Çimento	-
Renk	-	Gri	-
Uygulama Kalınlığı Minimum Maksimum	-	20 150	mm
Kanal ¹ İçinde Akış (23 °C) Karıştırmadan Sonra 30 Dakika Sonra 60 Dakika Sonra 90 Dakika Sonra	Rili-SIB DAfStb	>60 >55 >55 >50	cm
Karışım Suyu (25 Kg Torba İçin)	-	2.5	lt
Tava Ömrü ²	-	45	dk
Uygulama Sıcaklığı (Ortam Ve Yüzey)	-	+2 - +35	°C
Basınç Dayanımı (20°C) 1 Gün 7 Gün 28 Gün	EN 196-1	≥60 ≥90 ≥100	N/mm ²
Basınç Dayanımı (2°C) 2 Gün 7 Gün 28 Gün	EN 196-1	≥30 ≥90 ≥100	N/mm ²
Elastisite Modülü (Statik) 90 Gün	EN 13412	≥40,000	N/mm ²
Elastisite Modülü (Dinamik) 90 Gün	En 13412	≥40,000	N/mm ²

4.1.3. Su

Çimento esaslı grout harcının oluşum aşamasında kullanılan su, harcın katı bir kıvam alması için gerekli olan kimyasal reaksiyonu başlatmaktadır. Kullanılan suyun içinde, yağ, asit, tuz, vb. kimyasal malzemeler olmamalıdır. Kullanılan suyun içilebilir olması gerekmektedir. Şebeke suyunun içmeye elverişli olmasından dolayı, deneylerde şebeke suyu kullanılmıştır.

5. DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİLMESİ

Grout harcının hazırlanma aşamasında, harca katılması gereken su miktarı derin bir kovanın içerisine koyulmuş ve kraft torbalarda bulunan, toz halindeki grout harçları kovaya eklenmeye başlanmıştır. Karışımın hızlı ve homojen olabilmesi için sds matkap ucu kullanılarak, Şekil 5.1’de gösterildiği gibi matkap ile karıştırılmaya başlanmıştır.



Şekil 5.1. Grout harçlarının hazırlanması

Karıştırılarak homojen hale getirilen çimento esaslı grout harçları, önceden kalıp yağı ile yağlanmış olan kalıplara dökülmüştür. Kalıplara dökme işleminin ardından, şişleme işlemi ile harcın yerleşmesi sağlanmıştır. Grout harçları Şekil 5.2’de gösterildiği gibi hazır hale getirilmiş ve priz sürecine geçilmiştir.



Şekil 5.2. Grout harçlarının kalıplara dökülmesi

Deney numunelerinin dayanımlarını belirlemek için, 40x40 mm kesit boyutlarına ve 120 mm uzunluğa sahip çelik kalıplar kullanılarak, her bir deney numunesinden örnek alınmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Harç dayanımını belirlemek için alınan örnekler

Hazırlanan deney numuneleri ve dayanım değerlerini belirlemek için alınan örnek numuneler, kür sürelerini tamamlamak üzere ortam koşullarında beklemeye bırakılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Ortam koşullarındaki numuneler

5.1. Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Deney numunelerinin üretilmesi aşamasında alınan 40x40x120 mm ölçülerindeki numuneler, 40x40x40 mm ölçülerinde kesilerek, test presinde eksenel basınç altında teste tabi tutulmuştur. 40x40x40 mm ölçülerindeki küp numunelerin yüzey alanı esas alınarak, basınç dayanımı hesabı yapılmıştır. Her deney numunesi için, 40x40x40 mm ölçülerinde 3 adet olacak şekilde, toplamda 27 adet küp numune eksenel basınç altında test edilerek, basınç dayanımları belirlenmiştir.

5.1.1. S1, S2 ve S3 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Pere marka grout harcı kullanılarak üretilen, S1, S2 ve S3 deney numunelerinin basınç dayanım değerlerini belirlemek için, Şekil 5.5'te örnek olarak gösterilen, 40x40x40 mm ölçülerindeki küp numuneler kullanılmıştır.



Şekil 5.5. S1, S2 ve S3 deney numunelerine ait küp numuneler

S1, S2 ve S3 deney numunelerinden alınan toplam 9 adet küp numune, sırayla test presine yerleştirilerek eksenel basınç altında test için hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. S1, S2 ve S3 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi

Test presine yerleştirilen her bir küp numune için deneylerin tamamlanmasının ardından, S1, S2 ve S3 deney numunelerinin Tablo 5.1’de verildiği şekilde ortalama basınç dayanımları elde edilmiştir.

Tablo 5.1. S1, S2, S3 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları

Deney Numunesi	Küp numune No	Numune Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
S1	1	33,06	31,78
	2	30,56	
	3	31,73	
S2	4	30,45	30,61
	5	29,70	
	6	31,69	
S3	7	29,28	30,33
	8	31,54	
	9	30,16	

5.1.2. S4, S5 ve S6 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Sika marka grout harcı kullanılarak üretilen, S4, S5 ve S6 deney numunelerinin basınç dayanım değerlerini belirlemek için, Şekil 5.7’de gösterilen, 40x40x40 mm ölçülerinde hazırlanan küp numuneler kullanılmıştır.



Şekil 5.7. S4, S5 ve S6 deney numunelerine ait küp numuneler

S4, S5 ve S6 deney numunelerinden alınan toplam 9 adet küp numune, sırayla test presine yerleştirilerek, aksenal basınç altında test için hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. S4, S5 ve S6 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi

Her bir küp numune için deneyler tamamlandıktan sonra, S4, S5 ve S6 deney numuneleri için ortalama basınç dayanımı değerleri, Tablo 5.2’de verildiği şekilde elde edilmiştir.

Tablo 5.2. S4, S5, S6 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları

Deney Numunesi	Küp numune No	Numune Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
S4	10	66,59	65,56
	11	64,18	
	12	65,91	
S5	13	63,41	64,92
	14	64,95	
	15	66,39	
S6	16	66,74	66,64
	17	65,19	
	18	67,98	

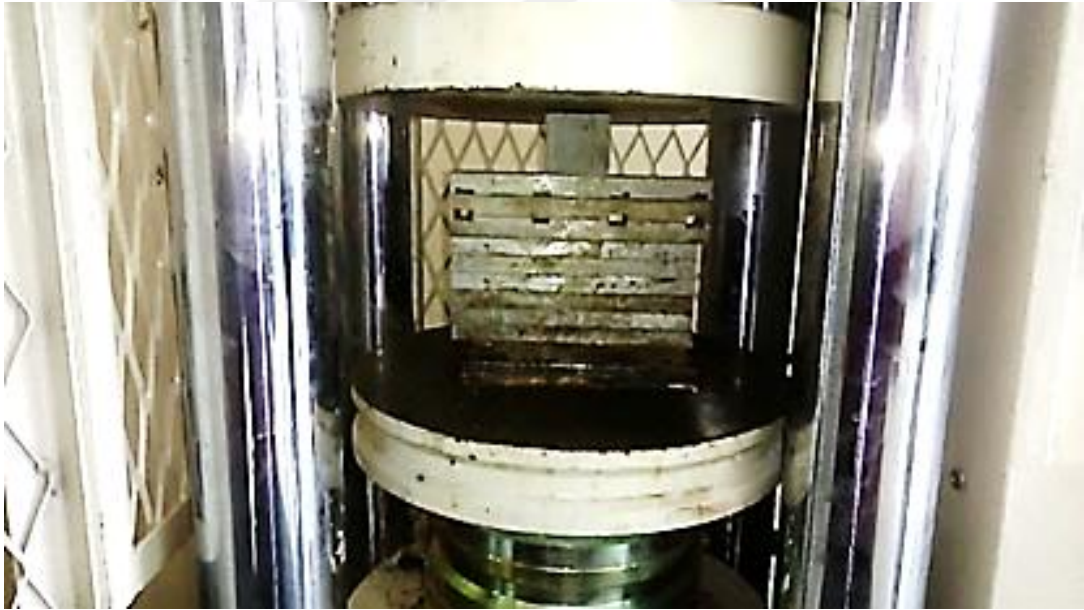
5.1.3. S7, S8 ve S9 Deney Numunelerinin Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

MasterFlow marka grout harcı kullanılarak üretilen S7, S8 ve S9 deney numunelerinin basınç dayanım değerlerini belirlemek için, Şekil 5.9’da gösterilen, 40x40x40 mm ölçülerinde hazırlanan küp numuneler kullanılmıştır.



Şekil 5.9. S7, S8 ve S9 deney numunelerine ait küp numuneler

S6, S7 ve S8 deney numunelerinden alınan toplam 9 adet küp numune, sırayla test presine yerleştirilerek aksenal basınç altında test için hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.10).



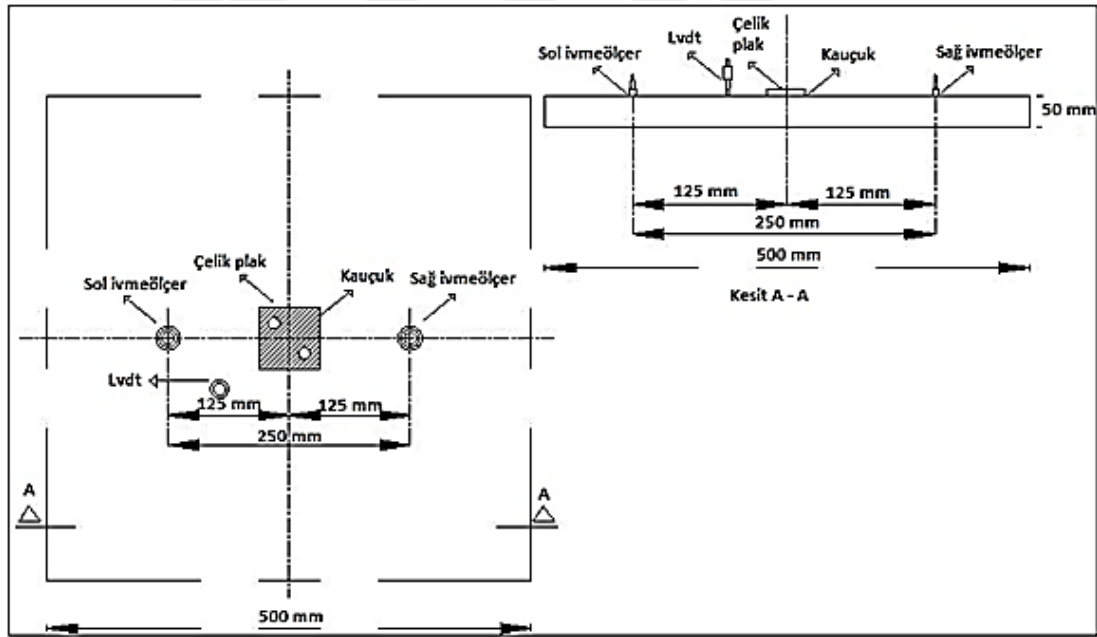
Şekil 5.10. S7, S8 ve S9 numunelerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi

Her bir küp numune için deneyler tamamlandıktan sonra, S7, S8 ve S9 numuneleri için ortalama basınç dayanımı değerleri, Tablo 5.3'te verildiği şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 5.3. S7, S8, S9 numunelerine ait küp numunelerin basınç dayanımları

Deney Numunesi	Küp numune No	Numune Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
S7	19	91,14	93,16
	20	93,65	
	21	94,68	
S8	22	93,41	92,53
	23	91,55	
	24	92,62	
S9	25	94,13	94,02
	26	92,29	
	27	95,63	

Kür sürelerinin tamamlanmasının ardından, deney numuneleri kalıplardan çıkartılmış, ölçüm cihazları ve çelik plağın sabitlenebilmesi için, Şekil 5.11’de şematik olarak gösterildiği gibi gerekli mesafeler belirlenmiştir.



Şekil 5.11. Deney numunesi üzerindeki ölçüm cihazları

Kalıplardan çıkartılan deney numunelerinin üzerinde belirlenen yerlere, Şekil 5.12’de gösterildiği gibi matkap yardımıyla delikler açılmıştır.



Şekil 5.12. Deney numunesi üzerinde açılan delikler

Deliklerin açılmasının ardından, deney numunelerinin yüzeyleri Şekil 5.13'te gösterildiği gibi sentetik beyaz boya ile boyanarak, deney numuneleri üzerinde oluşacak olan çatlakların, daha rahat gözlemlenebilmesi sağlanmıştır.



Şekil 5.13. Sentetik beyaz boya ile boyanmış deney numuneleri

Boyama işlemi tamamlandıktan sonra, 6 mm çapındaki setskur vidalar, deney numunelerinin üzerine ankraj yapılarak sabitlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Deney numunelerinin üzerine sabitlenen vidalar

Tüm deney numunelerinin orta kısmına, çapraz olarak yerleştirilmiş olan setskur vidaların üzerine gelecek şekilde, kauçuk parça ve çelik plak yerleştirilmiştir. İvmeölçerlerin bağlantılarının yapılacağı vidaların üzerine ise piriç aparatlar yerleştirilmiştir. Bağlantısı yapılan piriç aparatların üzerine, birer adet olmak üzere, toplamda iki adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı noktaya yakın bir yerden matkapla delik açılarak, İvdt'nin bağlantısı yapılmıştır. Çekicinin uç kısmına, her bir serbest düşme hareketindeki çarpma kuvveti değerini belirlemek amacıyla, kuvvet algılayıcısı bağlanmıştır.

Deneysel çalışma kapsamında yürütülen çarpma deneylerinde, çekicinin kütlesi 4,125 kg, serbest düşme yüksekliği ise 600 mm olarak alınarak, numuneler üzerine sabit çarpma enerjisi uygulanmıştır.

6. ÇARPMA DENEYLERİ

Çarpma deneyleri için hazır hale getirilen deney numuneleri, deney düzeneği üzerinde çarpma yüklemesi yapılarak sırayla test edilmiştir. Tüm deneylerde, çarpma yüklemesini uygulayan çekicinin kütlesi 4,125 kg, serbest düşme yüksekliği ise 600 mm olarak alınmıştır. Serbest düşme hareketi sonucunda noktasal olarak uygulanan çarpma yüklemesini, deney numuneleri üzerinde üniform olarak dağıtabilmek için, kauçuk malzeme ve 50x50x10 mm boyutlarında çelik plak kullanılmıştır.

6.1. S1 Deney Numunesi

Deney düzeneği üzerine yerleştirilen S1 numunesi üzerinde belirlenen yerlere, ivmeölçerler ve lvd'ter yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilmiştir. Mesnet aparatları kullanılarak, deney numunesi karşılıklı kenarlarından deney düzeneğine sabitlenmiştir. Çekiç kütlesi ve serbest düşme yüksekliği ayarlandıktan sonra, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.1).



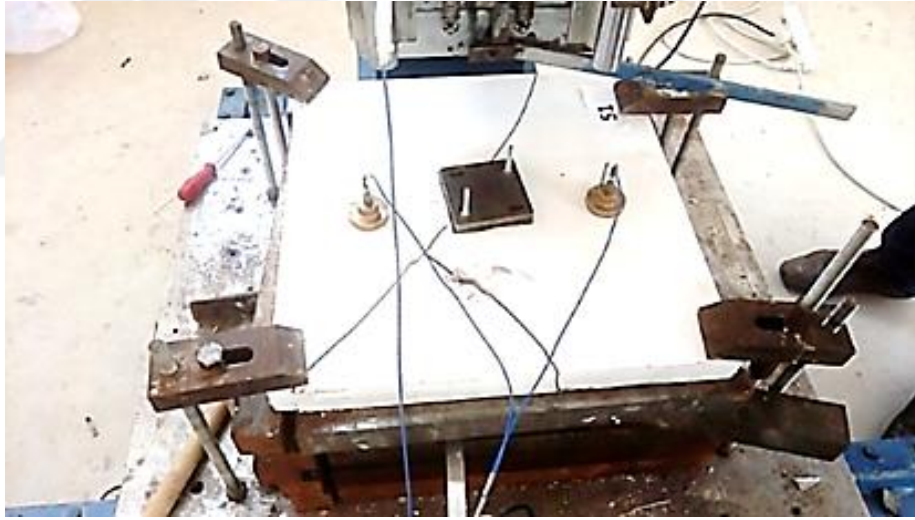
Şekil 6.1. S1 deney numunesi

Numunede göçme oluşana kadar deneylere devam edilmiştir. S1 deney numunesinde, toplam 9 adet düşme yapılmıştır. 5. düşme hareketinden sonra, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmıştır. 8. düşmeden sonra, deney numunesinde

göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.2. S1 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.3. S1 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



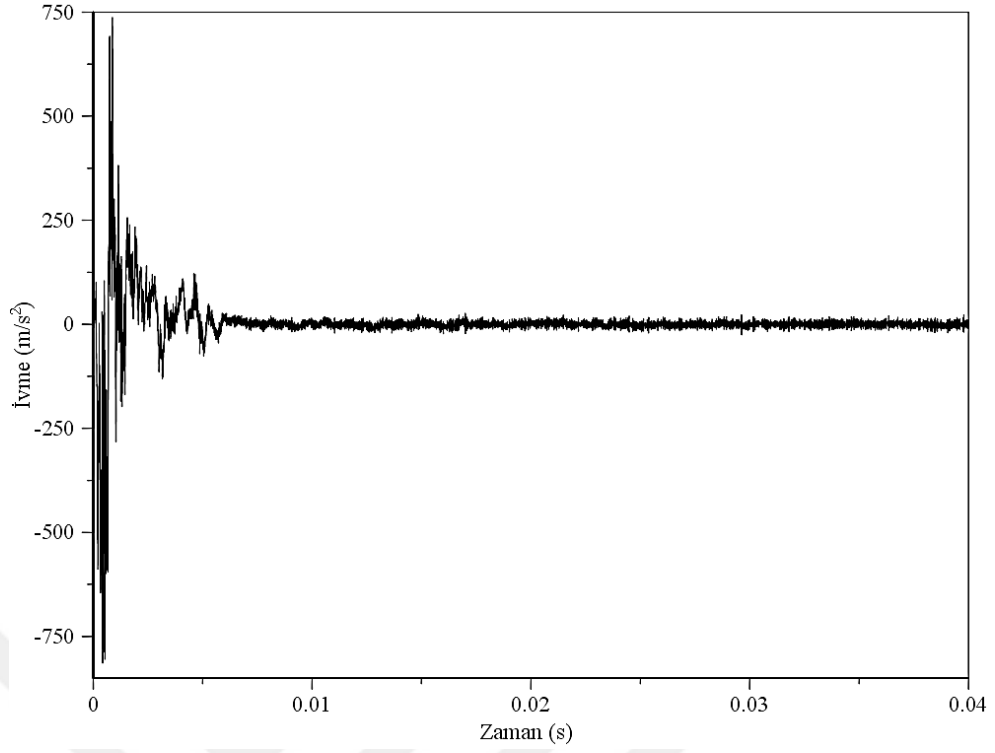
Şekil 6.4. S1 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

Deneyler sırasında, S1 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.1’de görülmektedir.

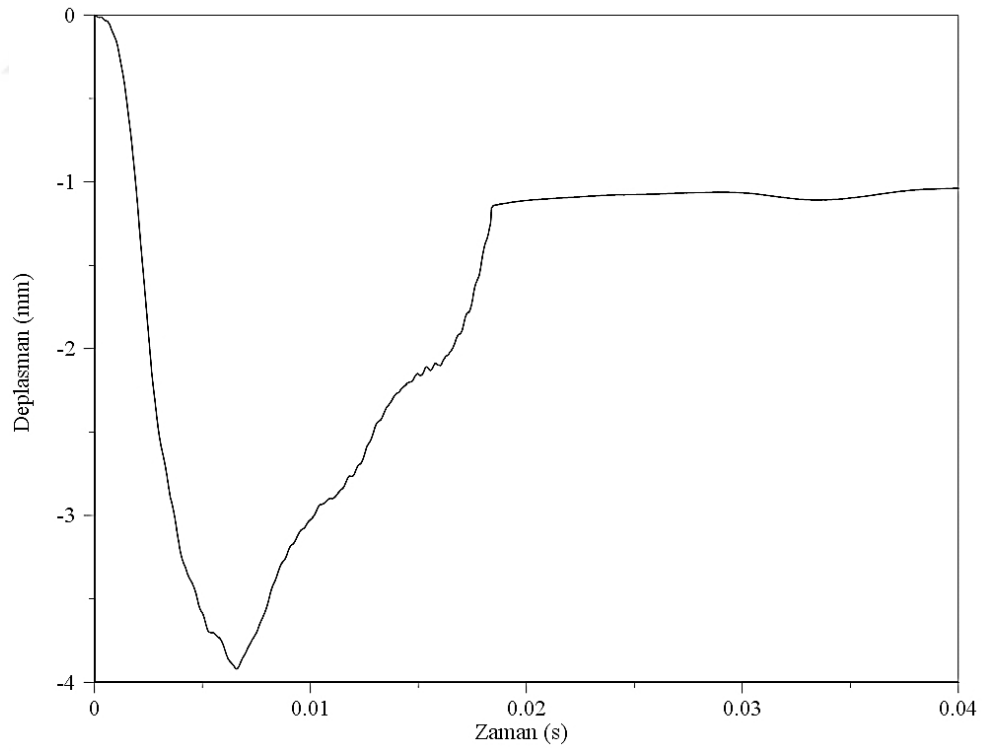
Tablo 6.1. S1 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-813,64	736,30	3,92	18130,52
Göçme	-327,76	408,13	8,90	11394,17

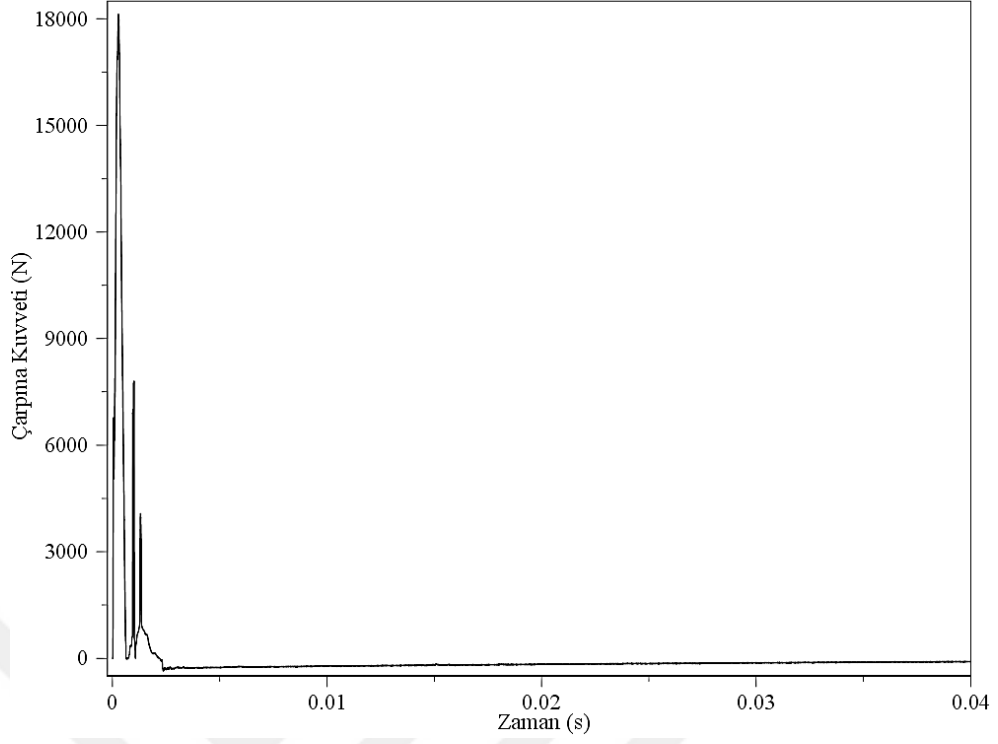
S1 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.5-6.8 arasında sunulmuştur.



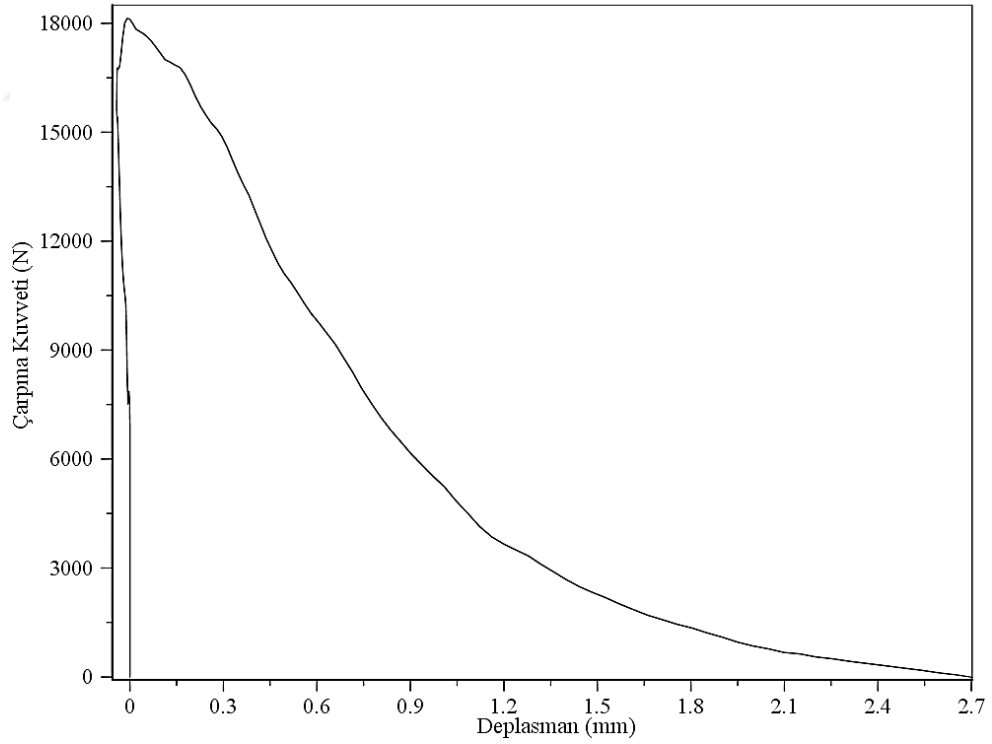
Şekil 6.5. S1 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.6. S1 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

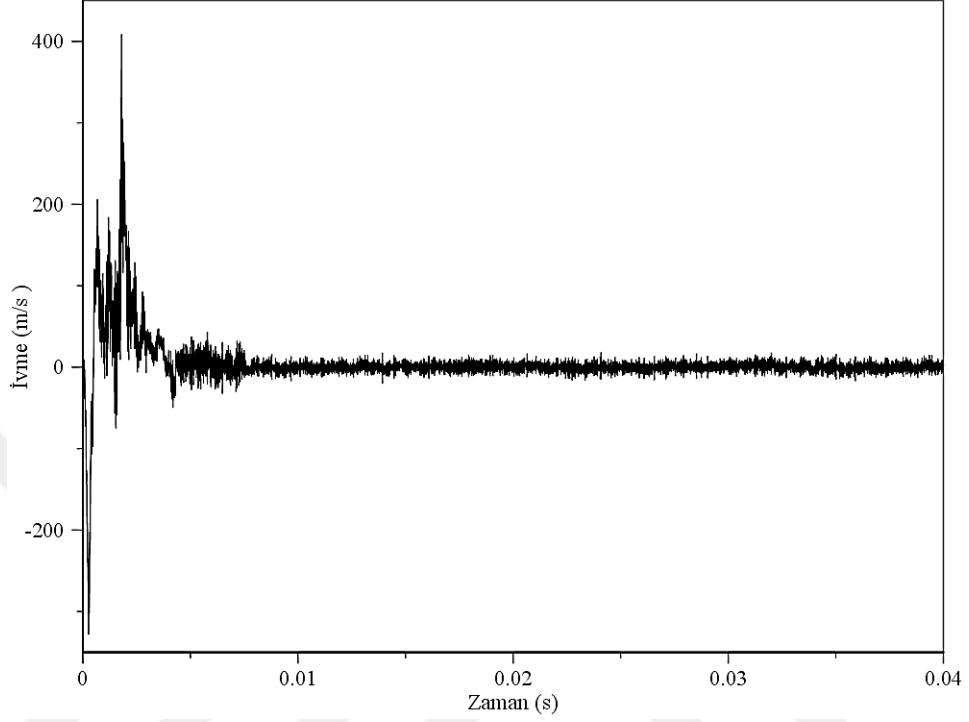


Şekil 6.7. S1 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

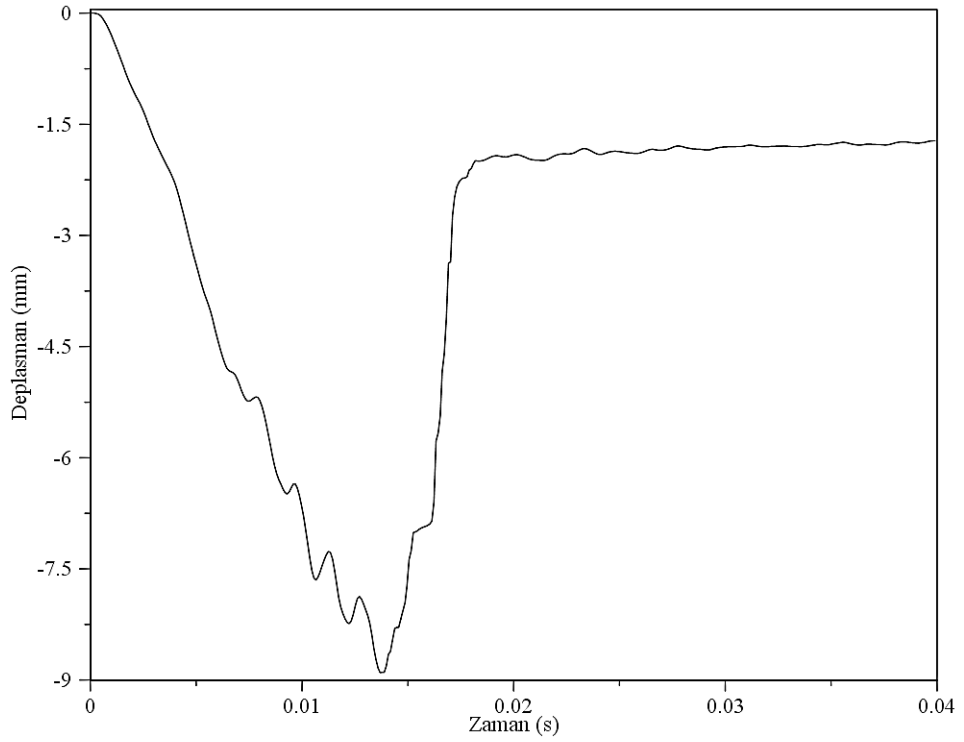


Şekil 6.8. S1 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

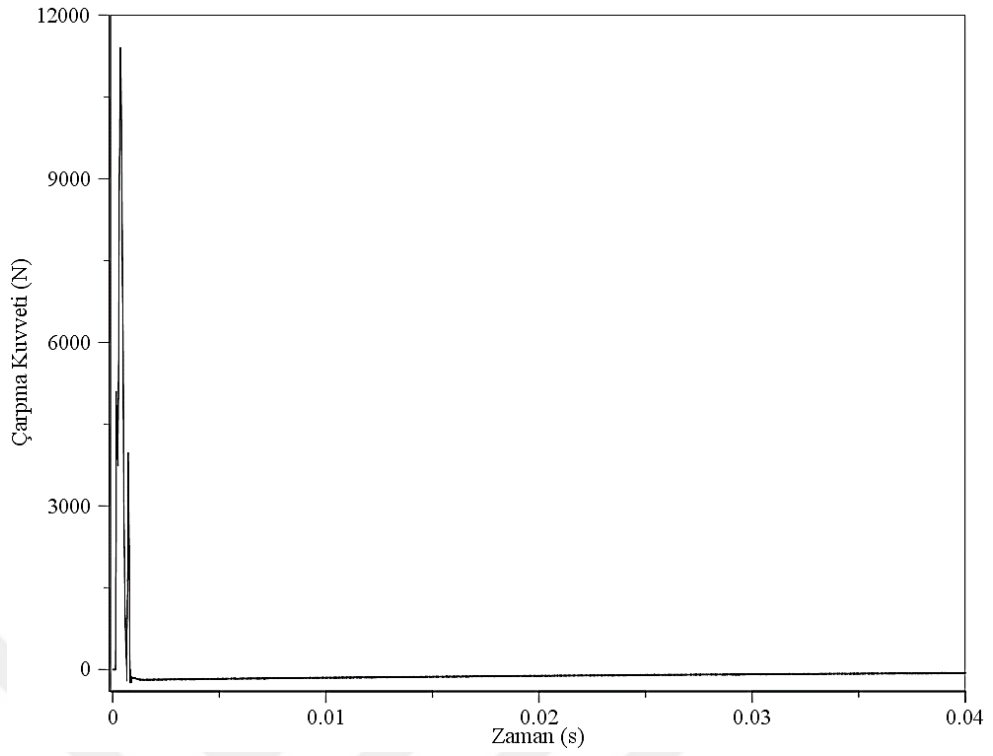
S1 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.9-6.12 arasında sunulmuştur.



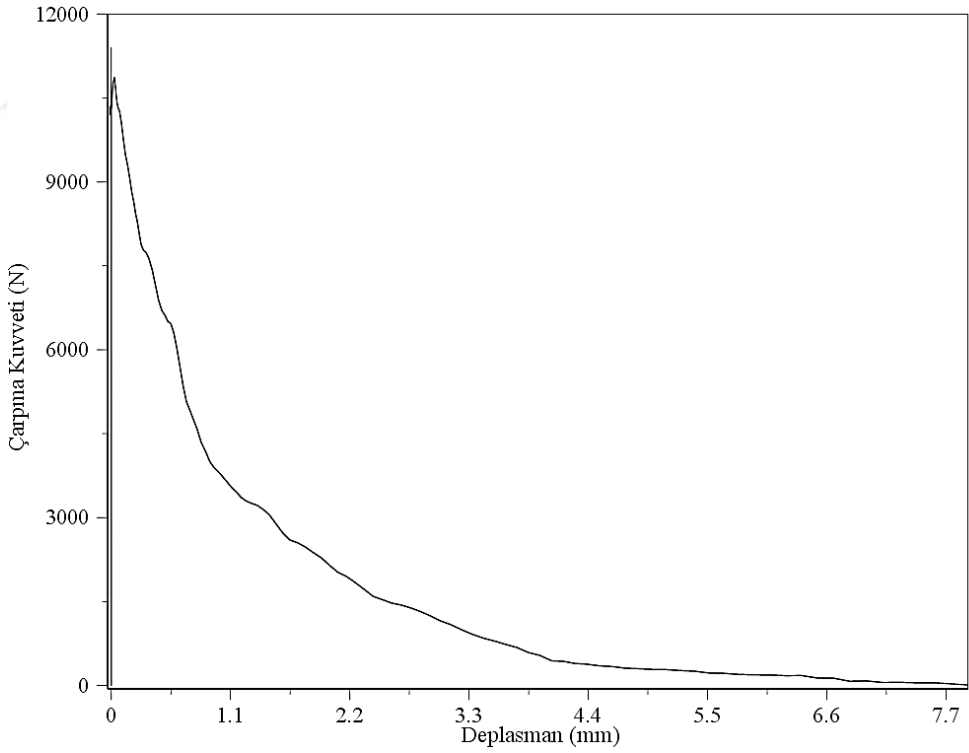
Şekil 6.9. S1 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.10. S1 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



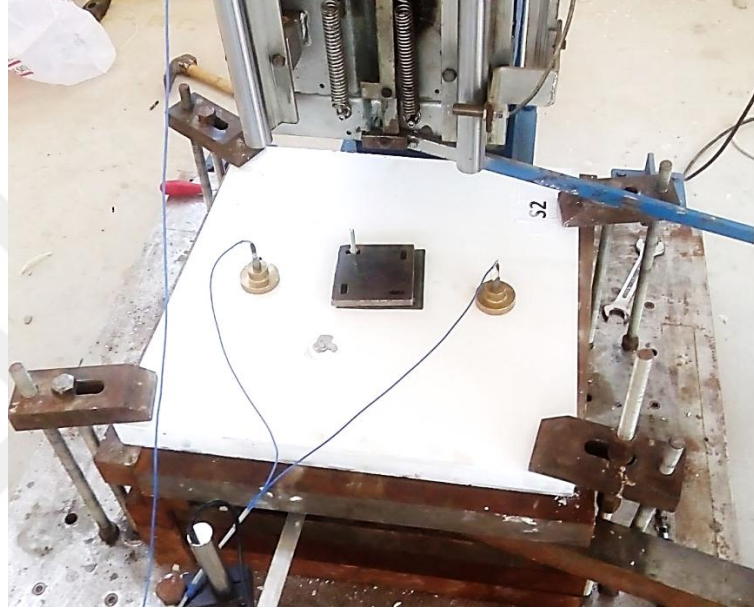
Şekil 6.11. S1 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.12. S1 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

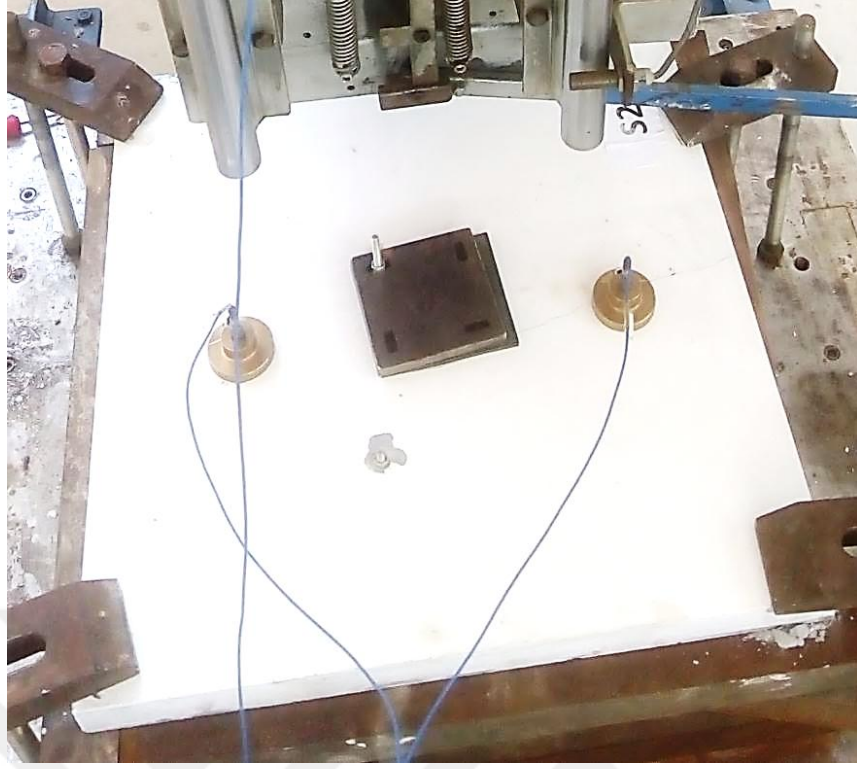
6.2. S2 Deney Numunesi

S2 numunesi deney düzeneği üzerine yerleştirildikten sonra, numune üzerinde belirlenen yerlere ölçüm aygıtları yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, üniform yük dağılımının sağlanabilmesi için, çelik plak ve kauçuk malzeme monte edilmiştir. Deney numunesi, mesnet aparatları kullanılarak, deney düzeneğine sabitlenmiştir. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütesinin ayarlanmasının ardından, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.13).

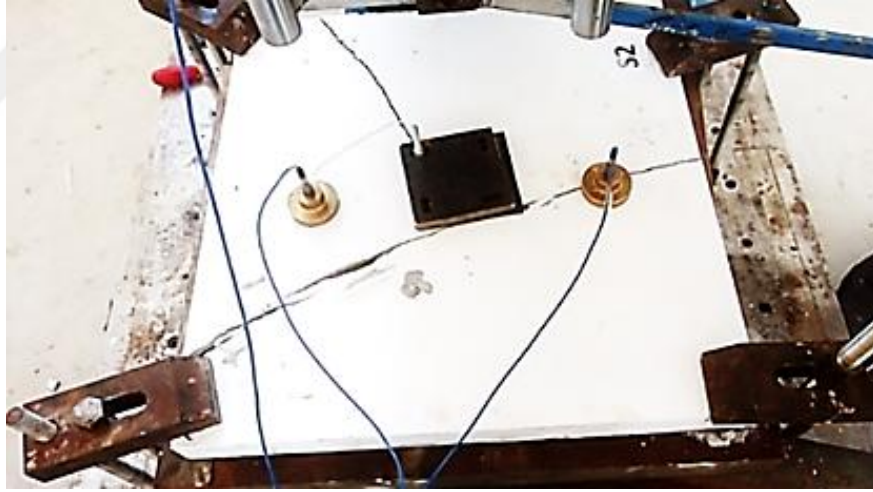


Şekil 6.13. S2 deney numunesi

Deney numunesi üzerinde, göçme hasar durumu oluşana kadar deneylere devam edilmiştir. S2 deney numunesi üzerinde yapılan toplam 9 adet düşme hareketinin ardından, deney sonlandırılmıştır. 4. düşme hareketinden sonra, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmıştır. 8. düşmeden sonra, deney numunesinde göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.14. S2 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.15. S2 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



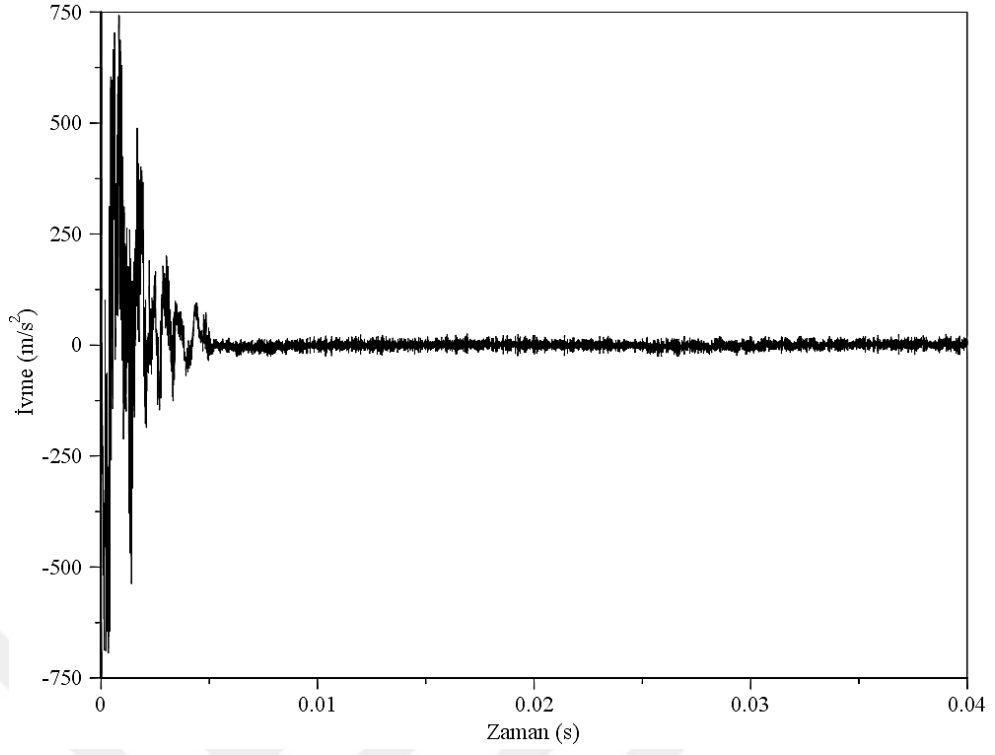
Şekil 6.16. S2 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

S2 deney numunesinde, deneyler sırasında oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.2’de görülmektedir.

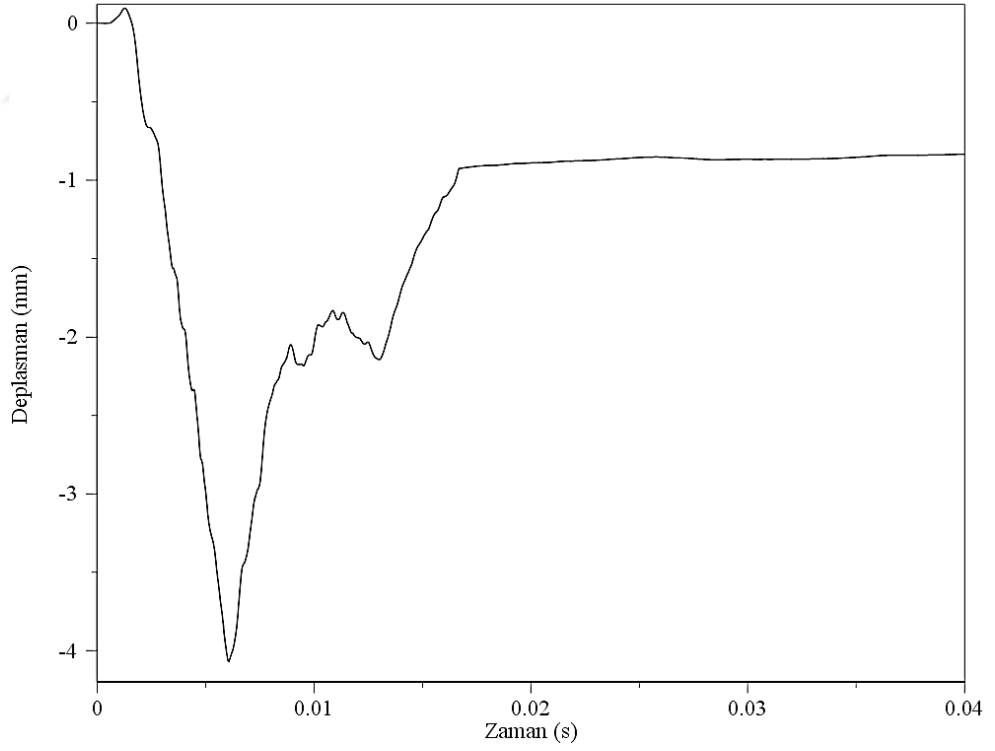
Tablo 6.2. S2 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-693,24	741,88	4,07	18007,19
Göçme	-342,61	379,78	8,52	11576,39

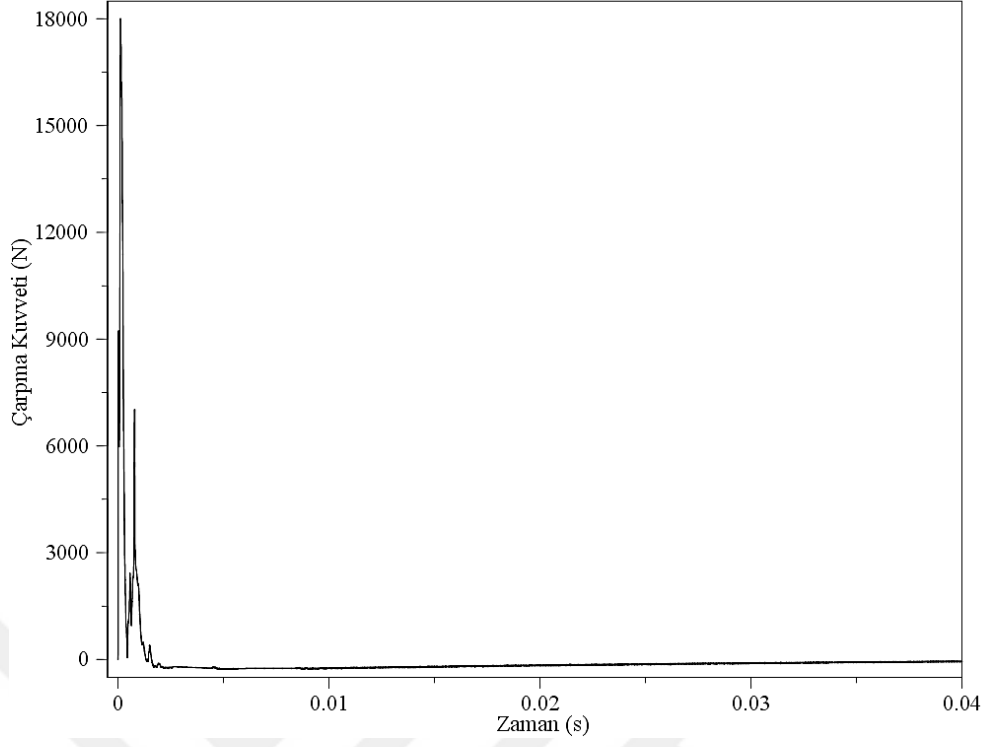
S2 deney numunesinde, çekicinin yaptığı ilk düşme hareketi için belirlenen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.17-6.20 arasında verilmiştir.



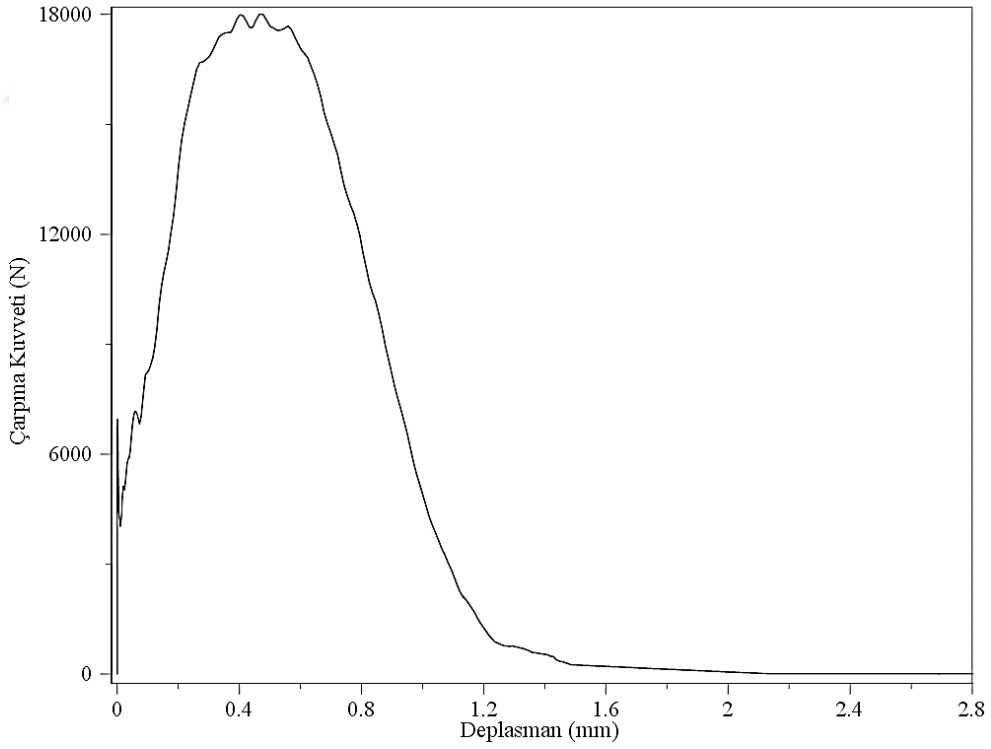
Şekil 6.17. S2 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.18. S2 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

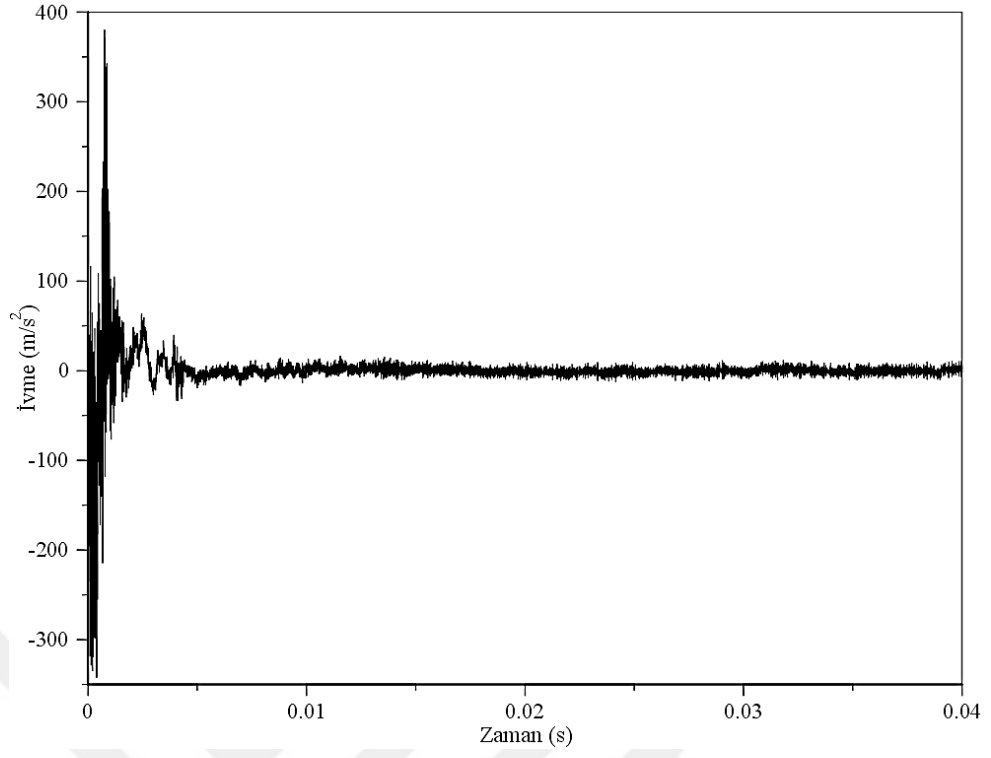


Şekil 6.19. S2 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

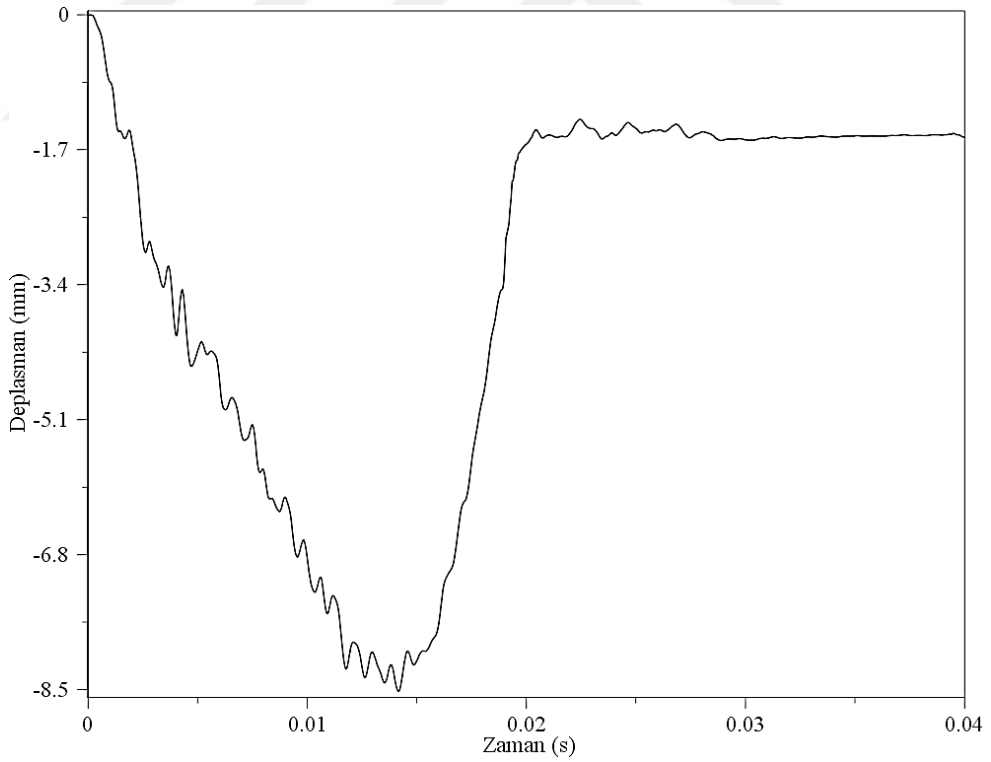


Şekil 6.20. S2 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

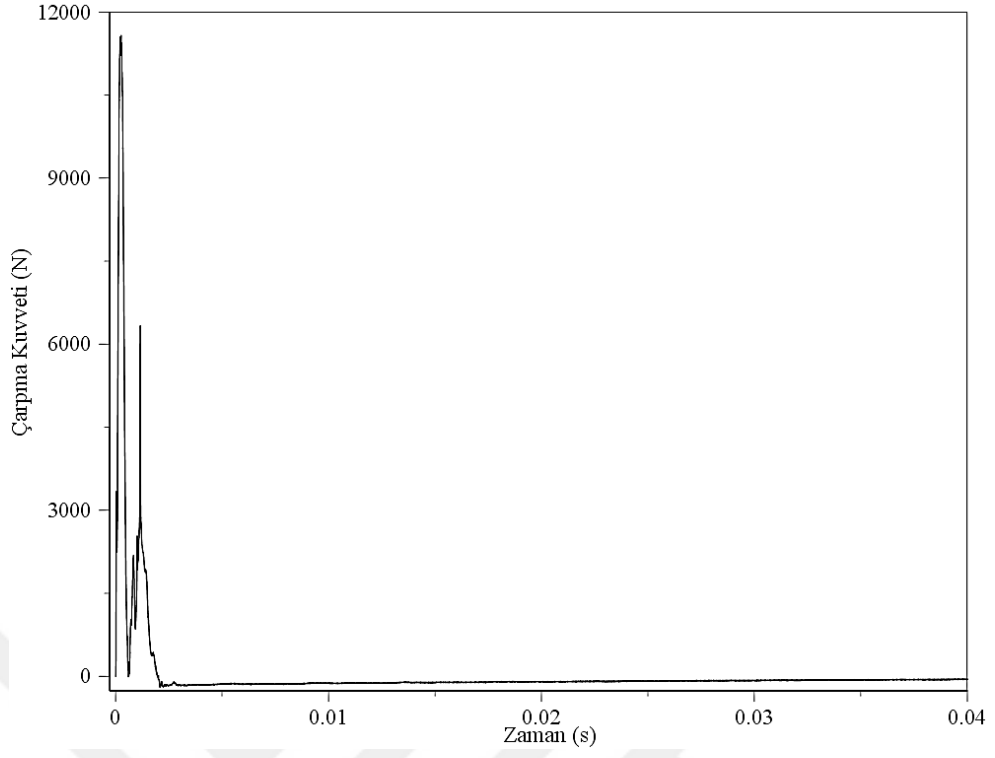
S2 deney numunesinde, göçme hasar durumunda ölçülen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile çizilen grafikler, Şekil 6.21-6.24 arasında sunulmuştur.



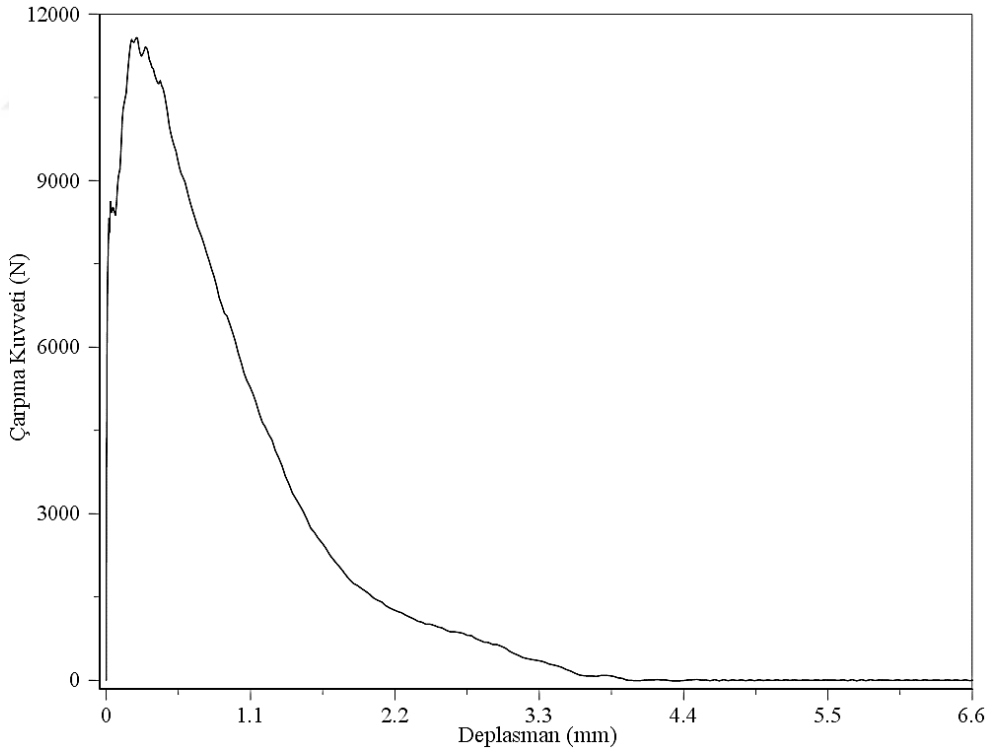
Şekil 6.21. S2 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.22. S2 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



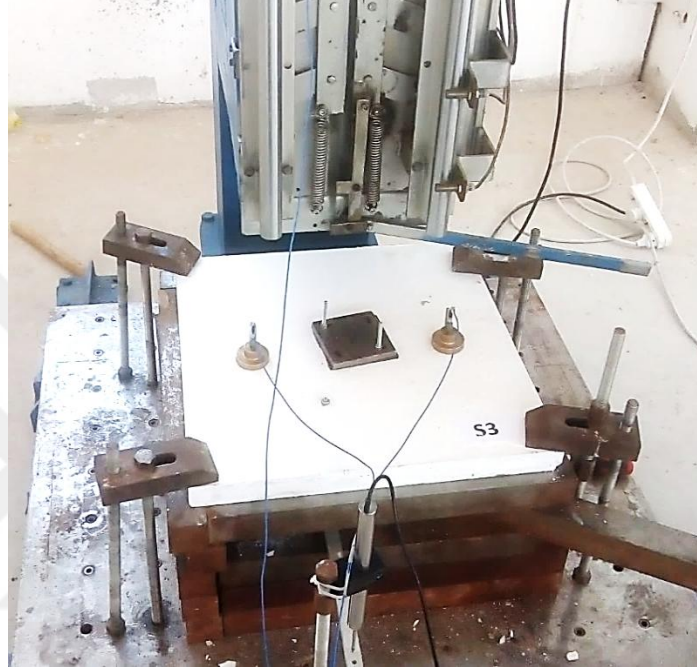
Şekil 6.23. S2 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.24. S2 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

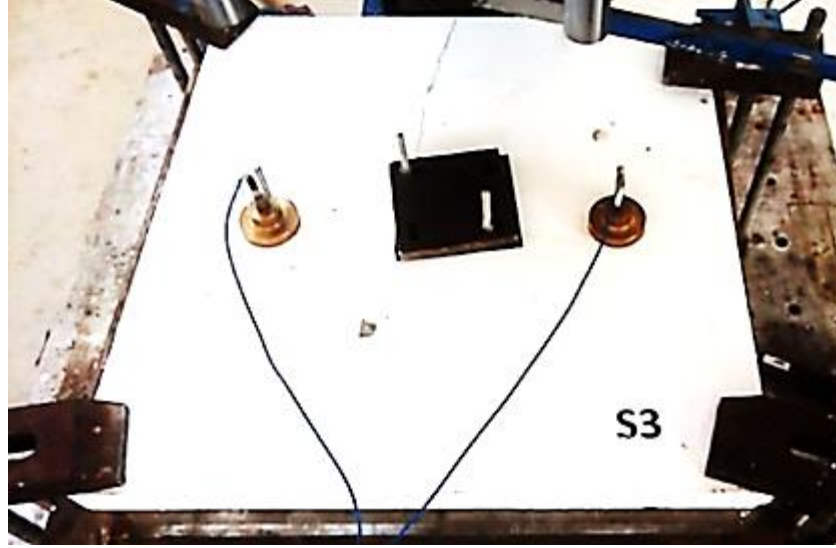
6.3. S3 Deney Numunesi

S3 deney numunesinde öncelikle belirlenen yerlere, ivmeölçer, lvd't ve kuvvet algılayıcısı yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilmiştir. Mesnet aparatları yardımıyla, deney numunesinin mesnet koşulları sağlanmıştır. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi ayarlandıktan sonra deneylere başlanmıştır (Şekil 6.25).

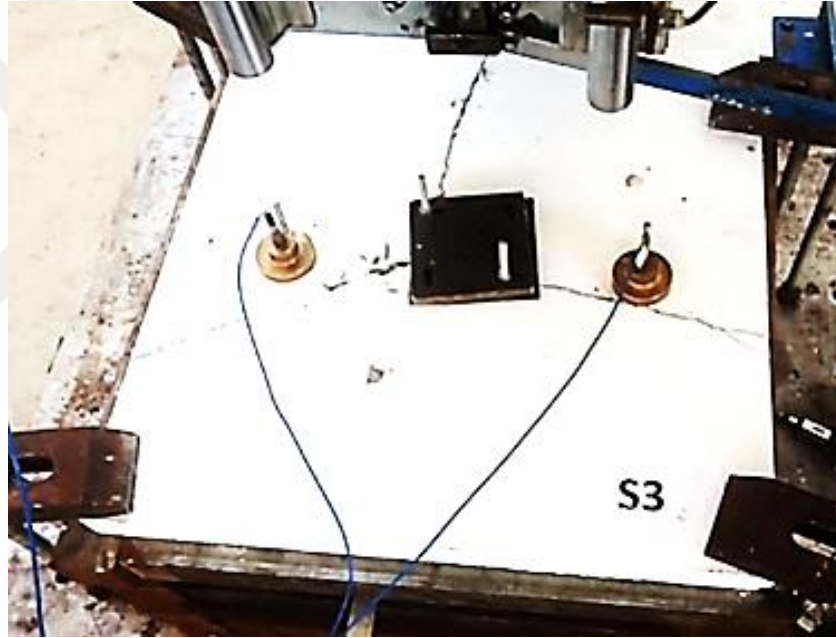


Şekil 6.25. S3 deney numunesi

Yapılan deneylere, göçme hasar durumu oluşana kadar devam edilmiştir. S3 deney numunesi üzerinde yapılan toplam 8 adet serbest düşme hareketinin ardından, deney sonlandırılmıştır. 4. düşme hareketinden sonra, çatlak sayısı ve genişliği belirgin oranda artış göstermiştir. 7. düşme, deney numunesinde maksimum deplasmanın oluştuğunu göstermiş ve göçme hasar durumunun oluştuğu anlaşılmıştır. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.26. S3 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.27. S3 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



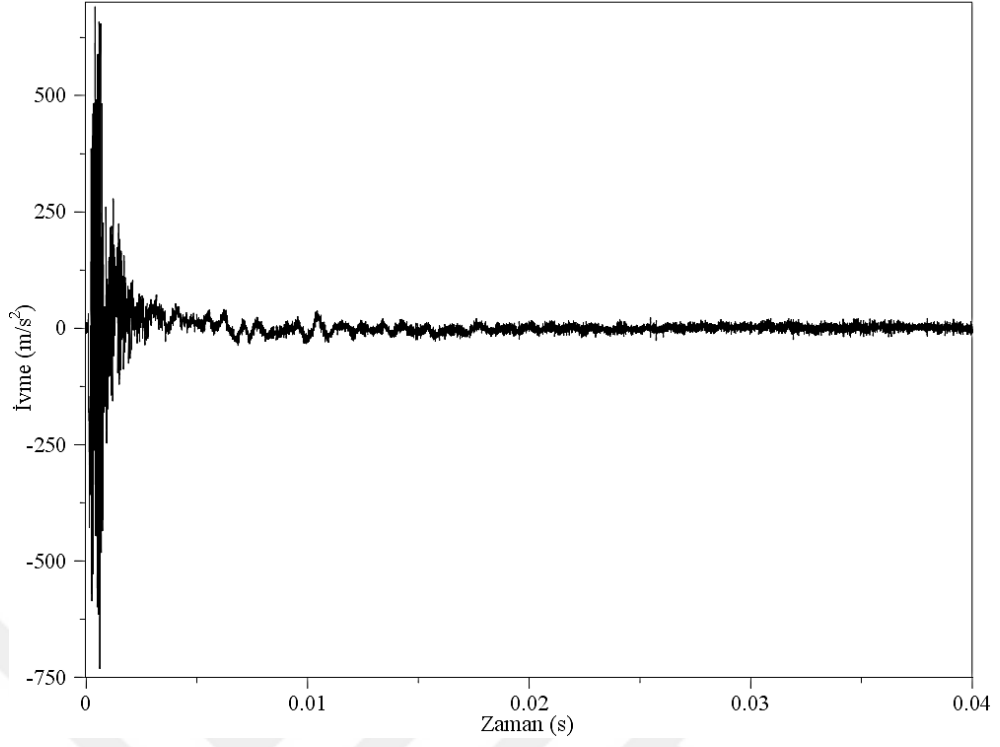
Şekil 6.28. S3 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

S3 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları kullanılarak, kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.3'te görülmektedir.

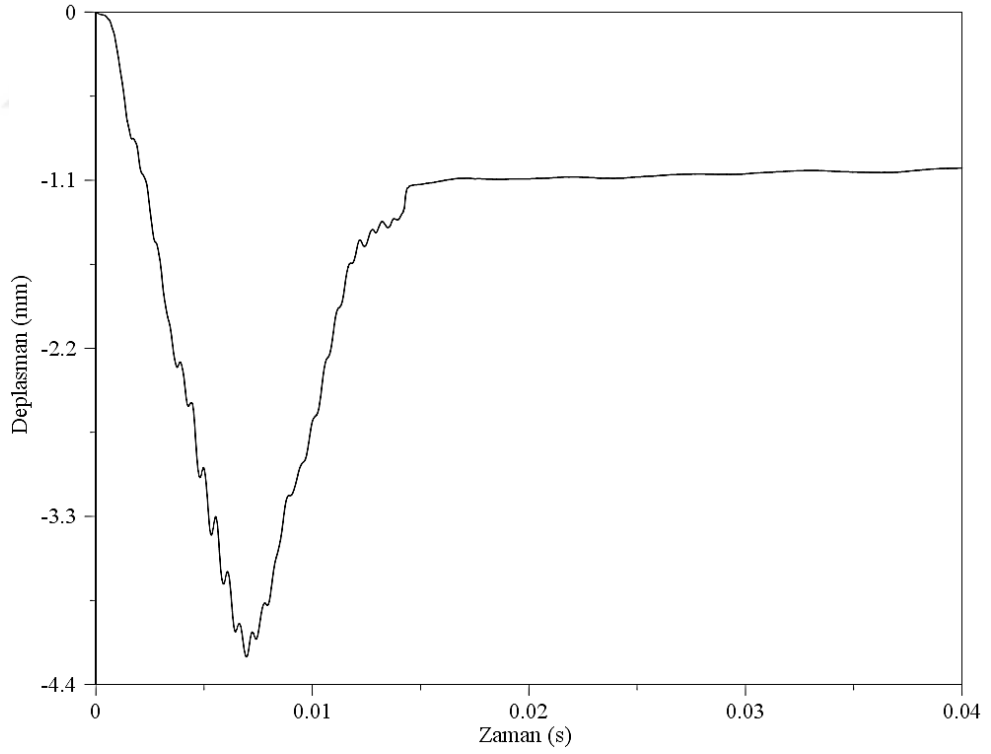
Tablo 6.3. S3 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-730,50	690,02	4,22	17586,96
Göçme	-404,76	316,33	9,04	11199,17

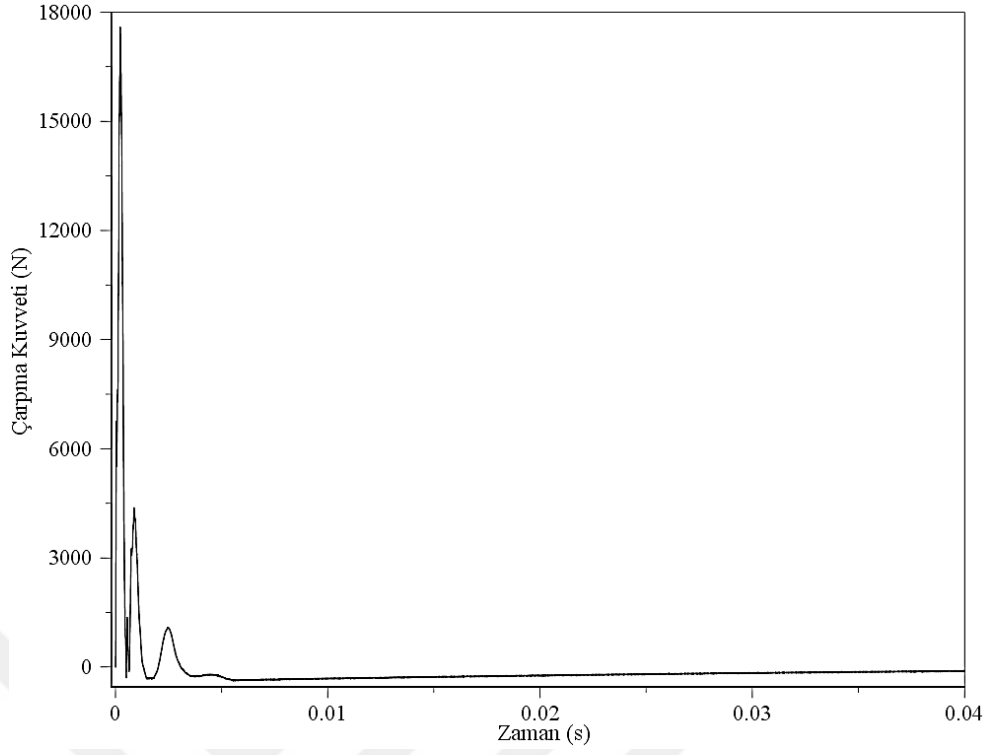
S3 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.29-6.32 arasında sunulmuştur.



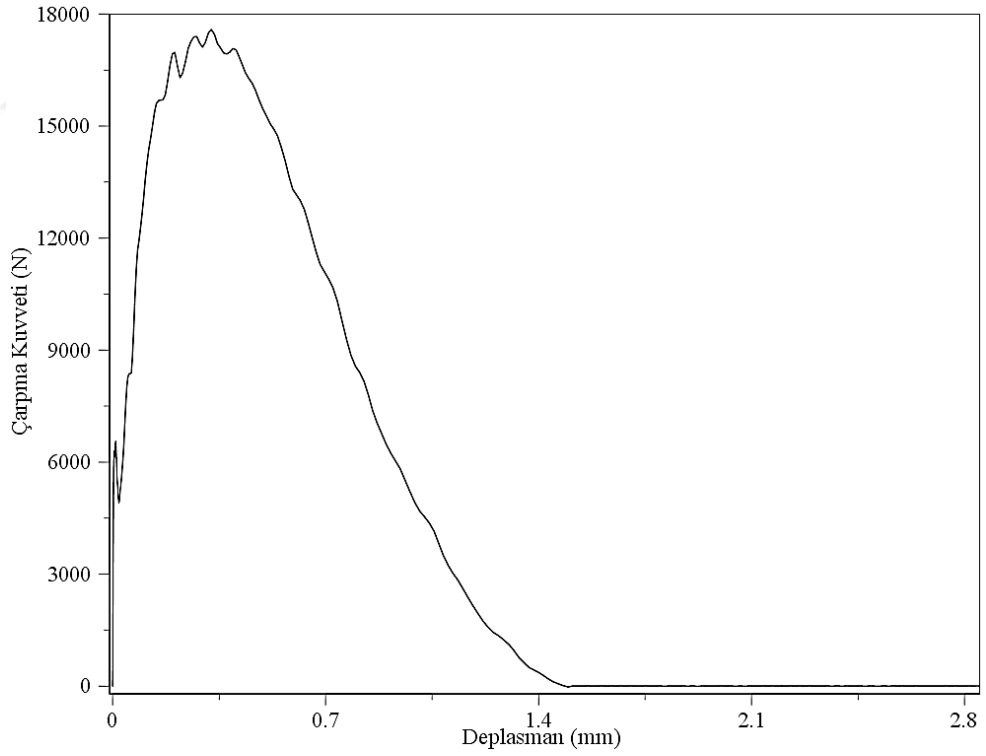
Şekil 6.29. S3 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.30. S3 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

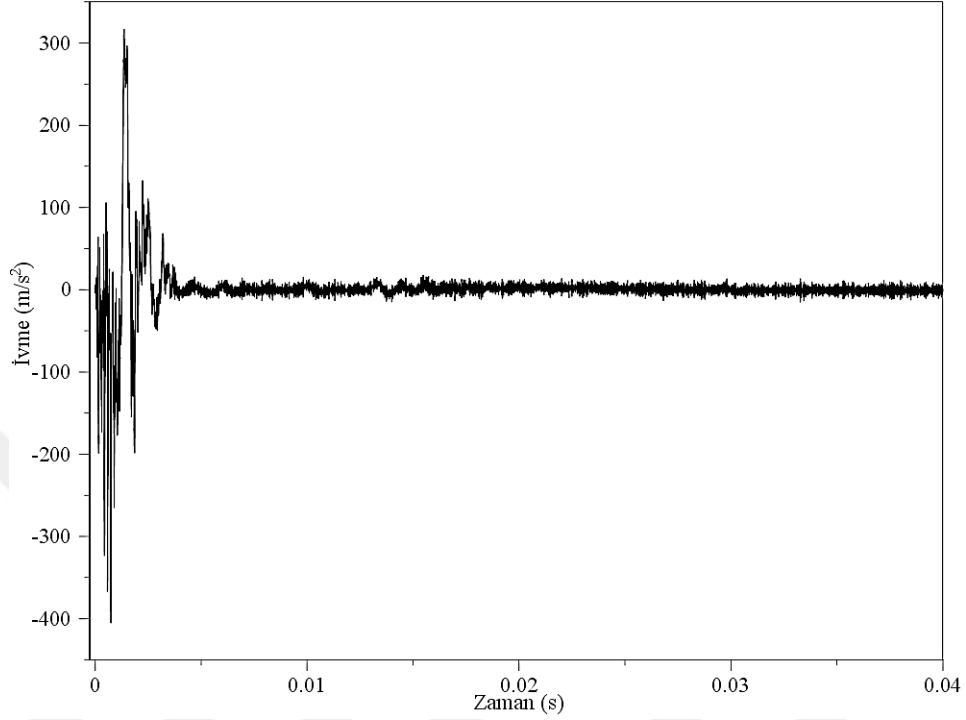


Şekil 6.31. S3 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

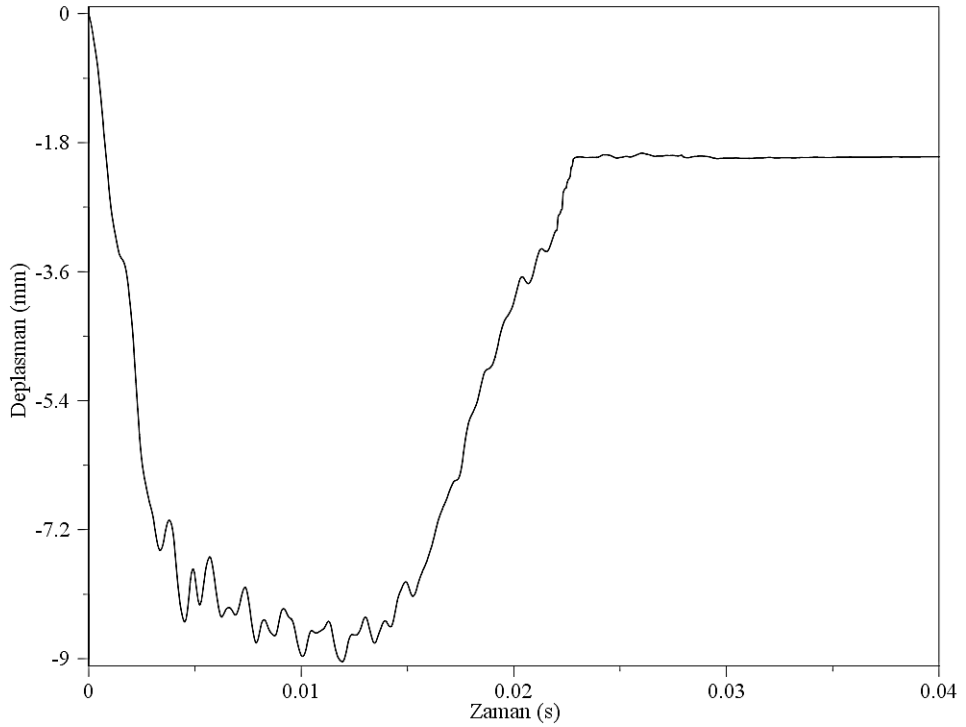


Şekil 6.32. S3 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

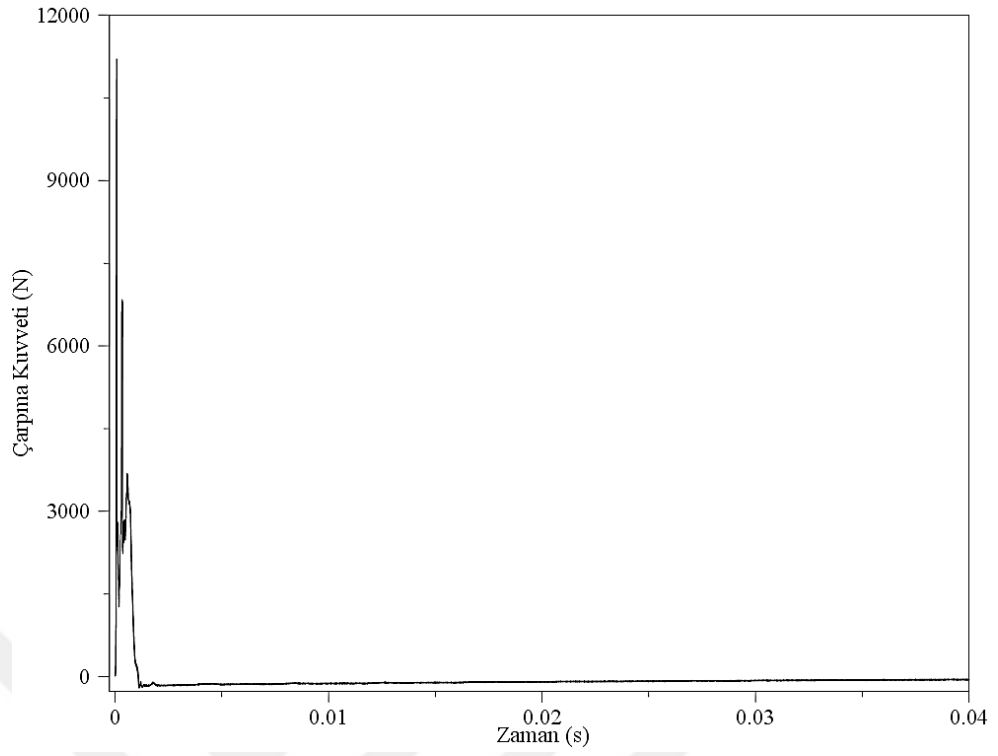
S3 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.33-6.36 arasında sunulmuştur.



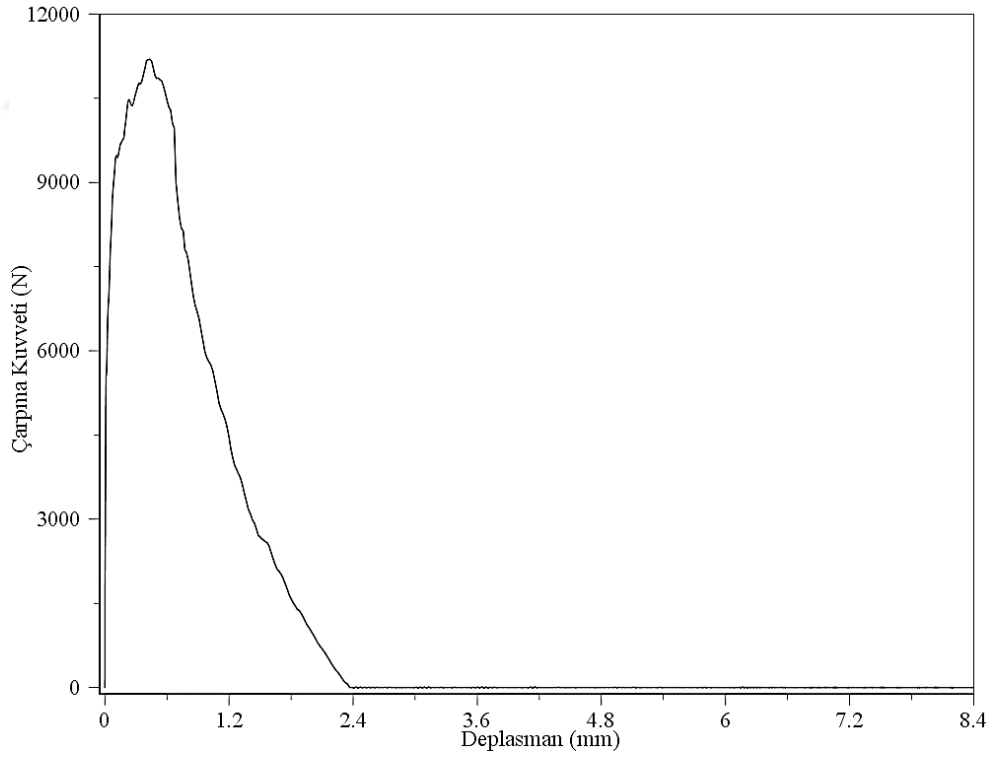
Şekil 6.33. S3 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.34. S3 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



Şekil 6.35. S3 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.36 S3 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

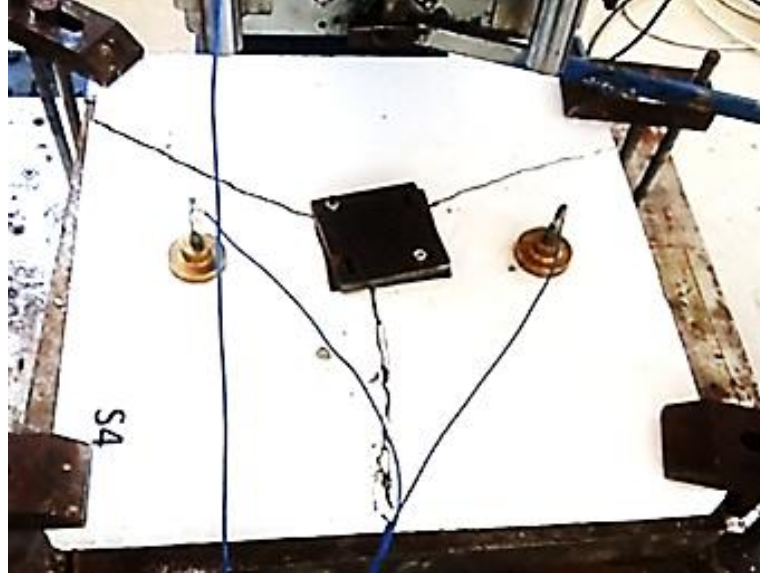
6.4. S4 Deney Numunesi

S4 deney numunesi üzerinde belirlenen yerlere ölçüm cihazları yerleştirilerek, numune deneye hazır hale getirilmiştir. Üniform yük dağılımını sağlayabilmek için, çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, çelik plak ve kauçuk malzeme monte edilmiştir. Deney numunesi, mesnet aparatları ile karşılıklı kenarlarından deney düzeneğine sabitlenmiştir. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesinin ayarlanmasının ardından, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.37).

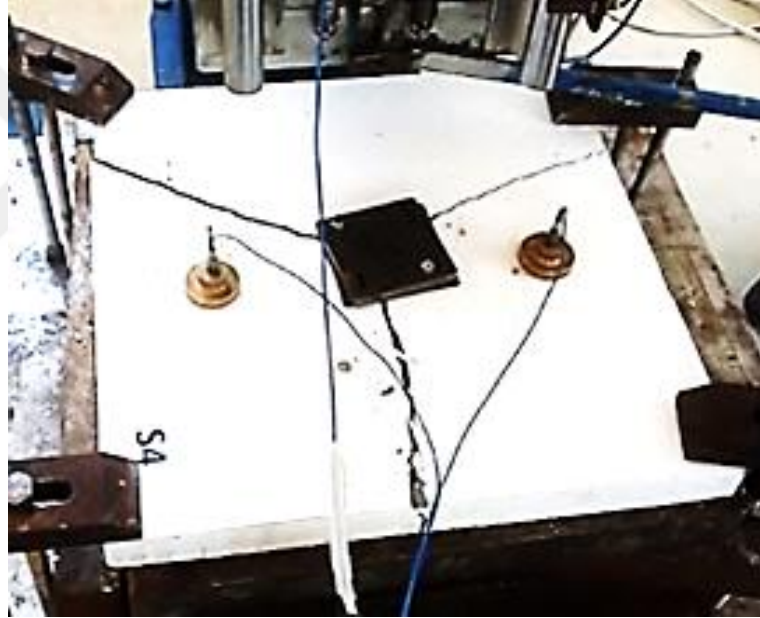


Şekil 6.37. S4 deney numunesi

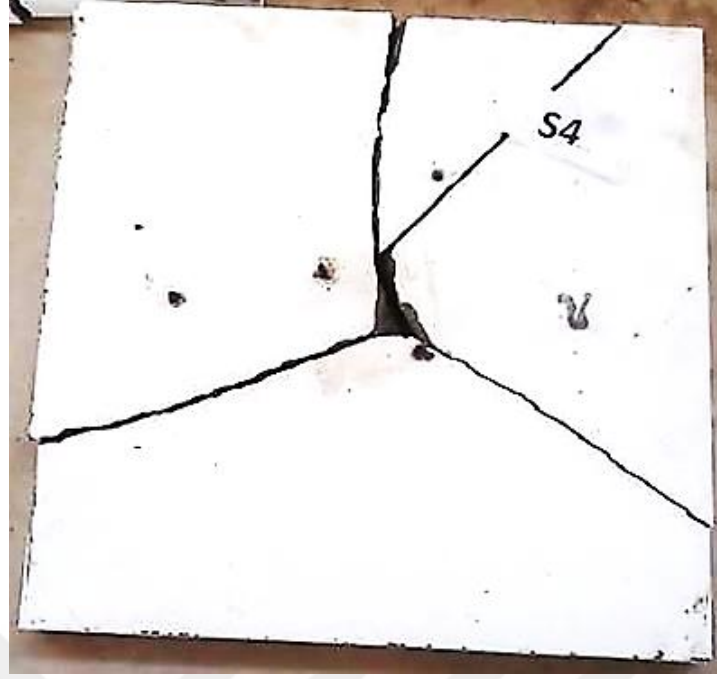
S4 deney numunesi üzerinde, göçme hasar durumu oluşana kadar deneylere devam edilmiştir. Toplam 12 adet düşme hareketinin ardından, deneyler tamamlanmıştır. 8. serbest düşme hareketinin, çatlak genişliği ve sayısını belirgin oranda artırdığı, 11. düşme hareketinin ardından, göçme hasar durumunun oluştuğu görülmüştür. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.38. S4 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.39. S4 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



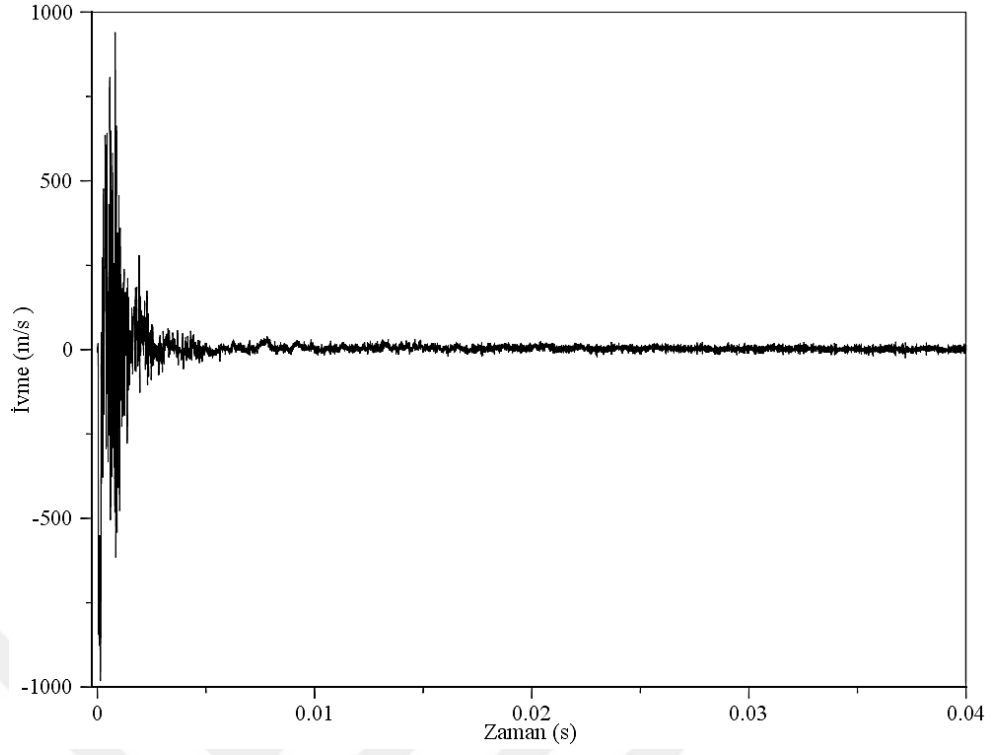
Şekil 6.40. S4 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

S4 deney numunesinde, deneyler sırasında oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, İvdt ve kuvvet algılayıcısı ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.4'te görülmektedir.

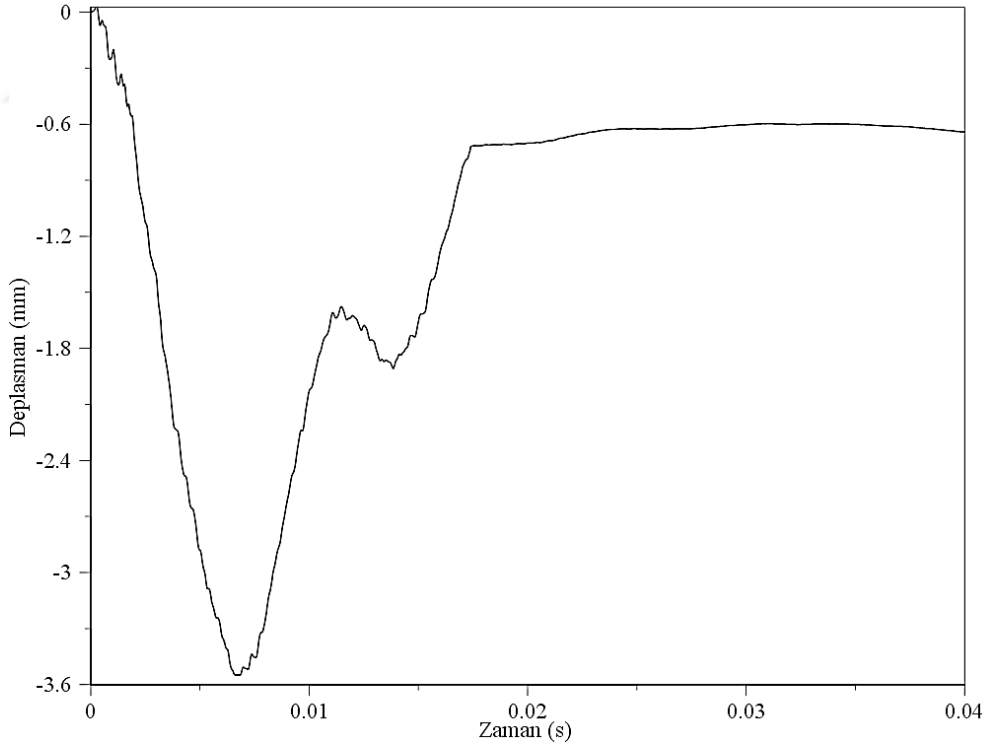
Tablo 6.4. S4 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-980,60	938,97	3,55	21303,43
Göçme	-523,82	439,85	7,07	12424,81

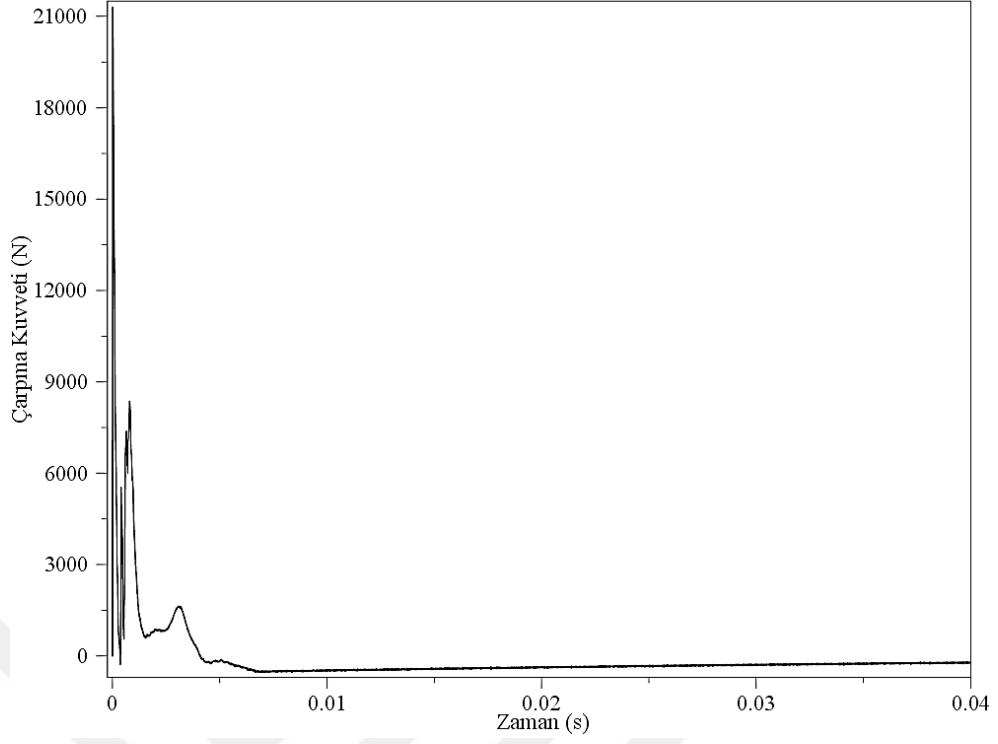
S4 deney numunesinde, ölçüm cihazları ile ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.41-6.44 arasında sunulmuştur.



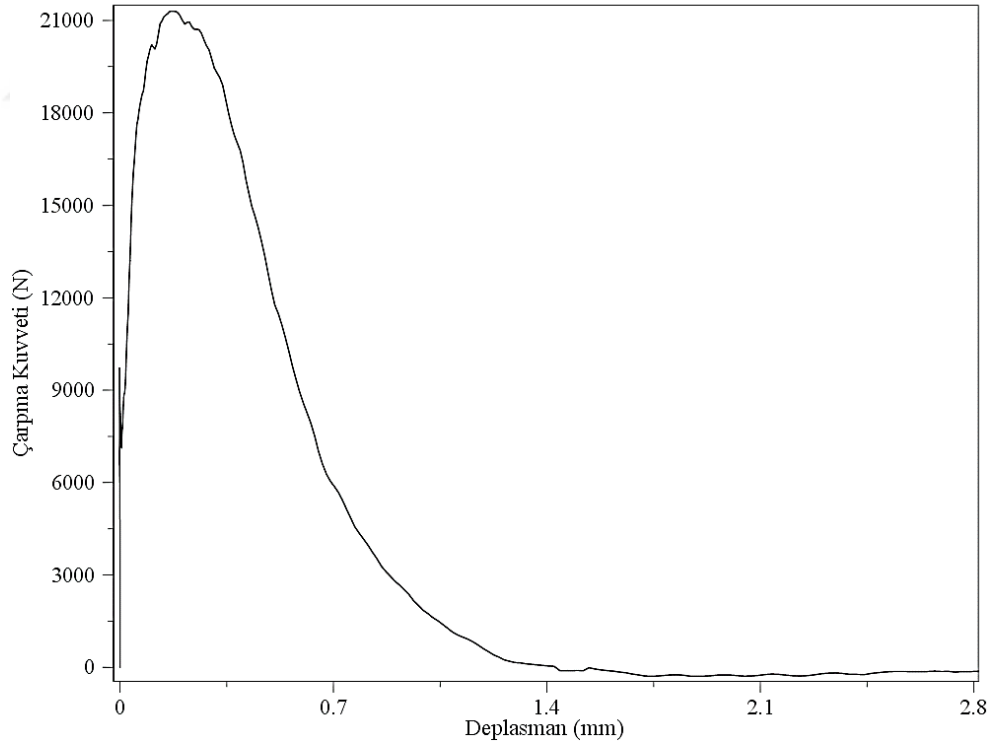
Şekil 6.41. S4 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.42. S4 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

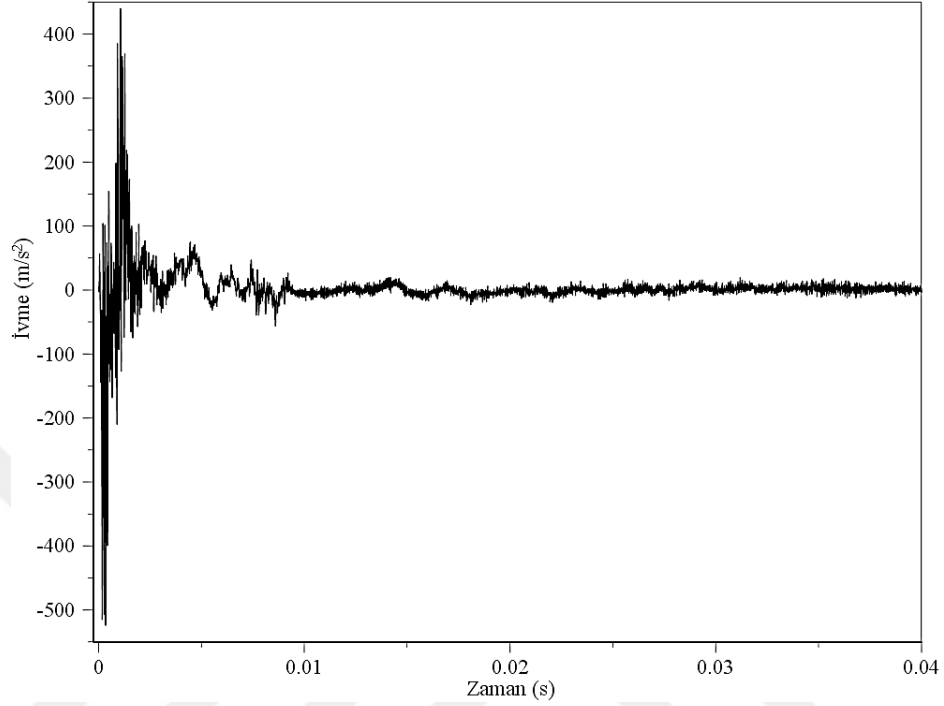


Şekil 6.43. S4 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

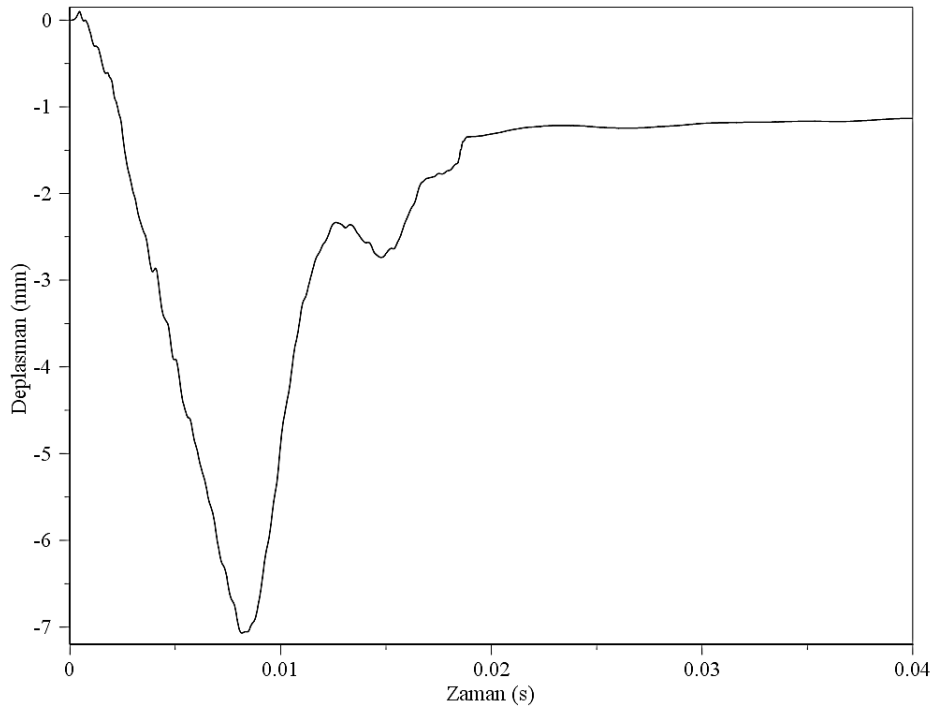


Şekil 6.44. S4 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

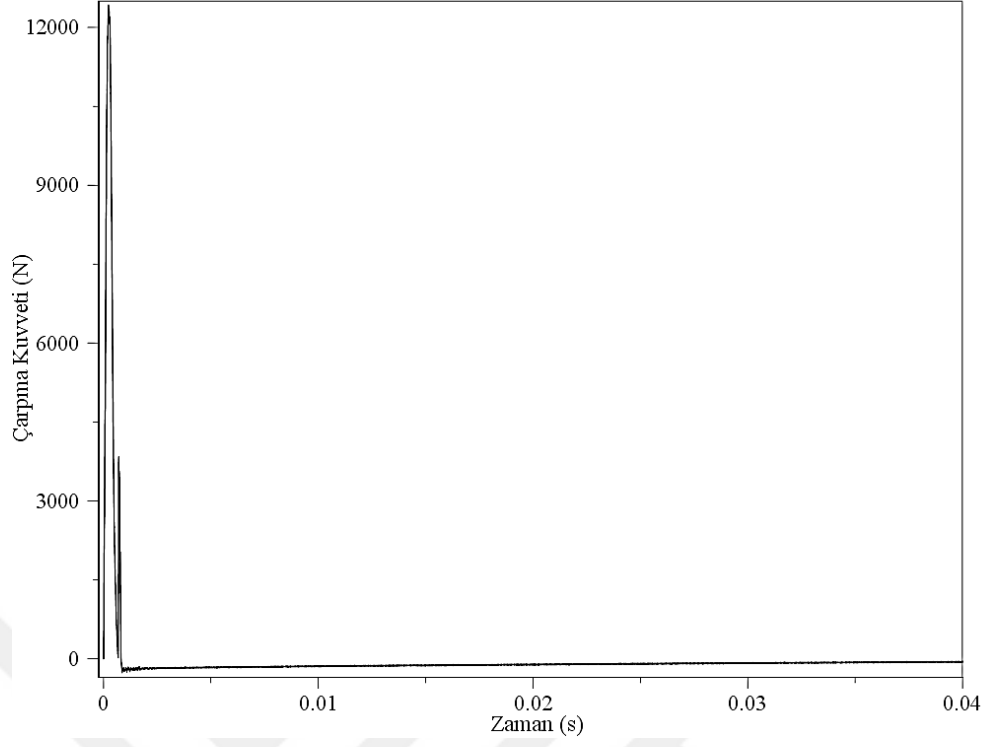
S4 deney numunesinde, göçme hasar durumunda oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri kullanılarak çizilen grafikler, Şekil 6.45-6.48 arasında verilmiştir.



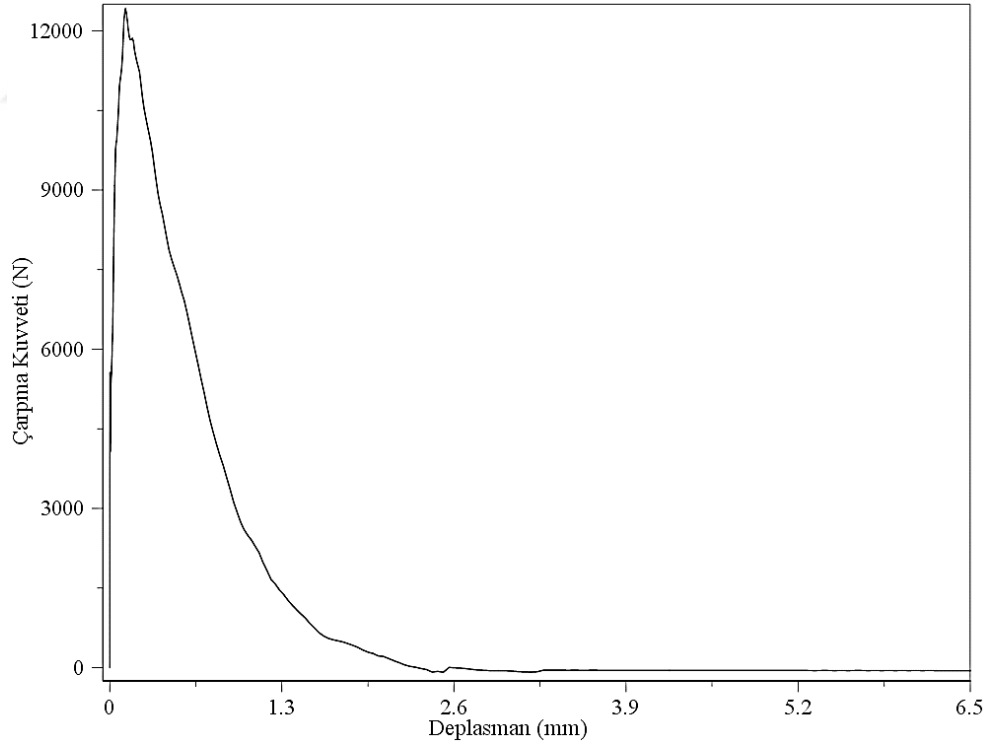
Şekil 6.45. S4 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.46. S4 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



Şekil 6.47. S4 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.48. S4 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

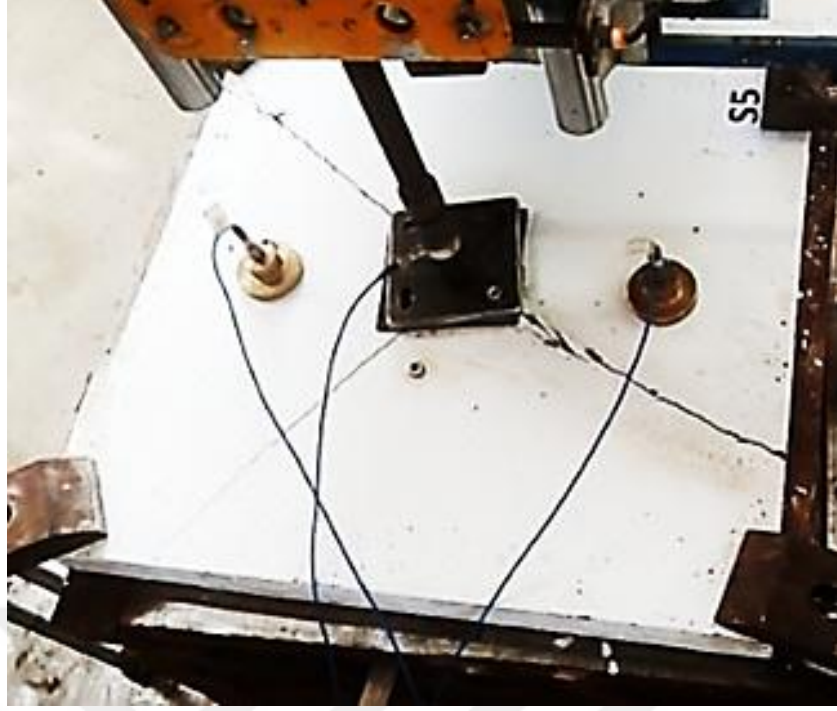
6.5. S5 Deney Numunesi

Deney düzeneğine yerleştirilen S5 numunesinde belirlenen yerlere, ivmeölçer, lvd't ve kuvvet algılayıcısı monte edilmiştir. Numune, mesnet aparatları kullanılarak deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilerek, üniform yük dağılımının oluşturulması hedeflenmiştir. Son olarak, serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesinin ayarlanmasının ardından, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.49).

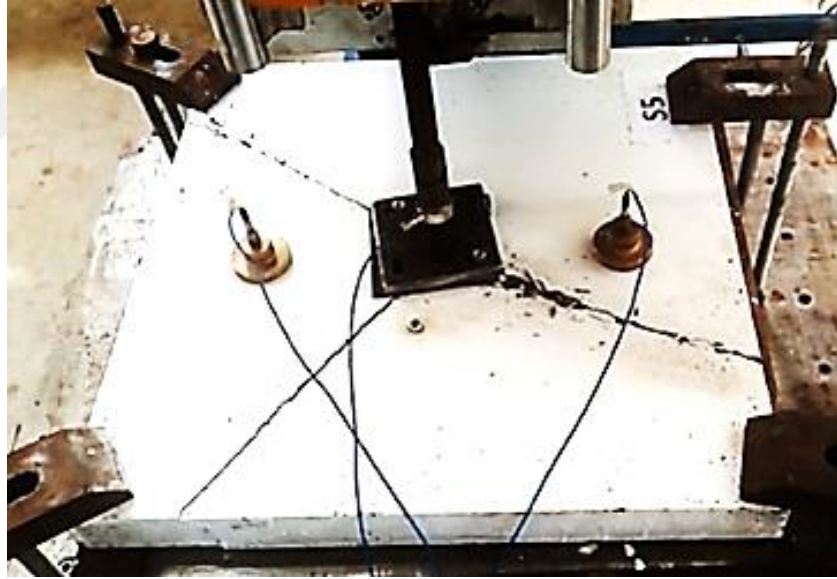


Şekil 6.49. S5 deney numunesi

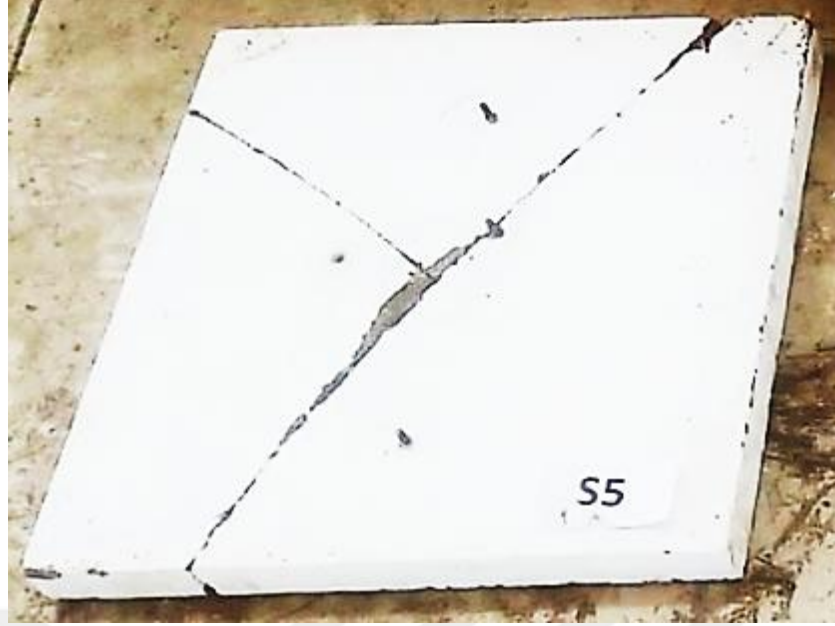
Deneylere, S5 numunesi üzerinde göçme hasar durumu oluşana kadar devam edilmiştir. S5 deney numunesinde yapılan deneyler, 11. düşmeden sonra tamamlanmıştır. 7. düşme hareketinden sonra, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmış ve 10. düşmenin ardından, deney numunesinde göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.50. S5 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.51. S5 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



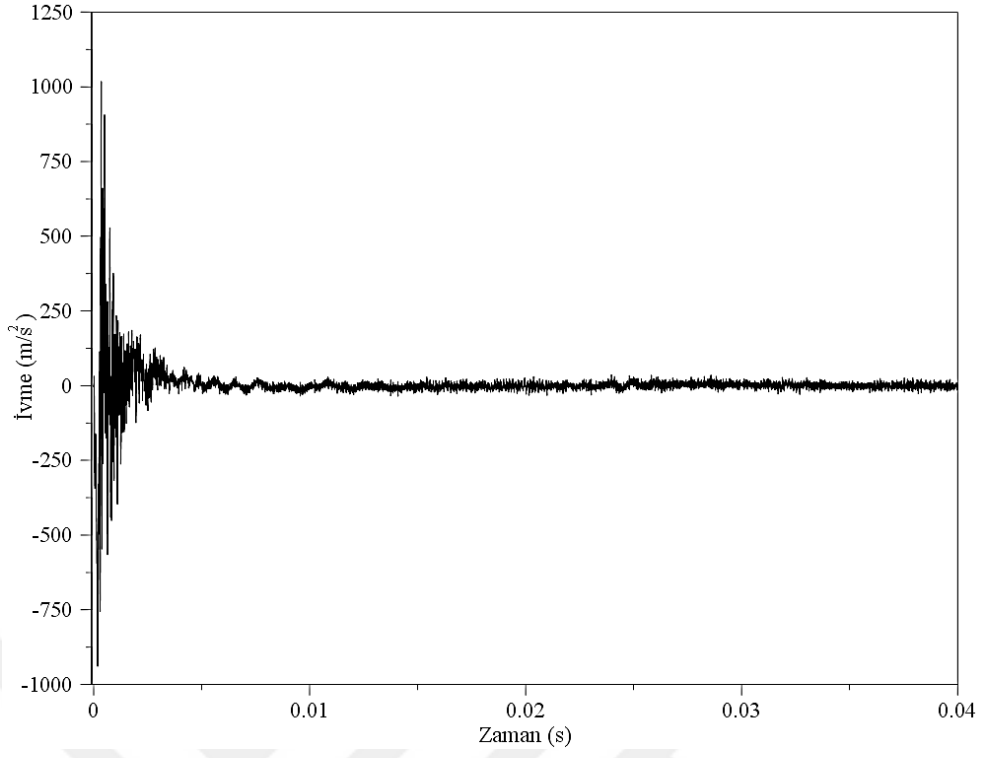
Şekil 6.52. S5 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

S5 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.5'te görülmektedir.

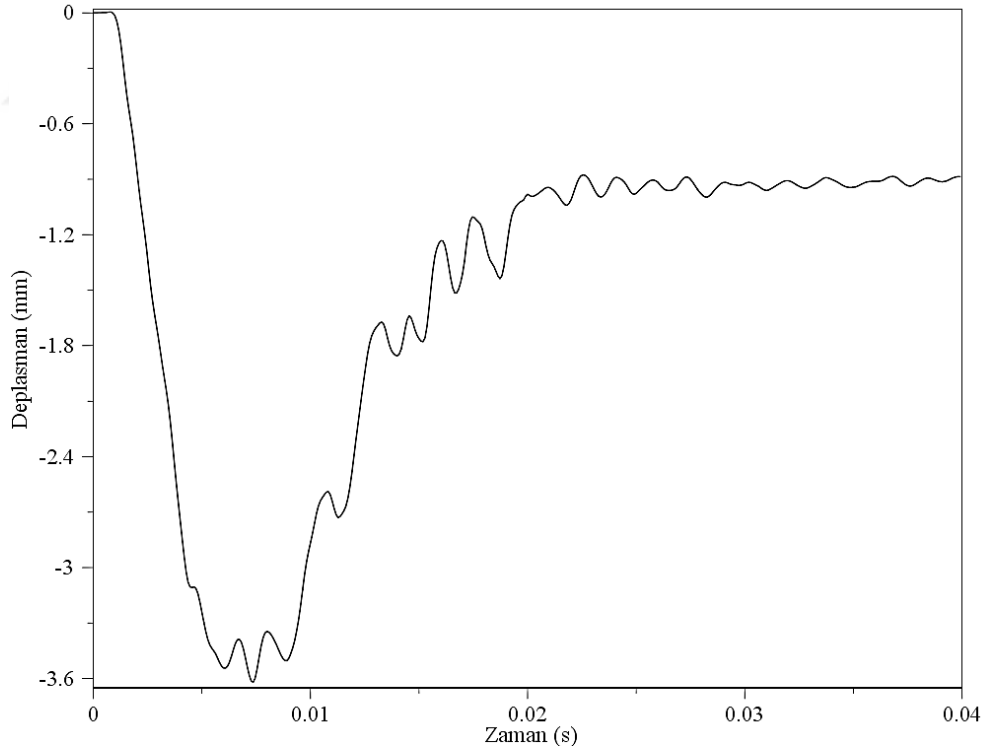
Tablo 6.5. S5 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s^2)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-958,80	1017,24	3,62	20976,14
Göçme	-403,09	475,41	6,90	12255,90

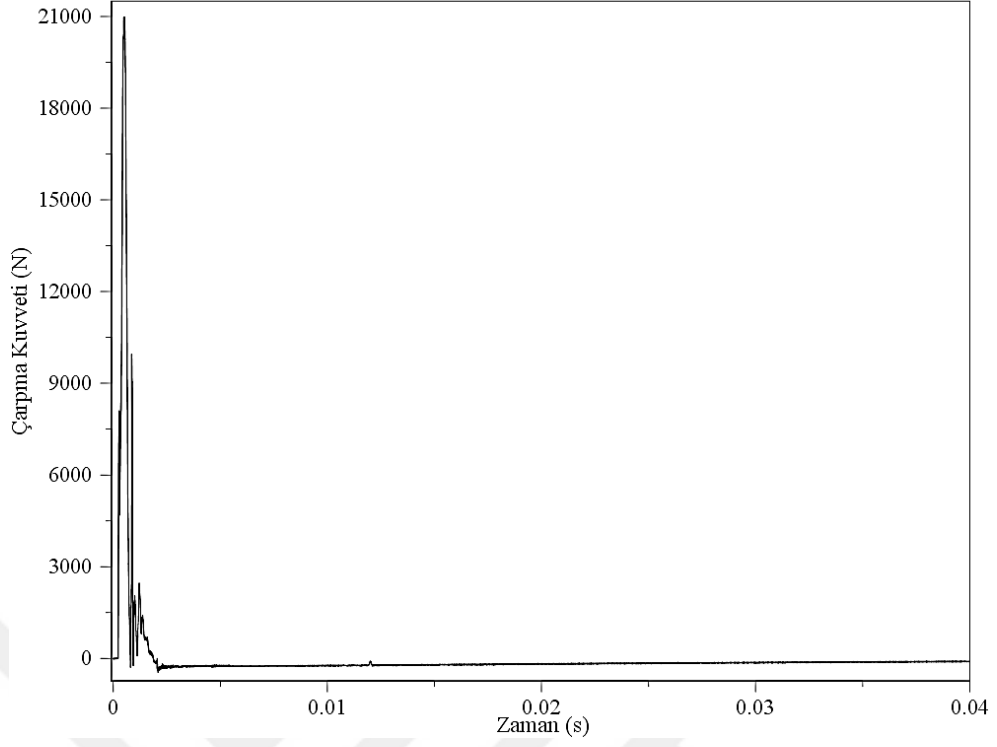
S5 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.53-6.58 arasında sunulmuştur.



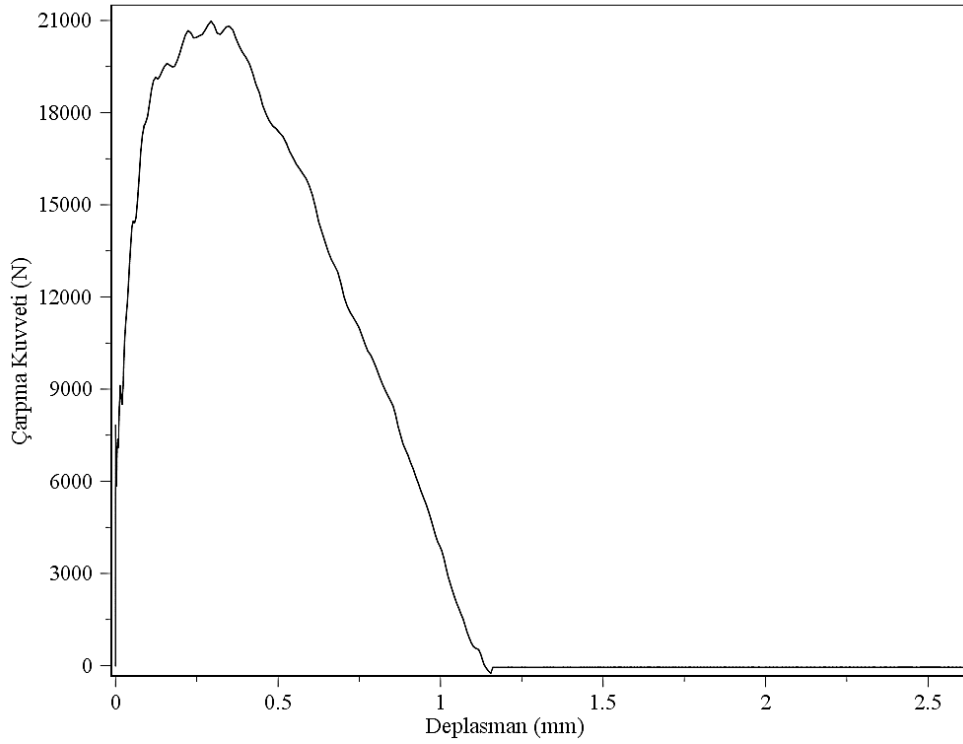
Şekil 6.53. S5 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.54. S5 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

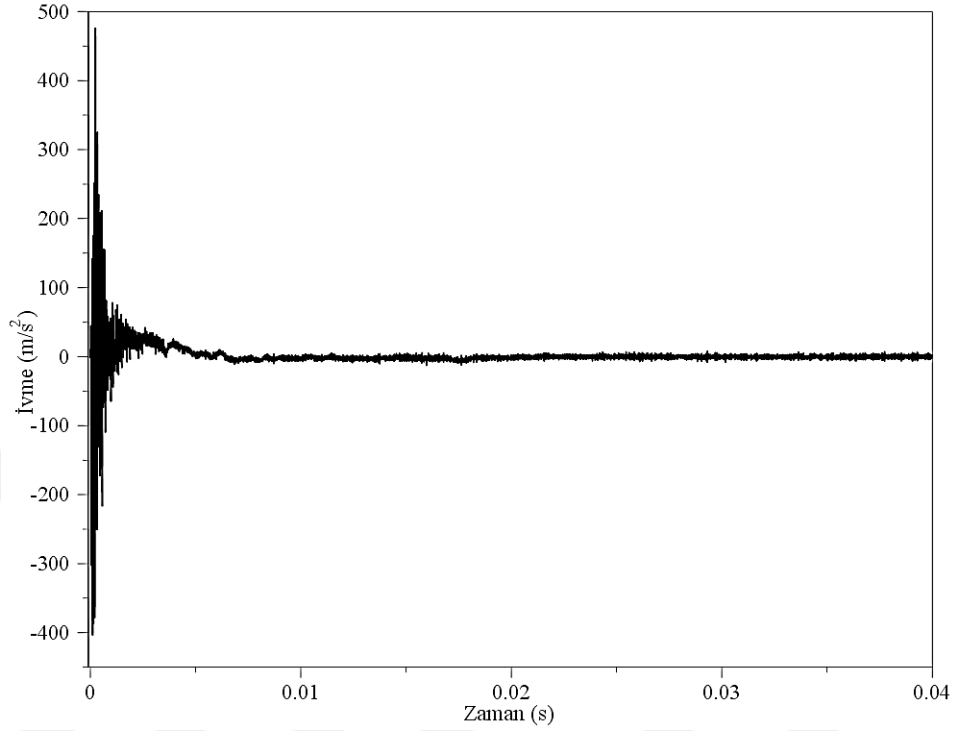


Şekil 6.55. S5 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

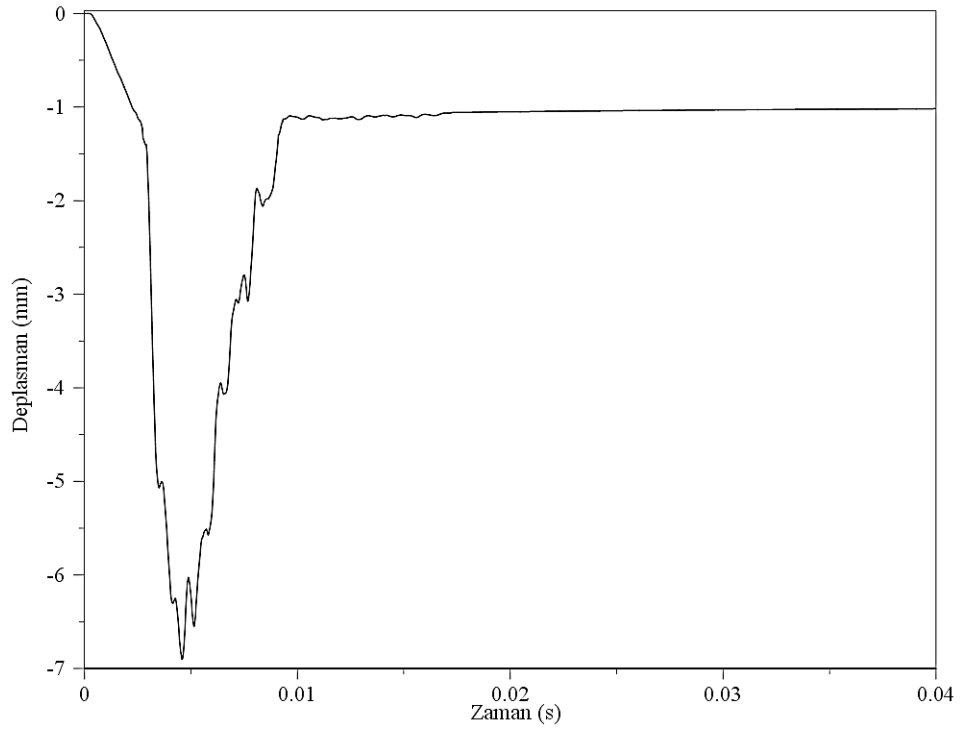


Şekil 6.56. S5 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

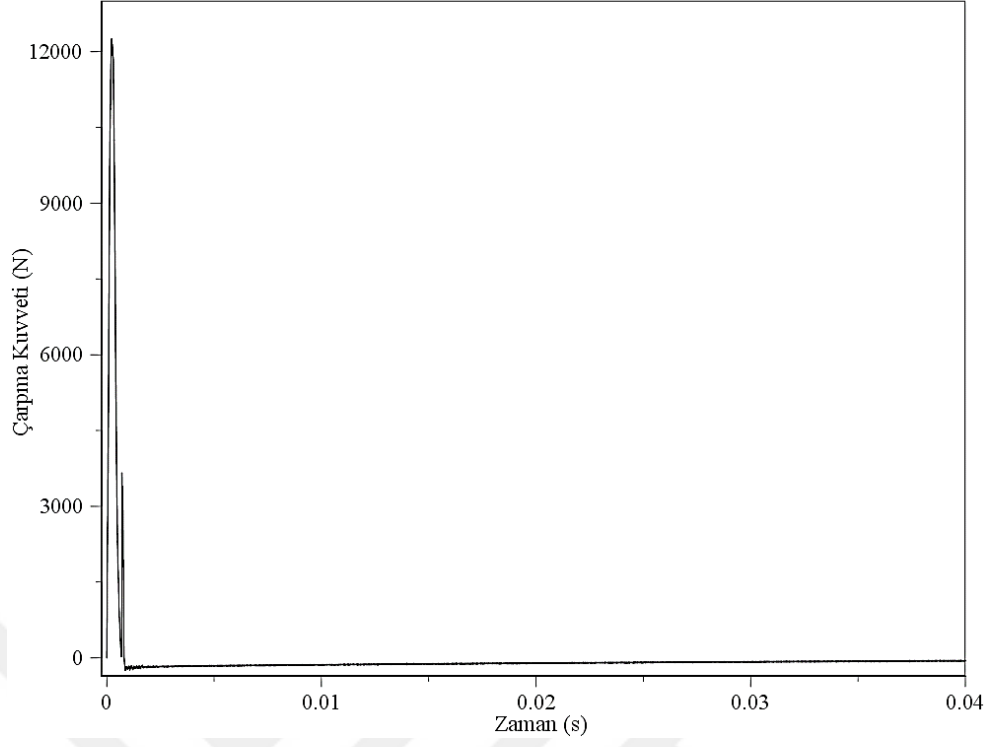
S5 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.57-6.60 arasında sunulmuştur.



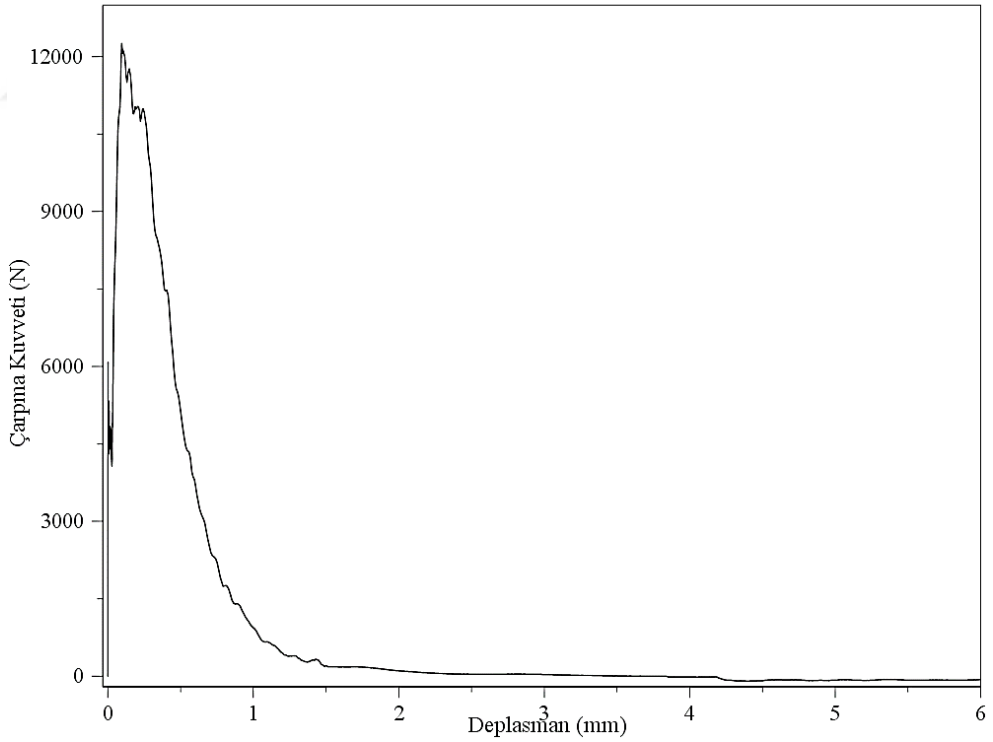
Şekil 6.57. S5 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.58. S5 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



Şekil 6.59. S5 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.60. S5 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

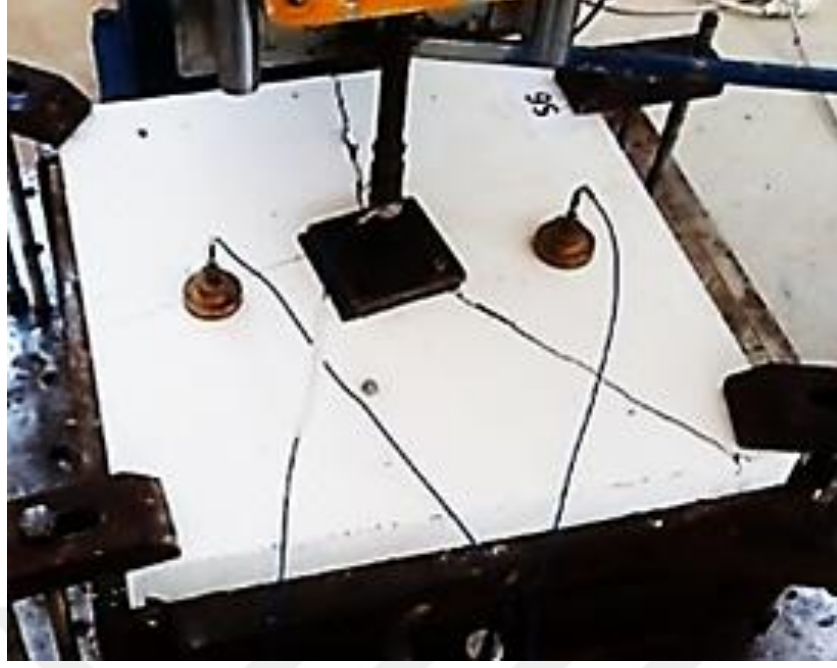
6.6. S6 Deney Numunesi

S6 deney numunesinde, belirlenen yerlere ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Deney numunesi üzerinde serbest düşme hareketi yapan çekiç tarafından çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilerek, üniform yük dağılımının oluşması sağlanmıştır. Mesnet aparatları kullanılarak, numune deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi ayarlandıktan sonra, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.61).

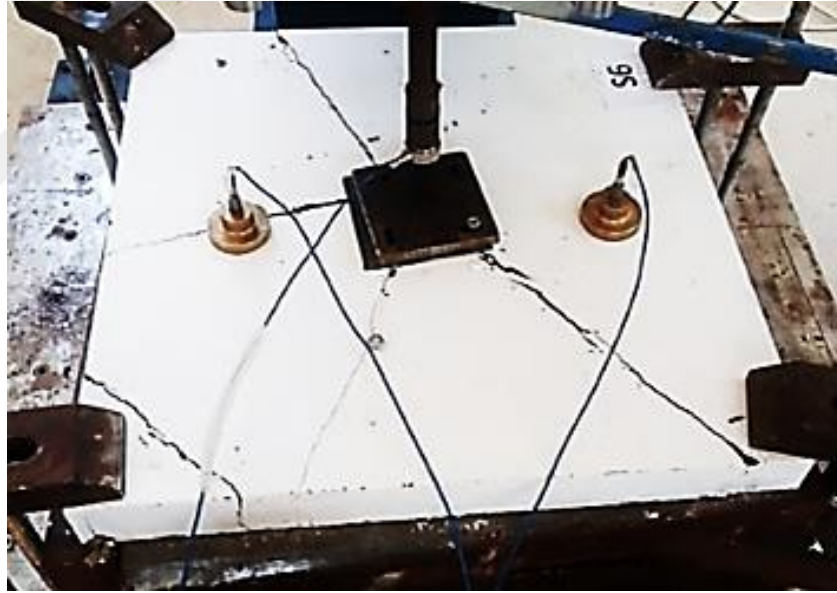


Şekil 6.61. S6 deney numunesi

Deneylere, S6 numunesinde göçme hasar durumu oluşana kadar devam edilmiştir. S6 deney numunesinde, toplam 13 adet düşme yapılmıştır. 9. düşme hareketinden sonra, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmıştır. 12. düşmeden sonra, deney numunesinde göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.62. S6 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.63. S6 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



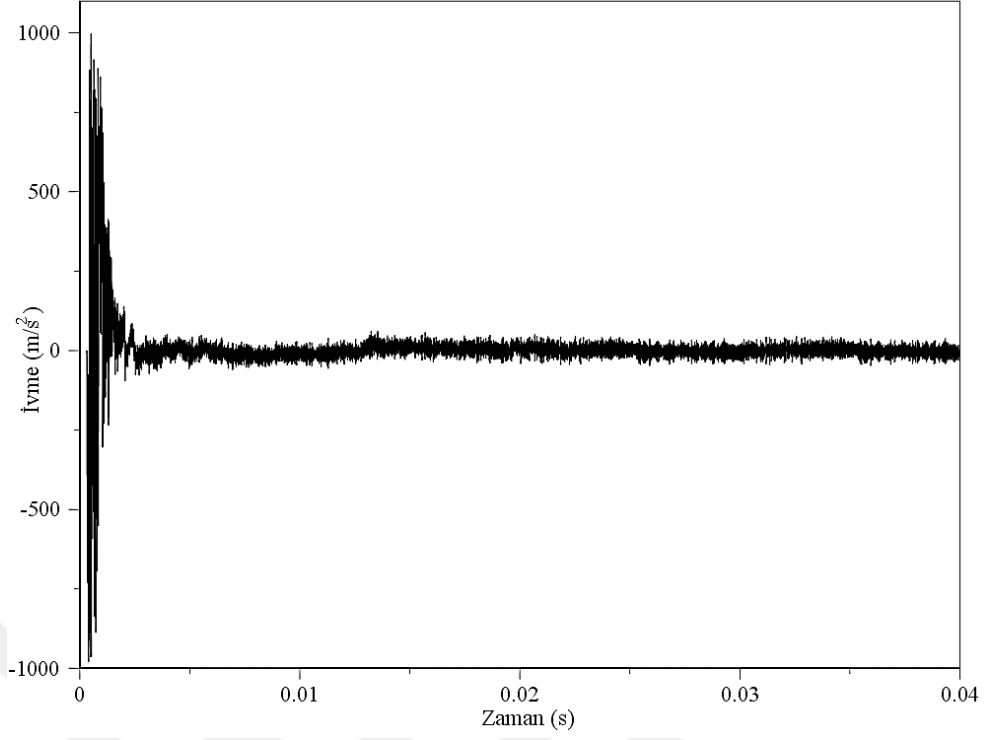
Şekil 6.64. S6 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

S6 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.6'de görülmektedir.

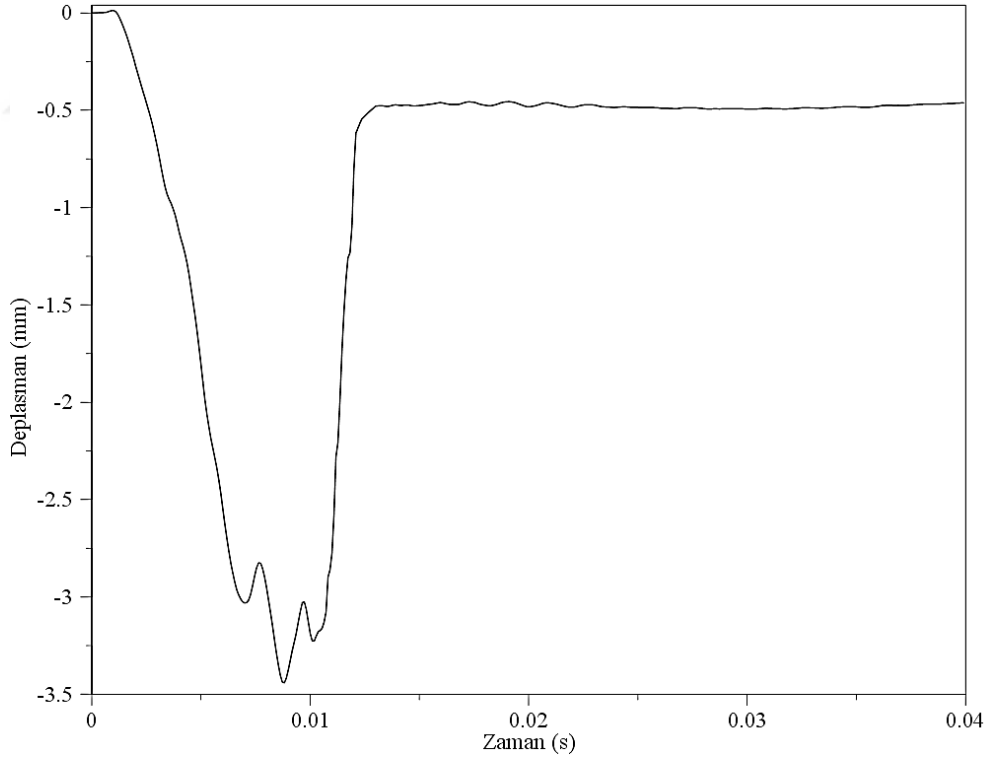
Tablo 6.6. S6 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-977,64	996,26	3,44	22045,69
Göçme	-549,86	470,57	7,26	12853,37

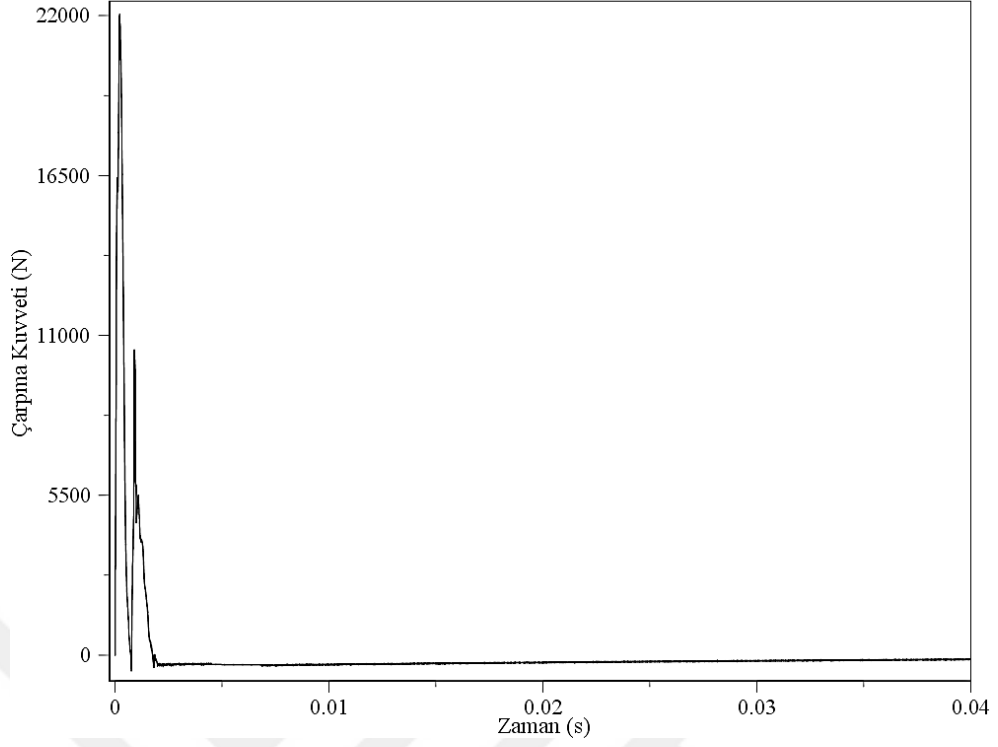
S6 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.65-6.68 arasında sunulmuştur.



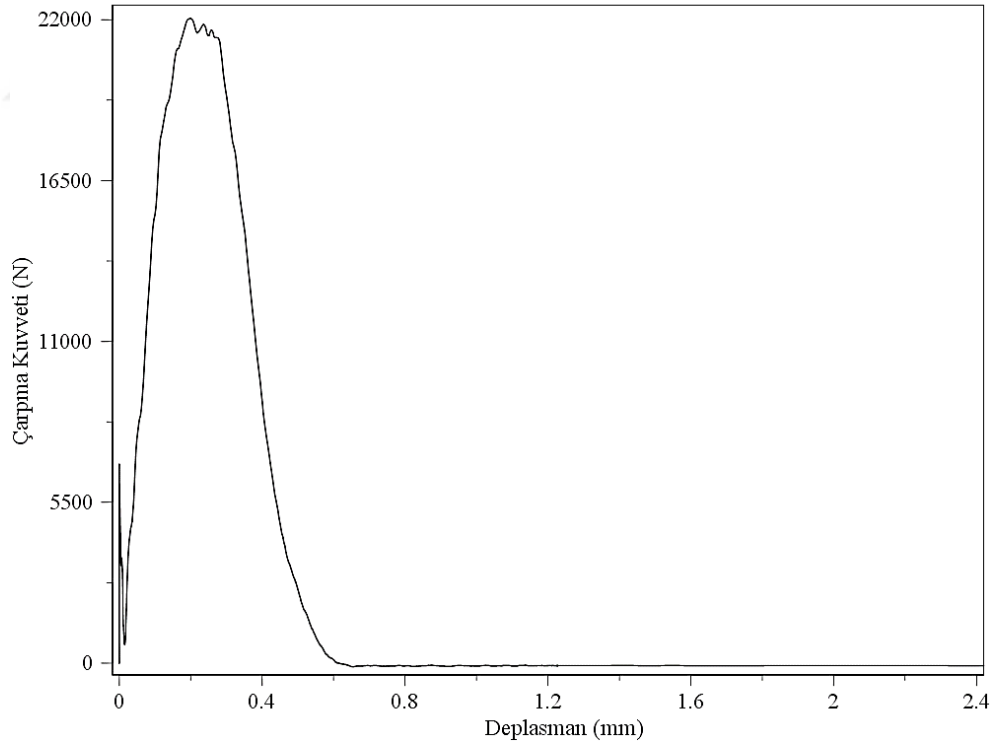
Şekil 6.65. S6 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.66. S6 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

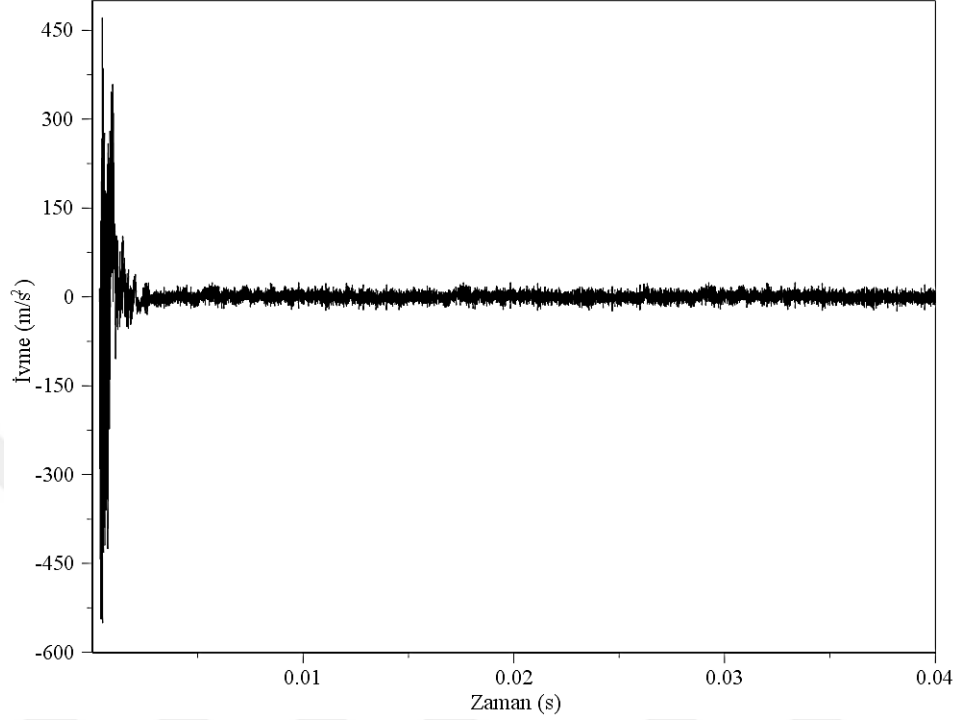


Şekil 6.67. S6 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

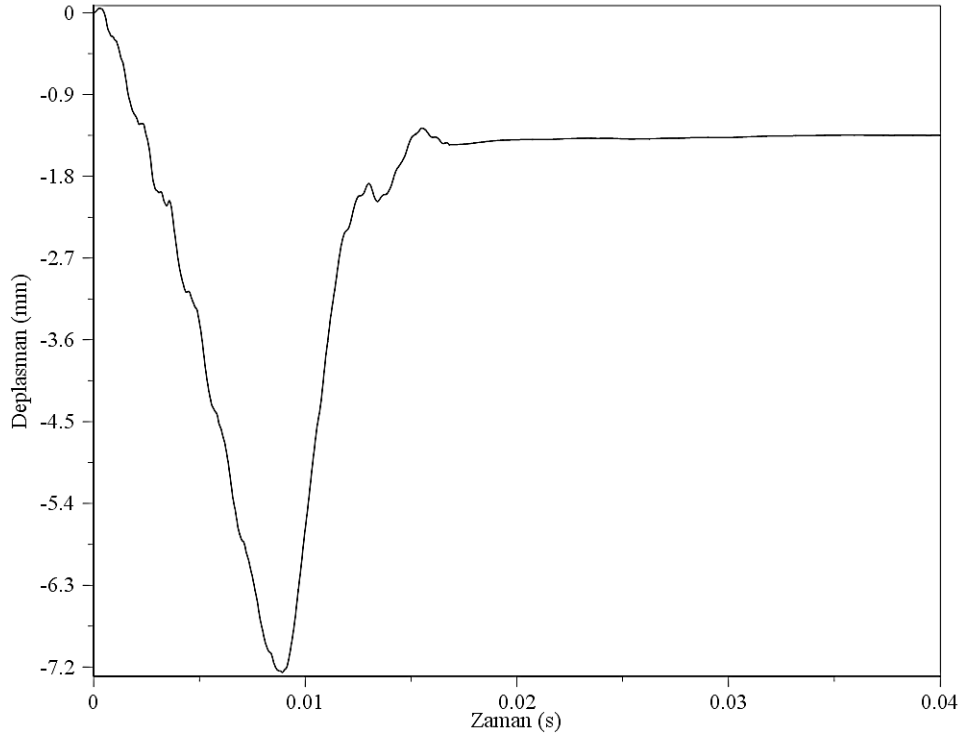


Şekil 6.68. S6 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

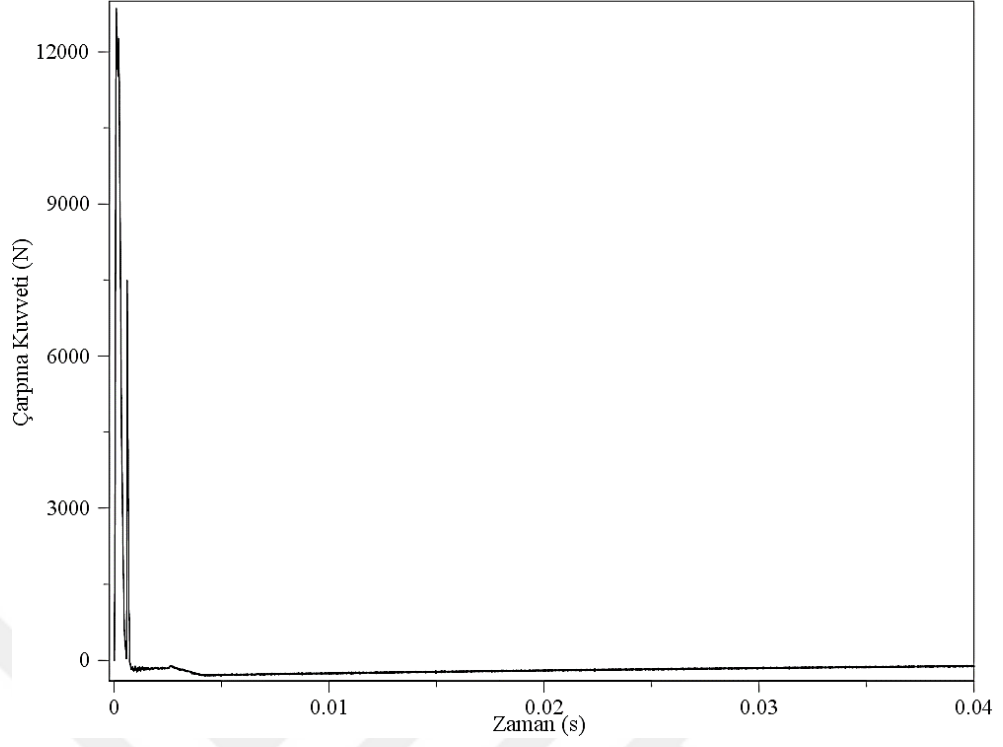
S6 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.69-6.72 arasında sunulmuştur.



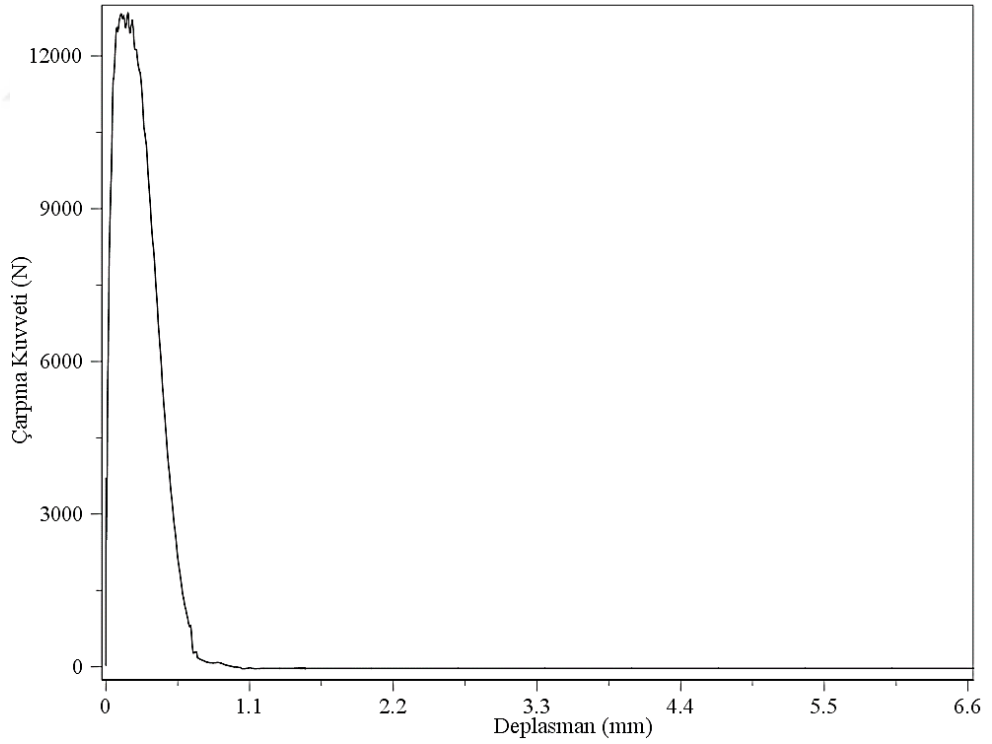
Şekil 6.69. S6 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.70. S6 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



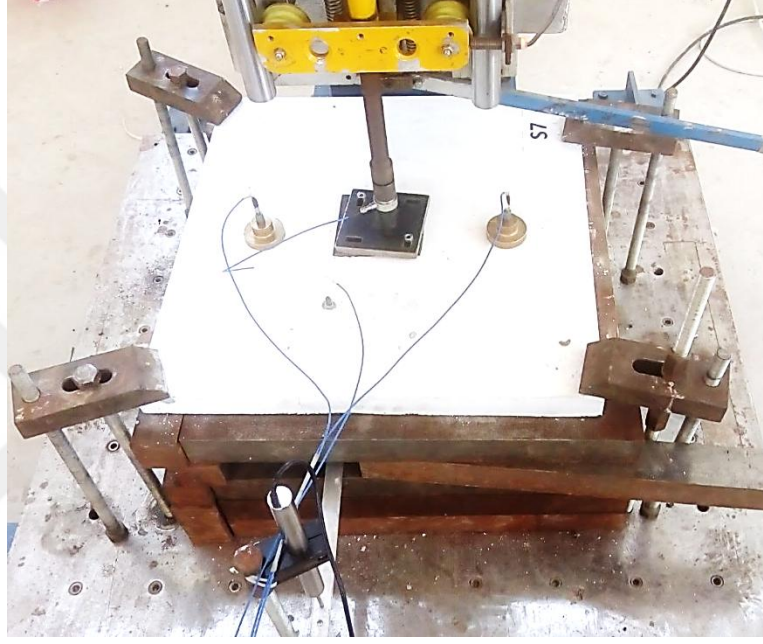
Şekil 6.71. S6 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.72. S6 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

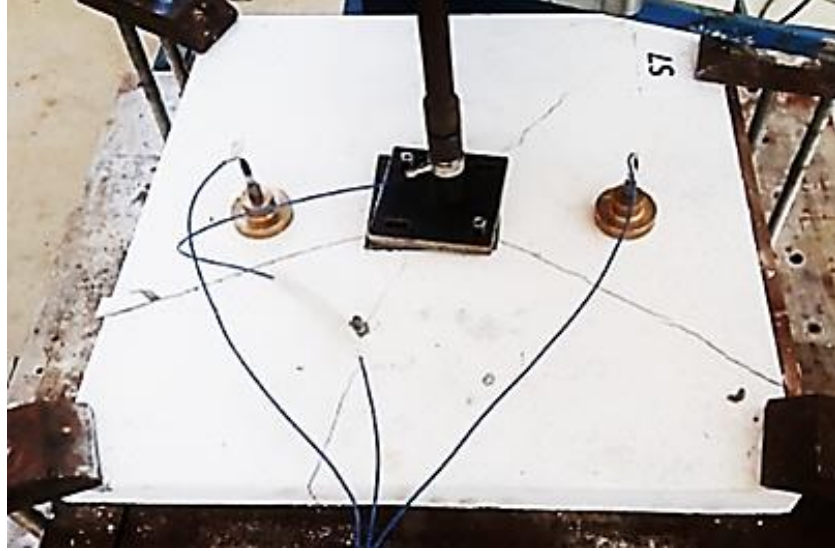
6.7. S7 Deney Numunesi

Mesnet aparatları kullanılarak deney düzeneğine yerleştirilen S7 numunesinde, belirlenen yerlere ivmeölçer, lvd't ve kuvvet algılayıcısı yerleştirilmiştir. Serbest düşme hareketi yapan çekiç tarafından, deney numunesine etkiyen çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, üniform yük dağılımının sağlanabilmesi için, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilmiştir. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi ayarlandıktan sonra, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.73).

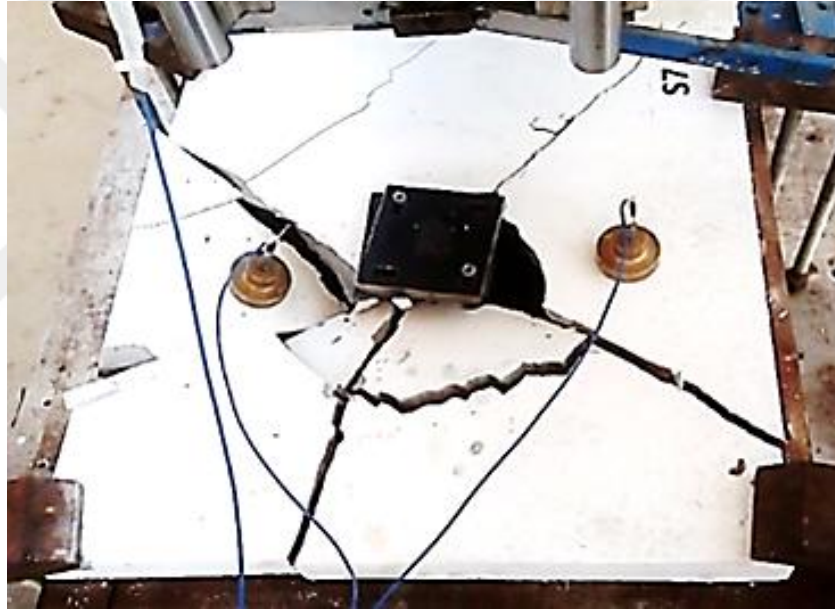


Şekil 6.73. S7 deney numunesinde oluşan çatlaklar

S7 deney numunesinde göçme hasar durumu oluşana kadar deneylere devam edilmiştir. S7 numunesinde yapılan toplam 16 adet düşmenin ardından, deneylere son verilmiştir. 13. düşme hareketinden sonra, çatlak sayısı ve çatlak genişliği belirgin şekilde artmıştır. 15. düşmeden sonra, deney numunesinde göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.74. S7 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.75. S7 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



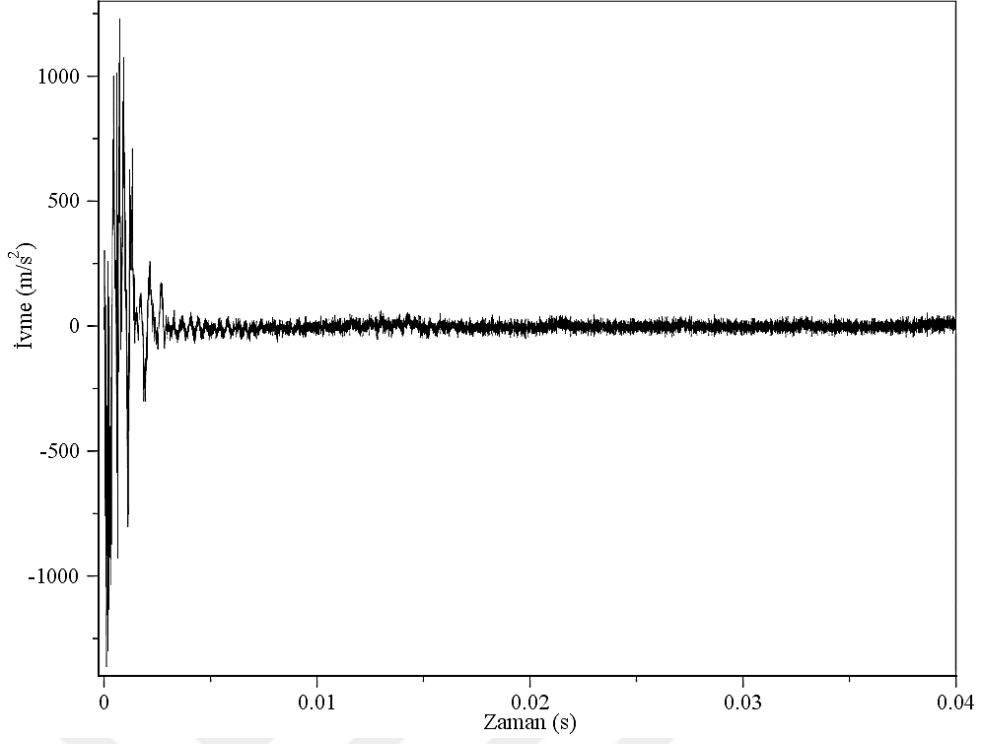
Şekil 6.76. S7 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

Deneyle sırasında, S7 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekiçin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.7’de görülmektedir.

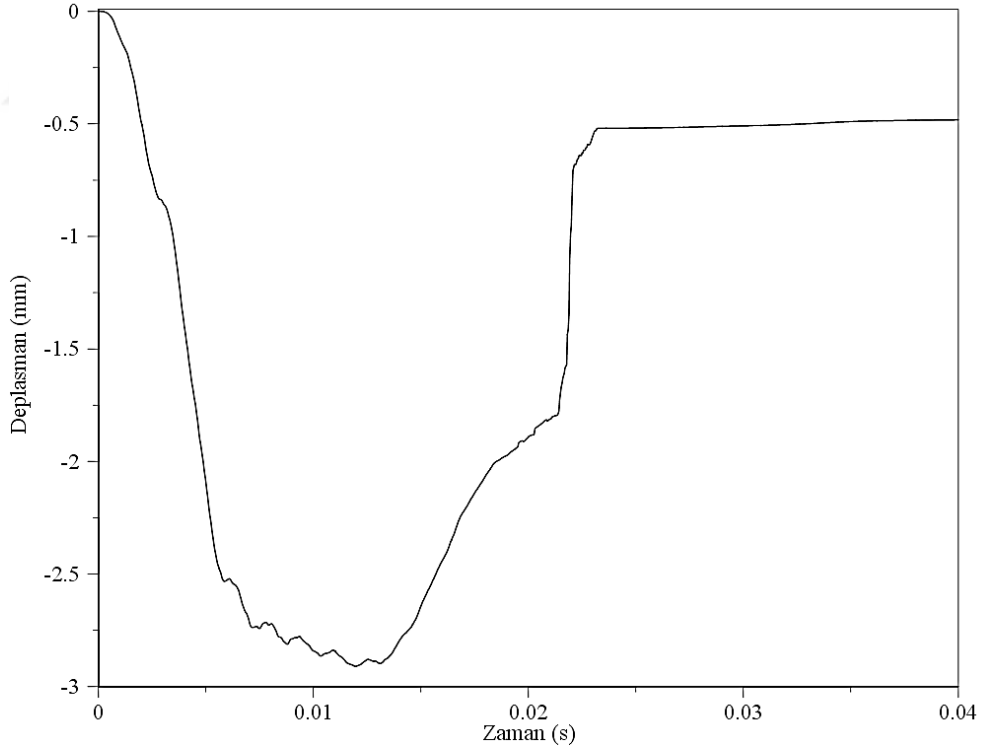
Tablo 6.7. S7 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-1363,03	1228,97	2,91	25243,09
Göçme	-793,23	622,76	6,17	14408,91

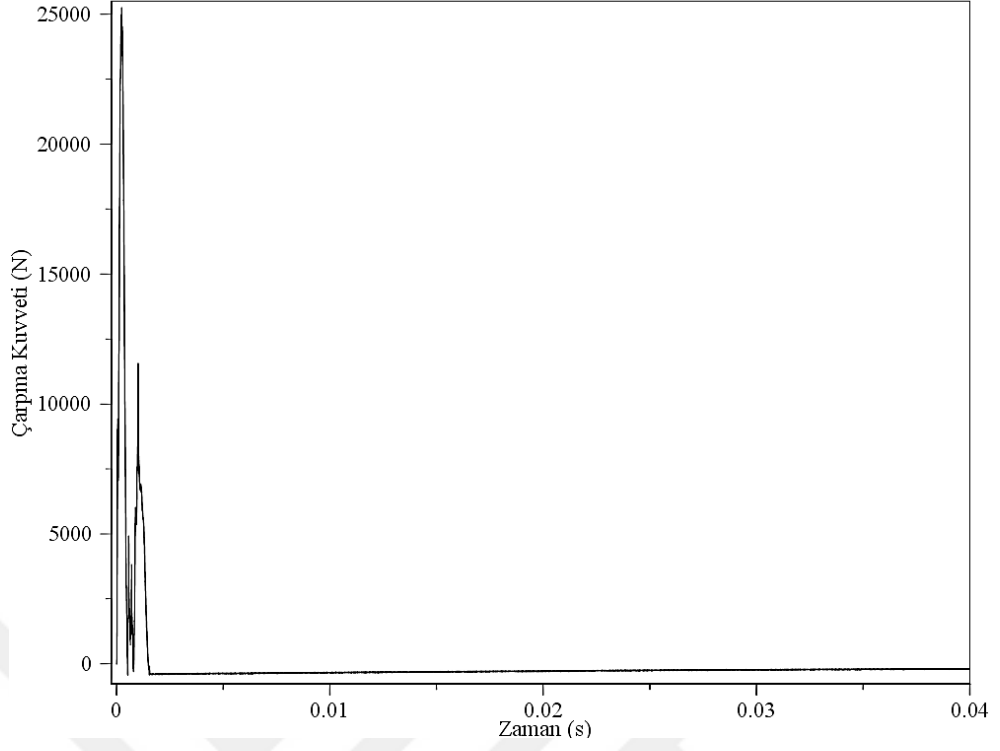
S7 deney numunesinde, çekiç tarafından yapılan ilk serbest düşme hareketinde ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.77-6.80 arasında verilmiştir.



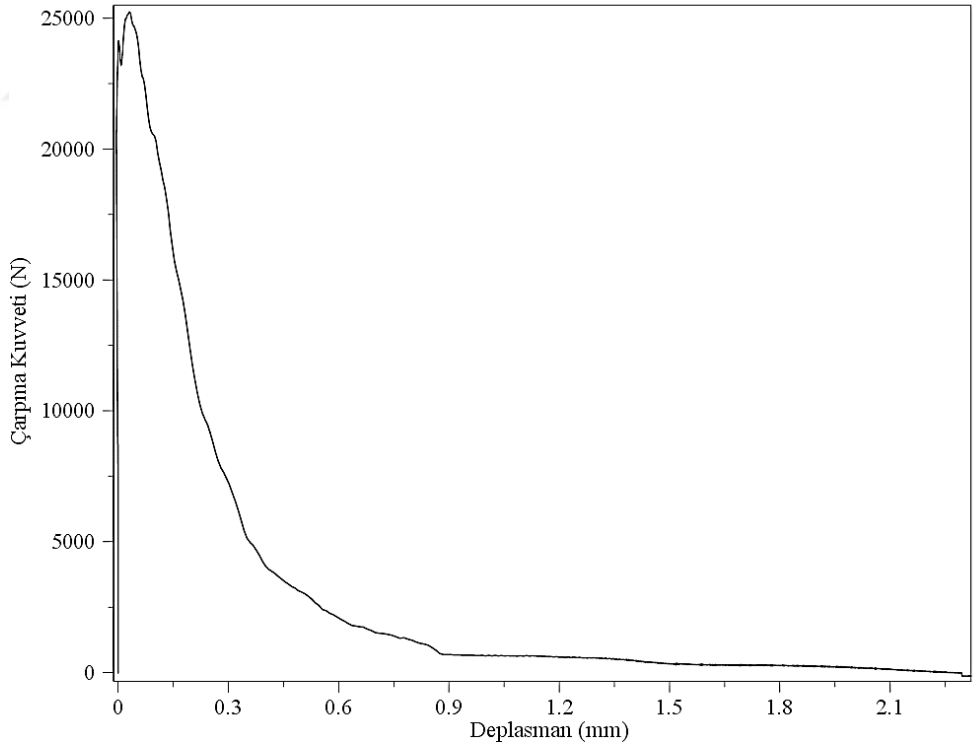
Şekil 6.77. S7 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.78. S7 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

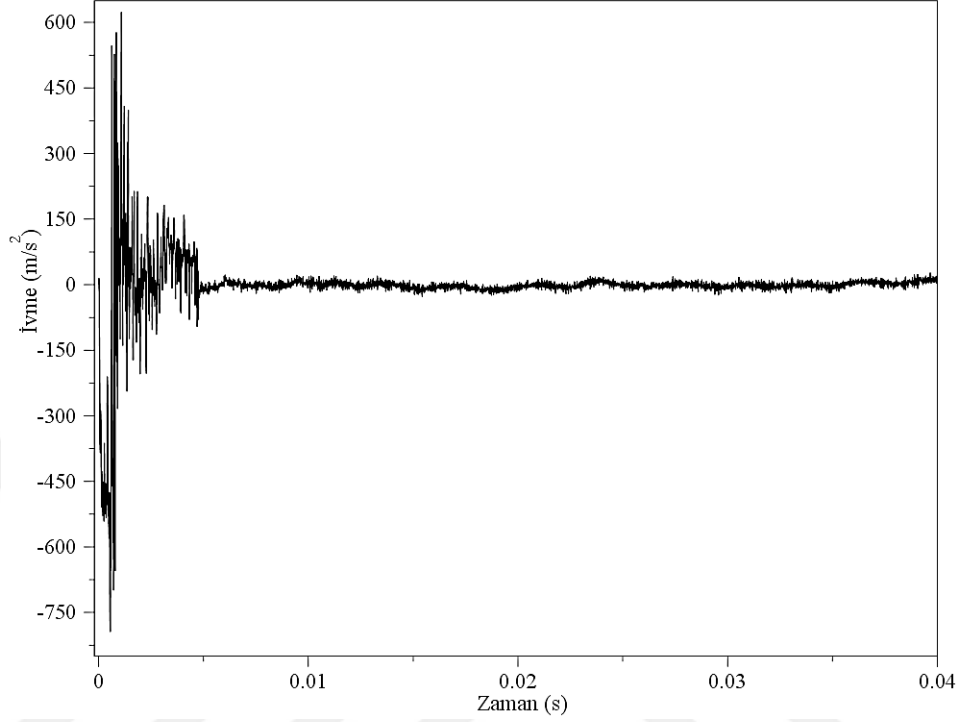


Şekil 6.79. S7 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

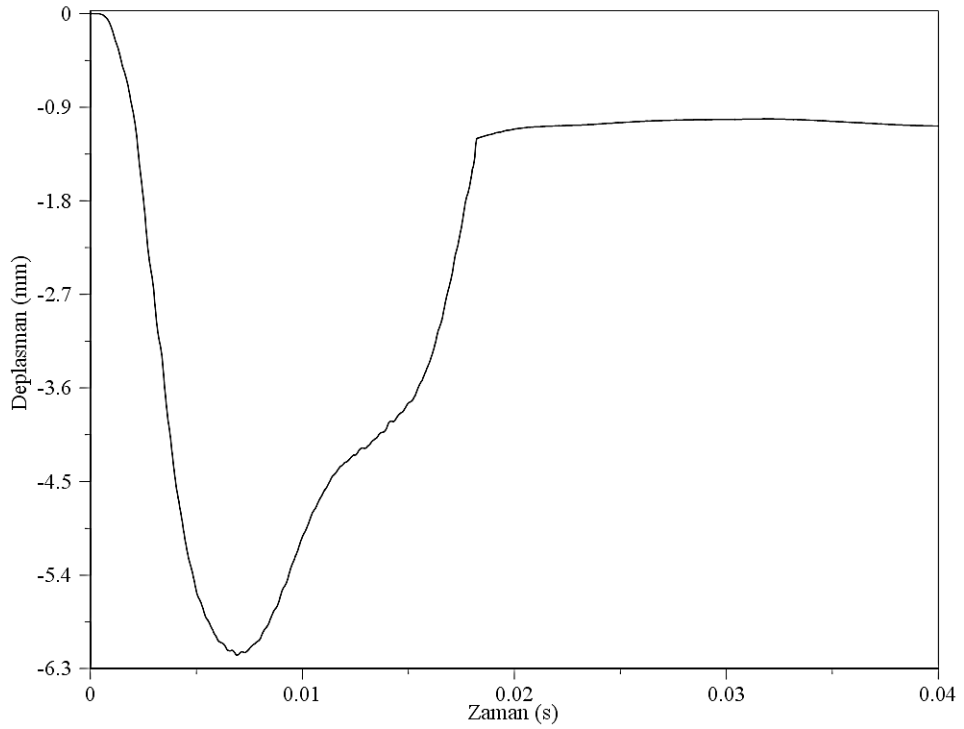


Şekil 6.80. S7 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

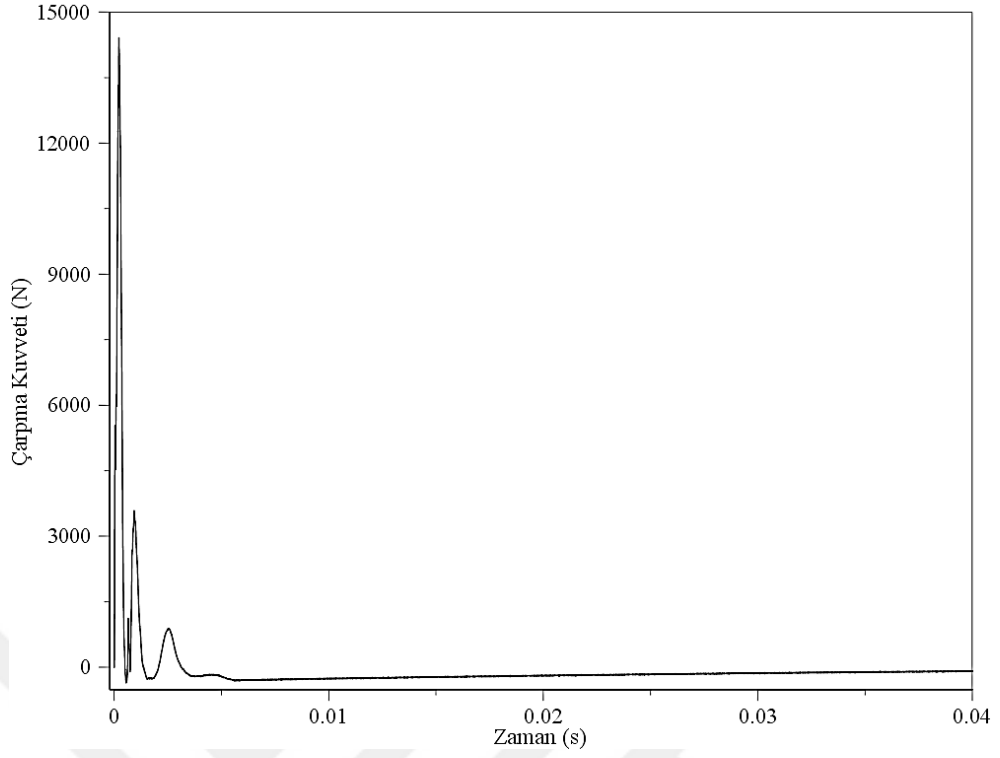
S7 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.81-6.84 arasında sunulmuştur.



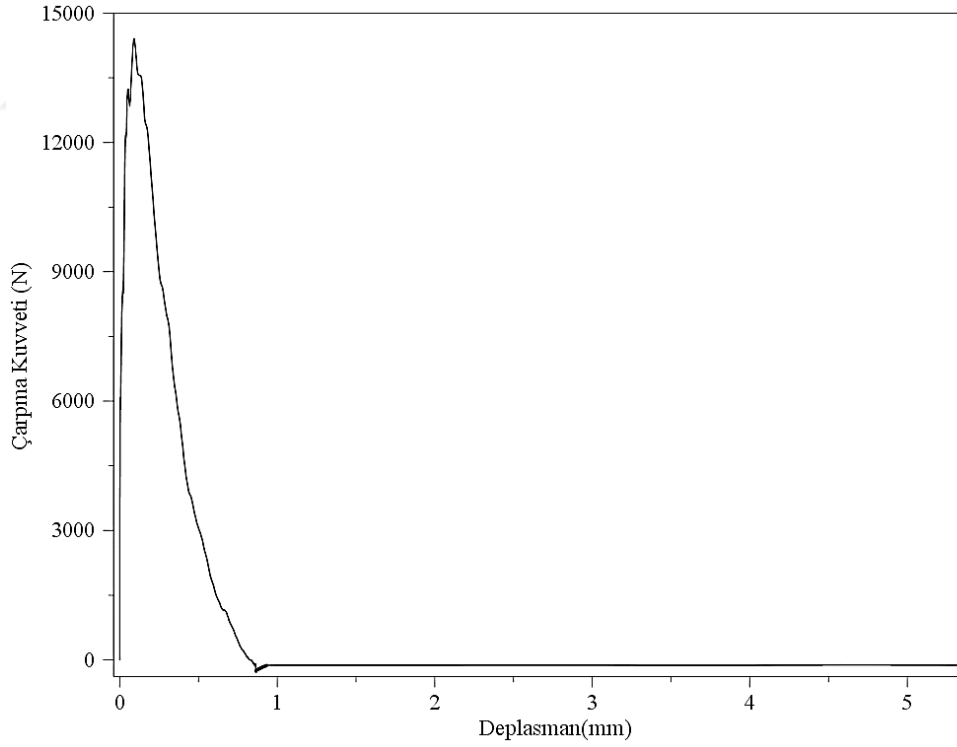
Şekil 6.81. S7 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.82. S7 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



Şekil 6.83. S7 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.84. S7 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

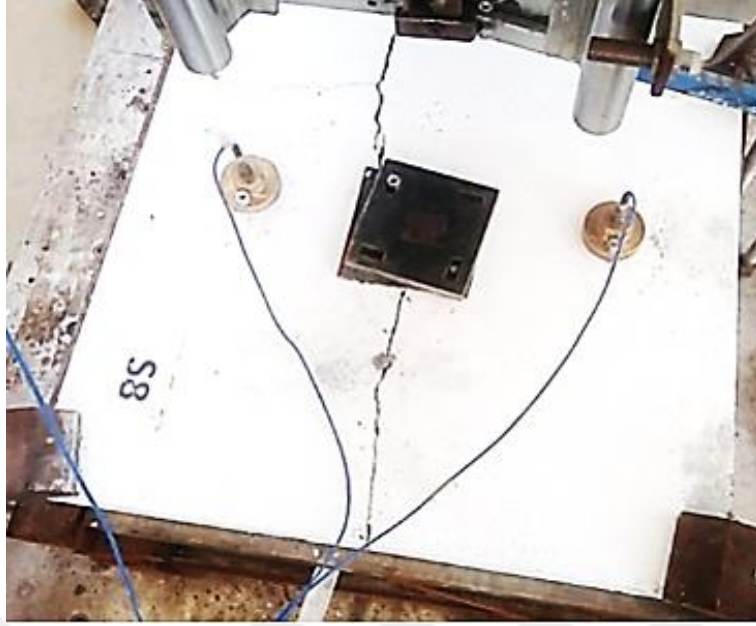
6.8. S8 Deney Numunesi

S8 deney numunesinde üzerinde belirlenen yerlere ölçüm cihazları yerleştirilmiş, ardından çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye, üniform yük dağılımının sağlanabilmesi için, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilmiştir. Deney numunesinin düzeneğe yerleştirilmesi, mesnet aparatları kullanılarak yapılmıştır. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi ayarlandıktan sonra, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.85).

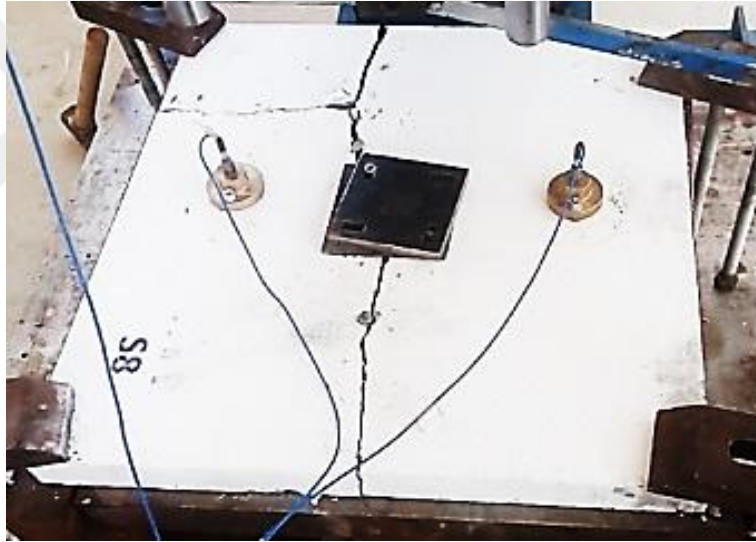


Şekil 6.85. S8 deney numunesi

Deney numunesi üzerinde gerçekleştirilen çarpma deneylerine, göçme durumu oluşana kadar devam edilmiştir. S8 deney numunesinde toplam 16 adet düşme yapılmıştır. 12. düşme hareketinin ardından, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmıştır. 15. düşmeden sonra, deney numunesinde göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 6.86. S8 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.87. S8 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



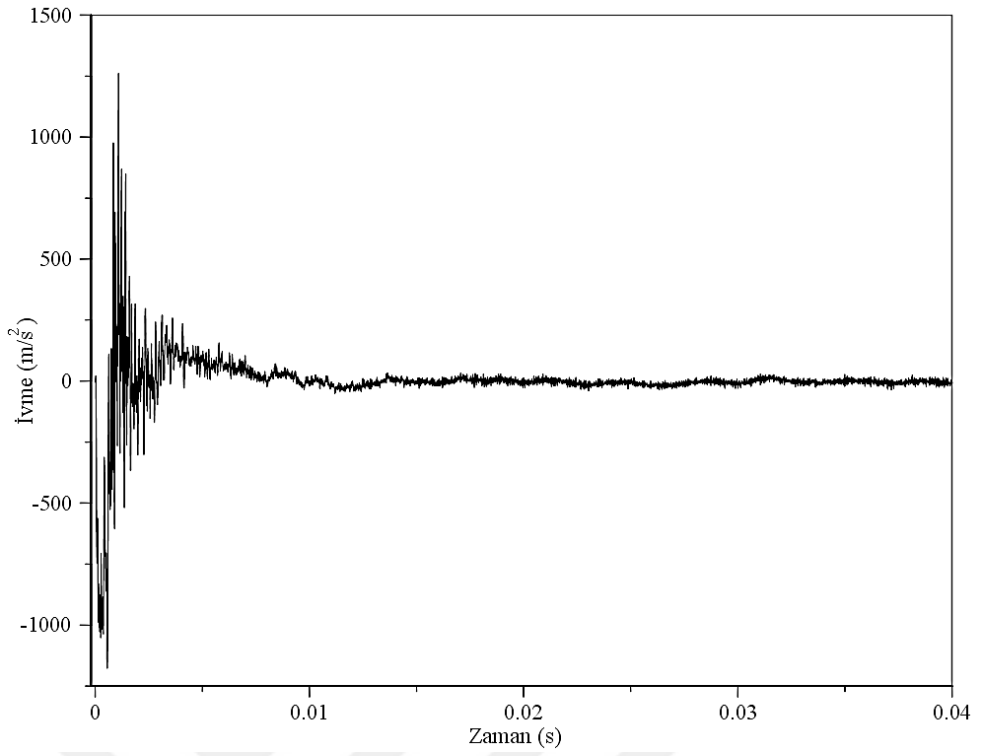
Şekil 6.88. S8 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

Deneyle sırasında, S8 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.8’de görülmektedir.

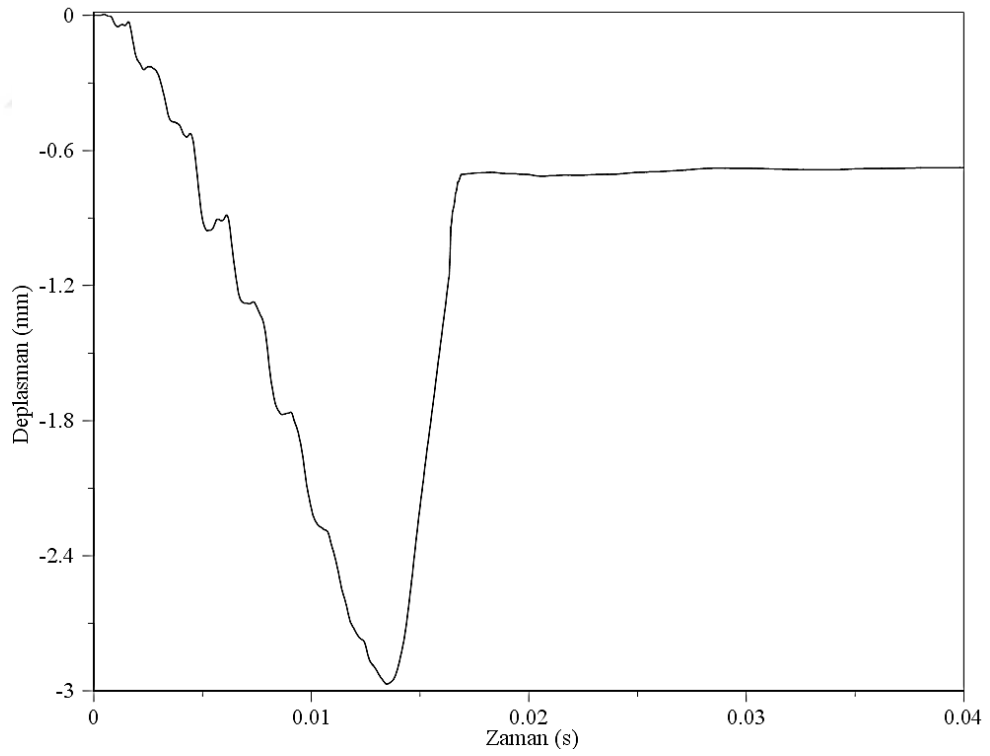
Tablo 6.8. S8 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-1176,24	1260,10	2,97	24946,20
Göçme	-591,30	765,76	6,32	13953,10

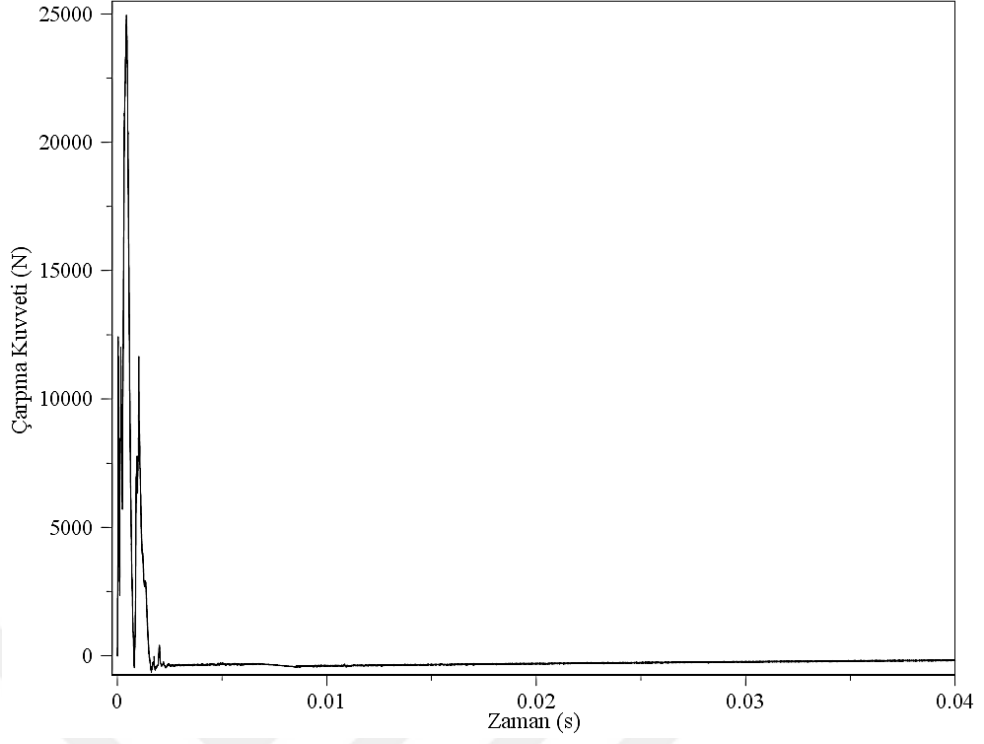
S8 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.89-6.92 arasında sunulmuştur.



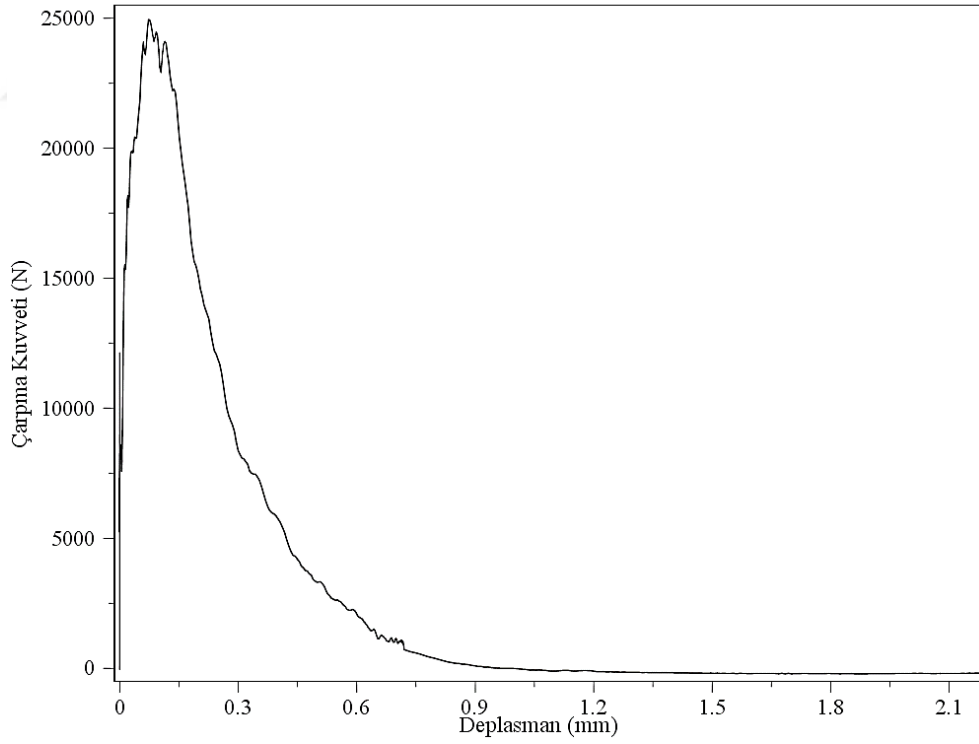
Şekil 6.89. S8 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.90. S8 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

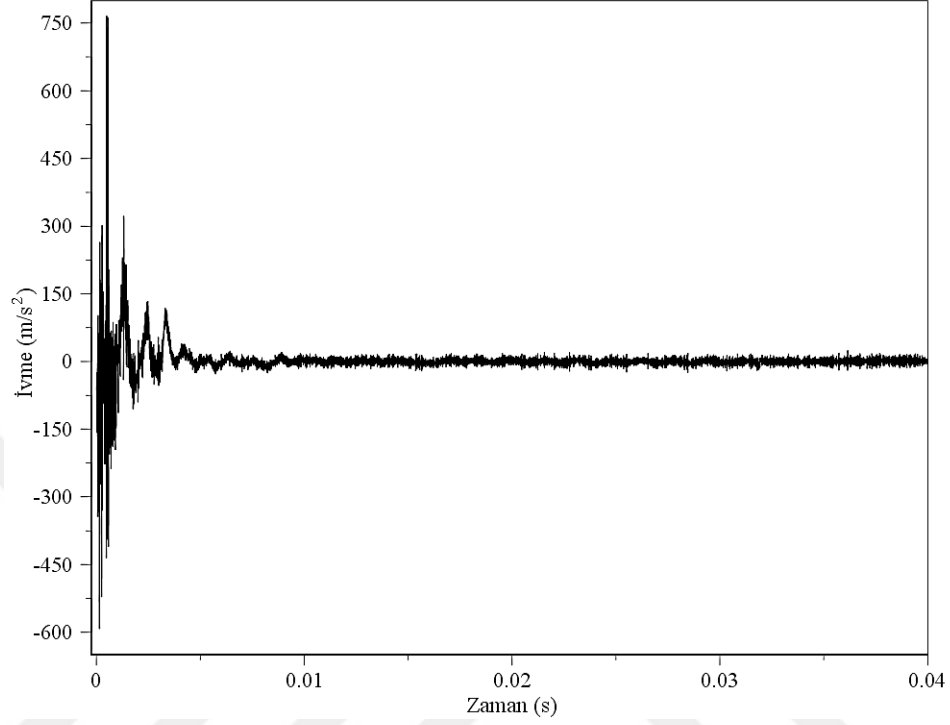


Şekil 6.91. S8 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

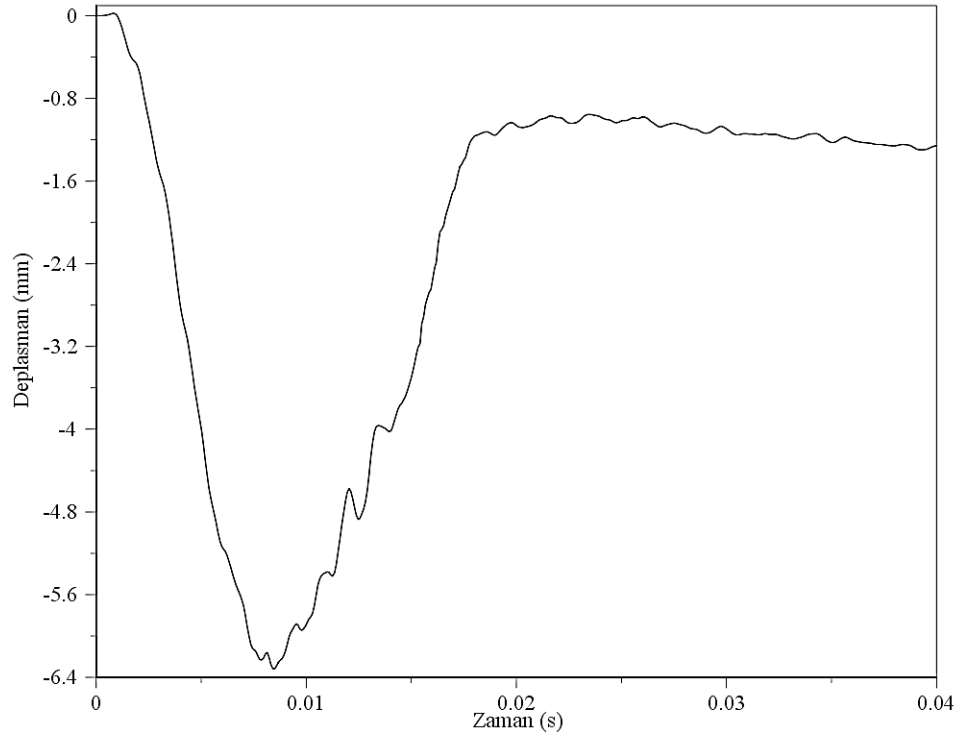


Şekil 6.92. S8 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

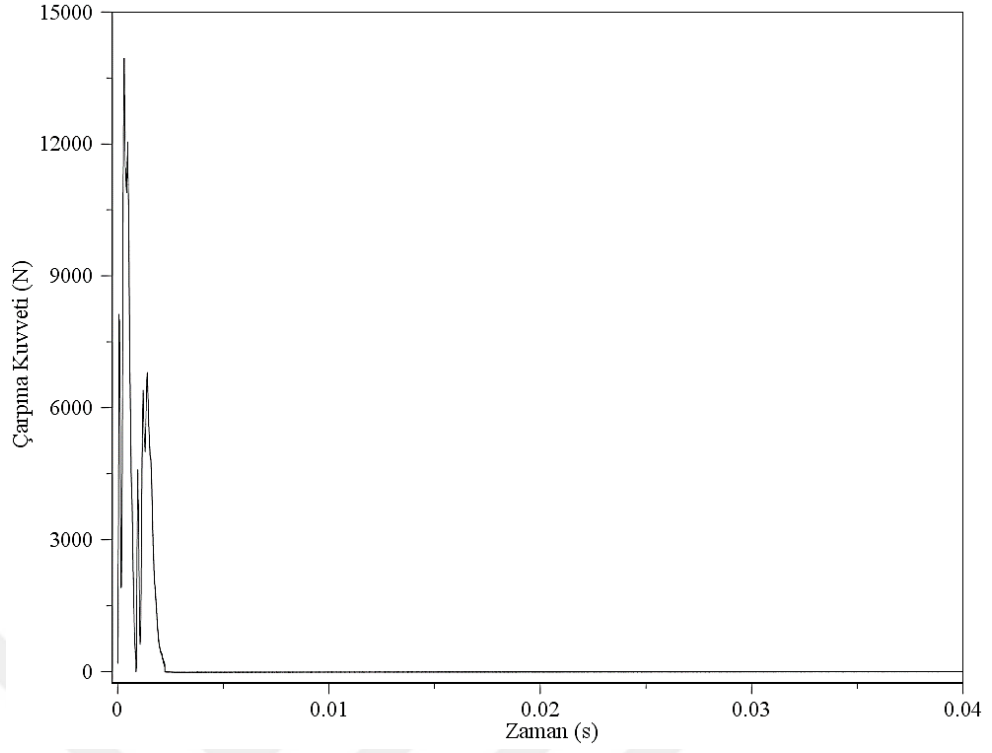
S8 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.93-6.96 arasında sunulmuştur.



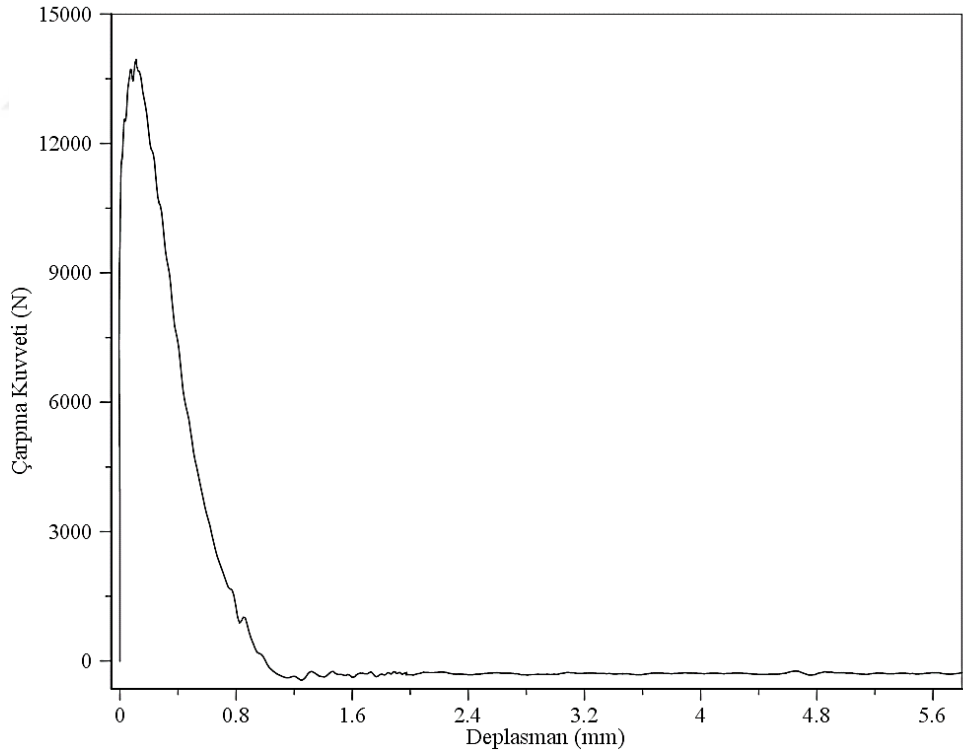
Şekil 6.93. S8 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.94. S8 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



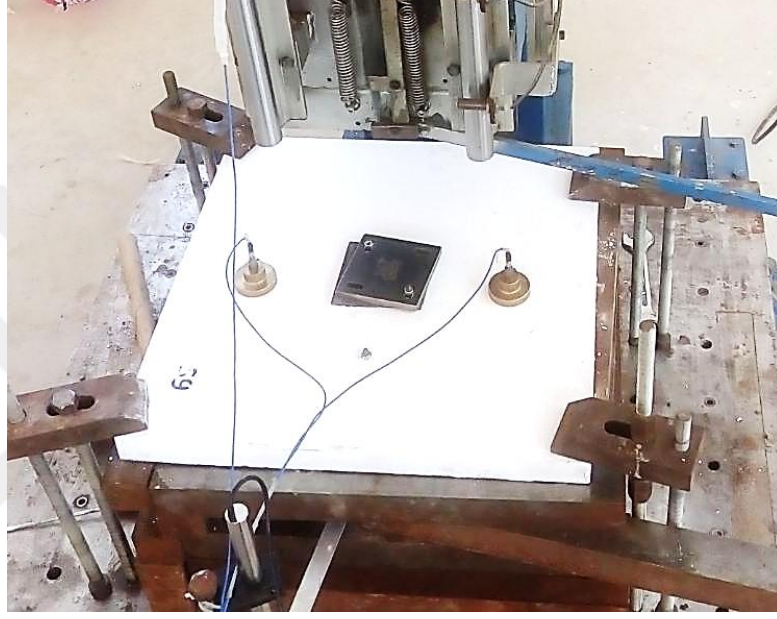
Şekil 6.95. S8 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.96. S8 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

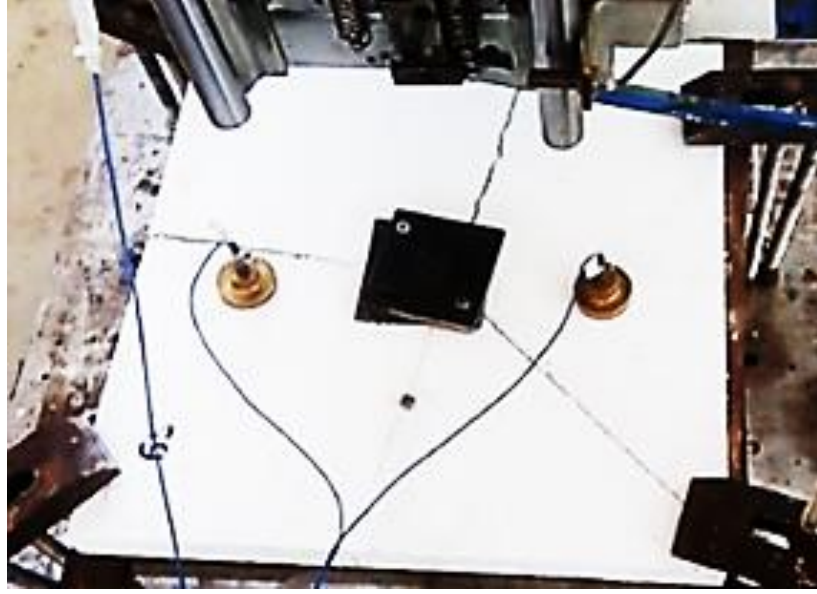
6.9. S9 Deney Numunesi

Deney düzeneğine yerleştirilen S9 numunesinde, önceden belirlenen yerlere ölçüm cihazları yerleştirilmiştir. Çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye üniform yük dağılımının sağlanabilmesi için, kauçuk malzeme ve çelik plak monte edilmiştir. Mesnet aparatları kullanılarak, deney numunesi karşılıklı kenarlarından deney düzeneğine sabitlenmiştir. Serbest düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi ayarlandıktan sonra, deneylere başlanmıştır (Şekil 6.97).

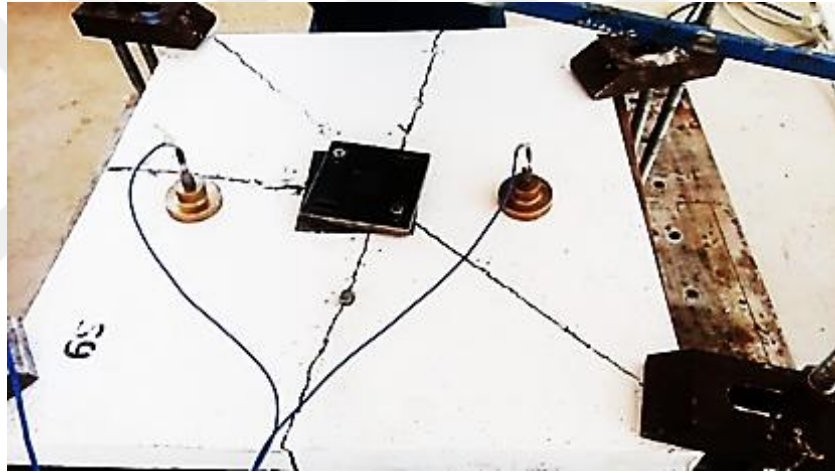


Şekil 6.97. S9 deney numunesi

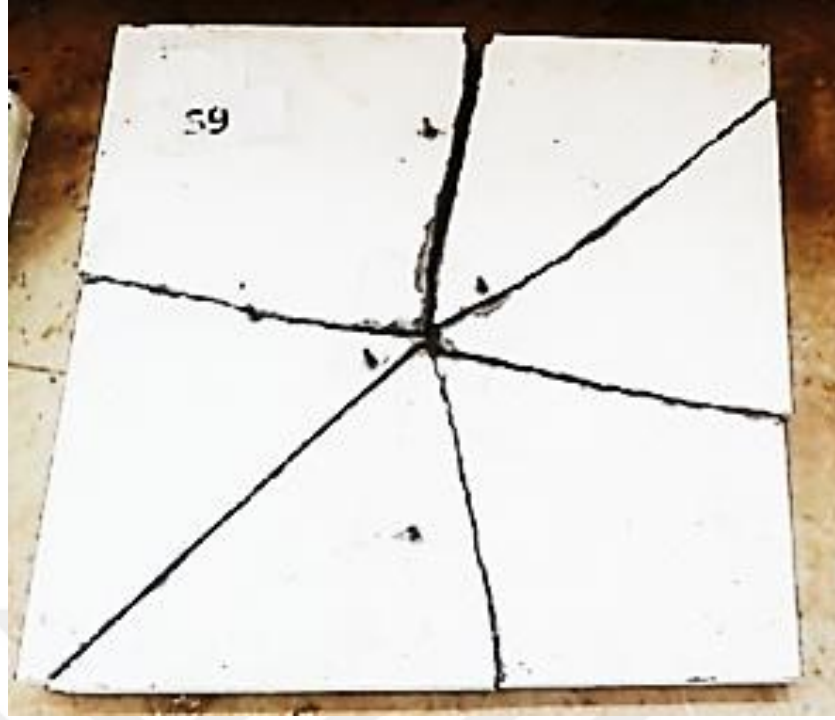
Göçme hasar durumu oluşana kadar, S9 deney numunesi üzerinde deneylere devam edilmiştir. S9 numunesinde yapılan 17 adet düşme hareketinin ardından deneyler sonlandırılmıştır. 14. düşme hareketinden sonra, çatlak genişliği ve sayısı belirgin oranda artmıştır. 16. düşmeden sonra, deney numunesinde göçme hasar durumu oluşmuştur. Deney numunesine ait çatlak ve hasar gelişimleri, aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.98. S9 deney numunesinde oluşan çatlaklar



Şekil 6.99. S9 deney numunesinde oluşan göçme hasar durumu



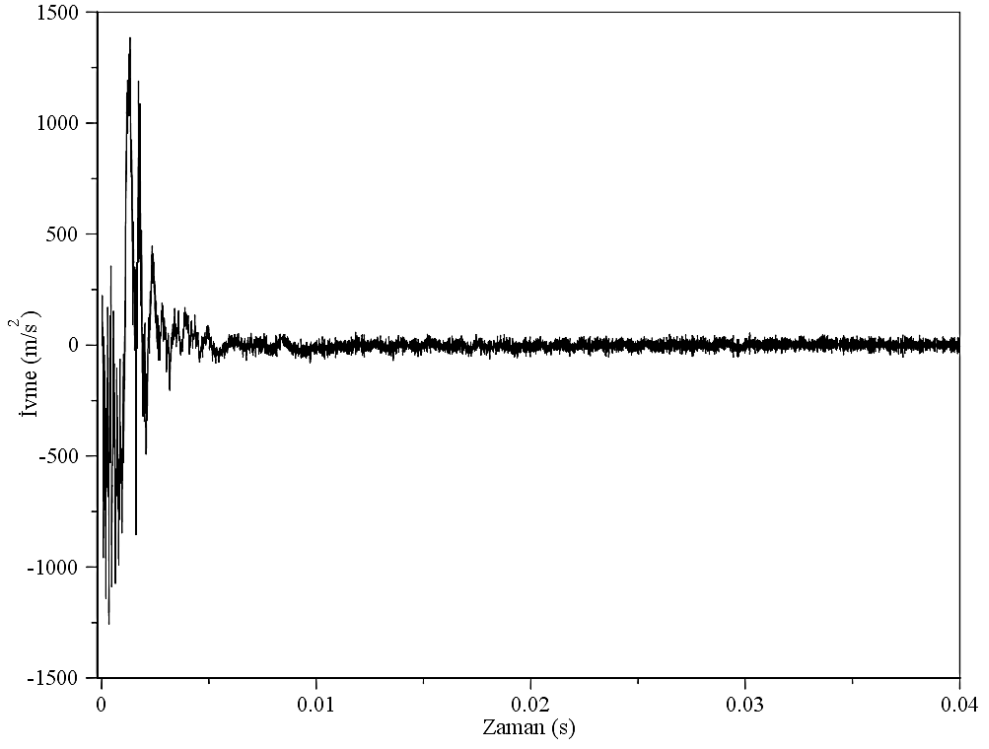
Şekil 6.100. S9 deney numunesinin deney sonrası görünüşü

Deneyle sırasında, S9 deney numunesinde oluşan ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri, ölçüm cihazları ile kayıt altına alınmıştır. Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi ve göçme hasar durumunda oluşan, çarpma kuvveti, deplasman ve simetrik olarak yerleştirilen ivmeölçerler ile ölçülen ivme değerlerinden büyük olanları Tablo 6.9'da görülmektedir.

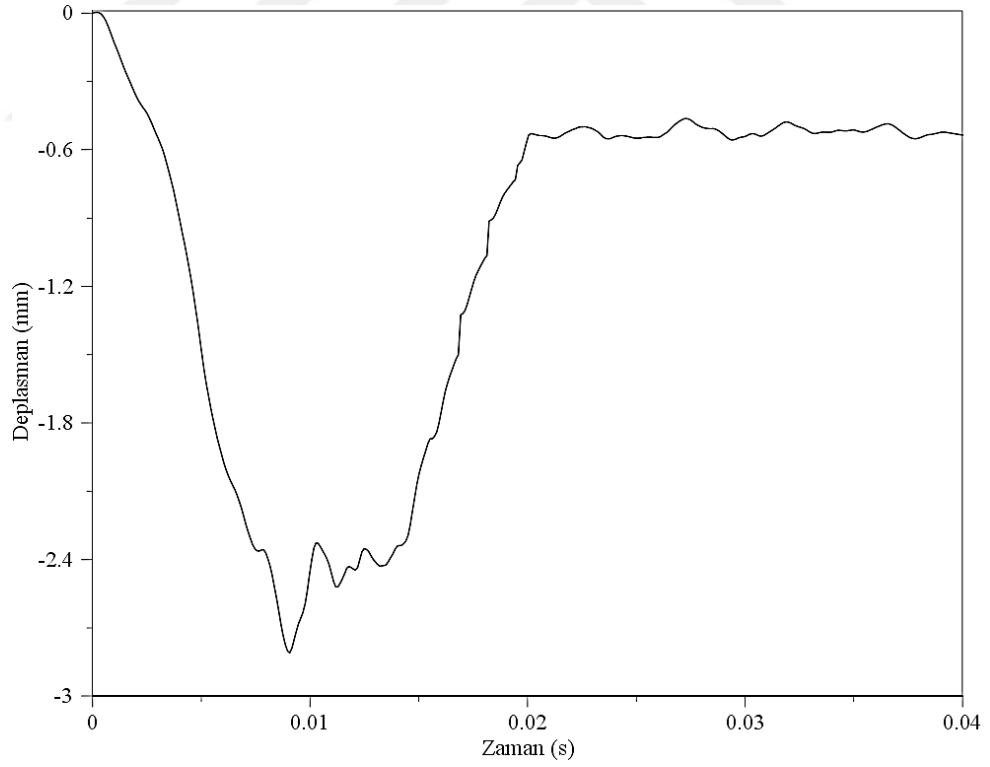
Tablo 6.9. S9 numunesi için ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri

Hasar Durumu	İvme Değeri (m/s ²)		Deplasman Değeri (mm)	Çarpma Kuvveti Değeri (N)
	Minimum	Maksimum		
İlk Düşme	-1255,95	1384,60	2,81	25534,37
Göçme	-781,04	663,21	5,98	15051,84

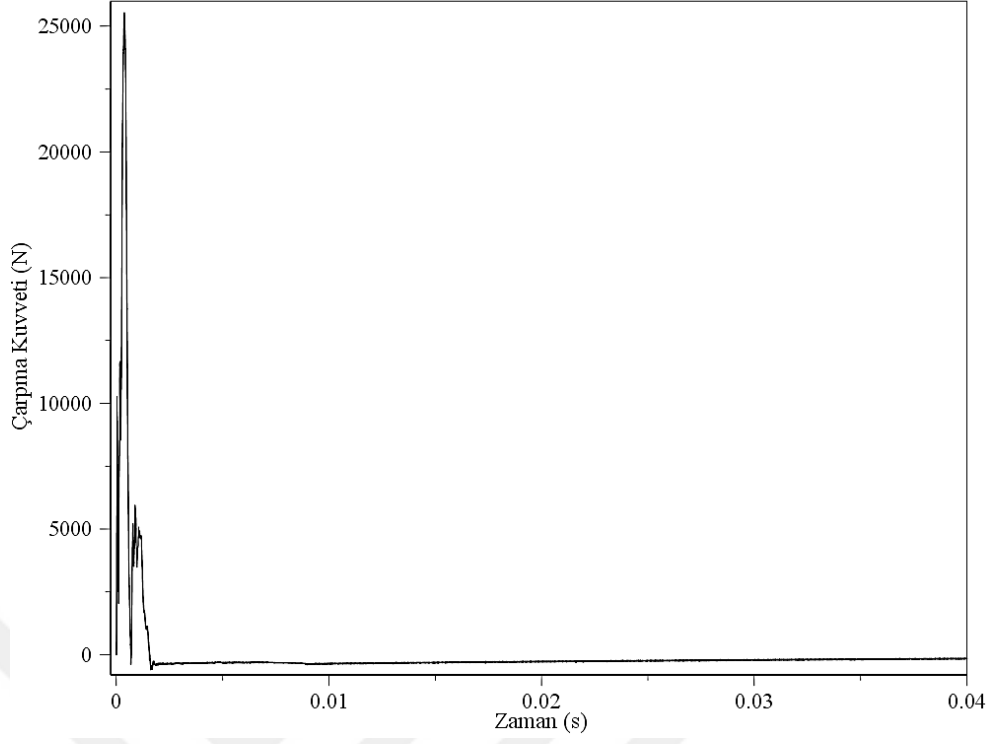
S9 deney numunesinde, ilk düşme hareketi için ölçülen değerler kullanılarak çizilen, ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, Şekil 6.101-6.104 arasında sunulmuştur.



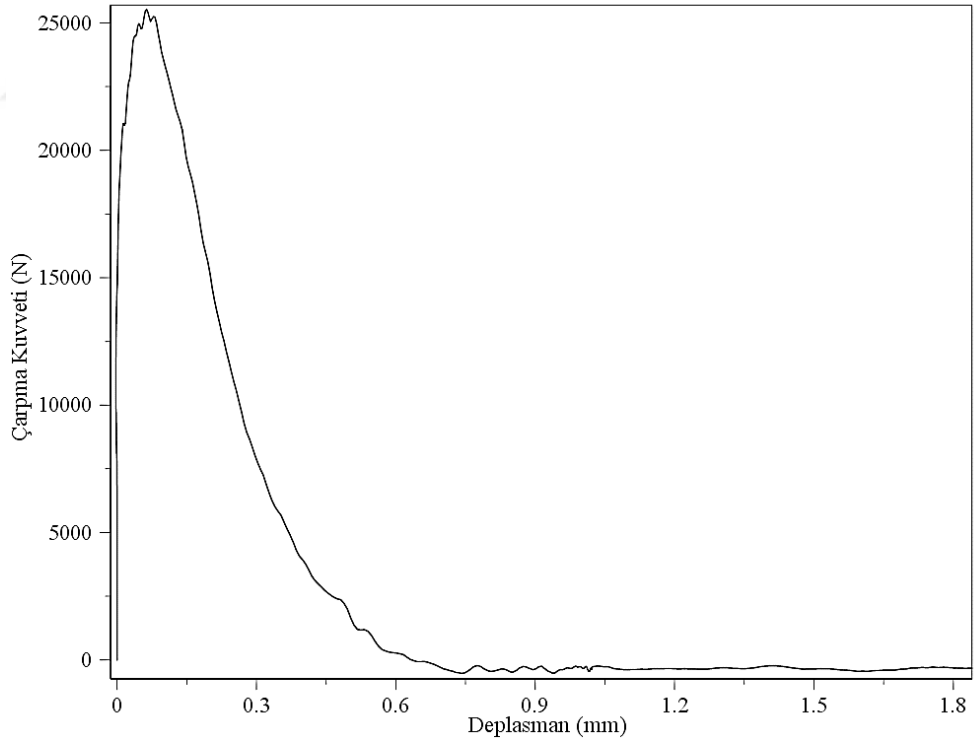
Şekil 6.101. S9 numunesinde ilk düşme için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.102. S9 numunesinde ilk düşme için deplasman-zaman grafiği

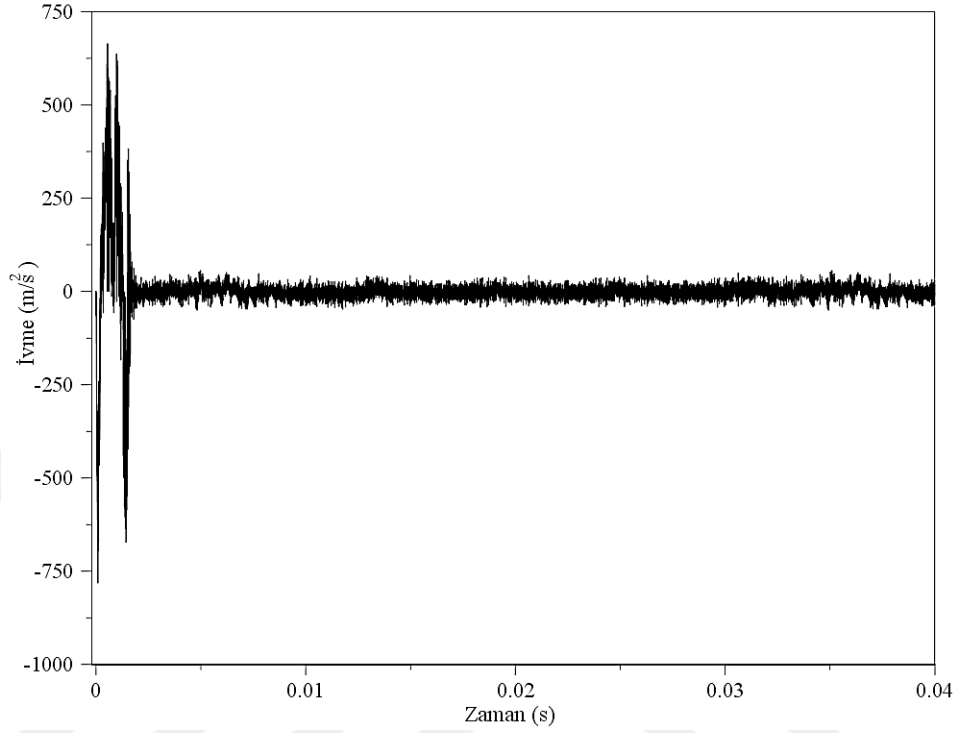


Şekil 6.103. S9 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-zaman grafiği

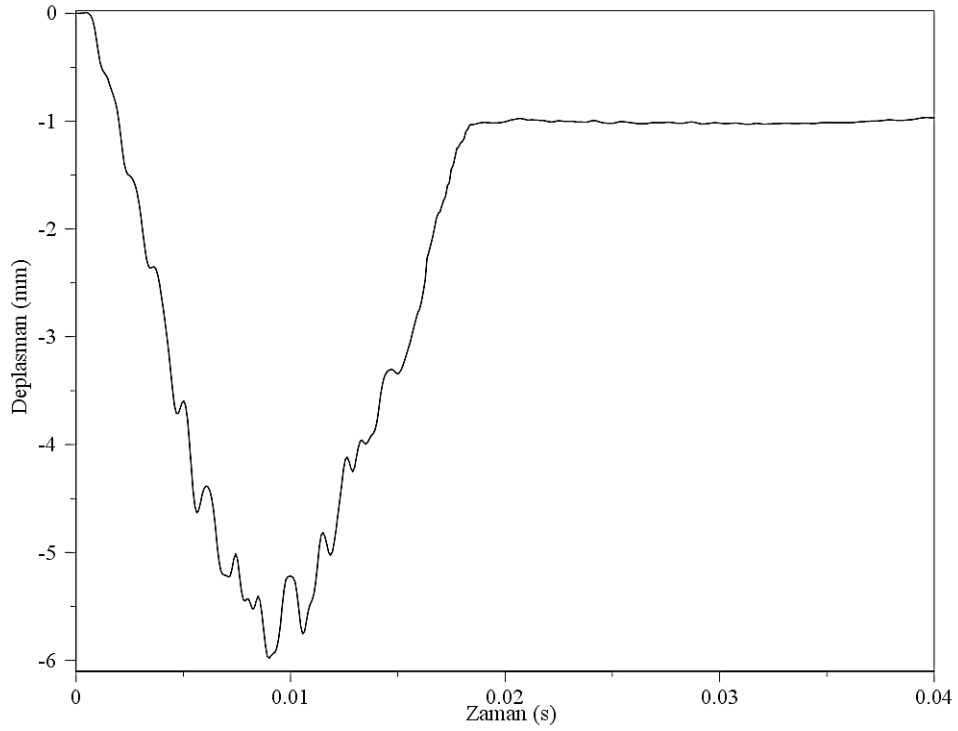


Şekil 6.104. S9 numunesinde ilk düşme için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

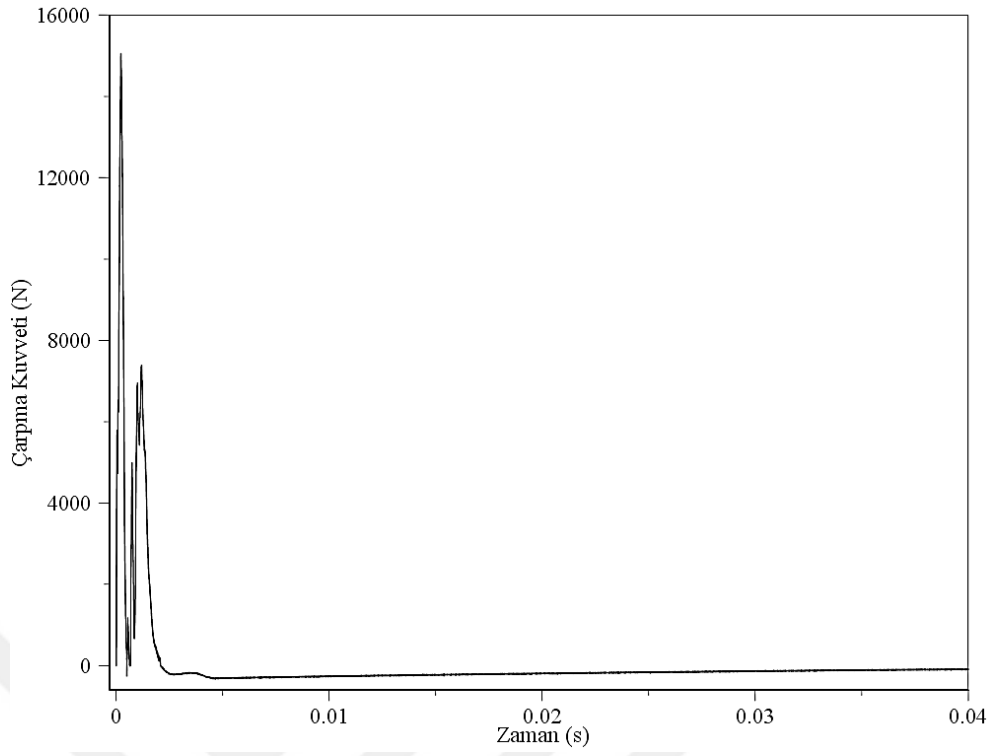
S9 deney numunesinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri ile oluşturulan grafikler, Şekil 6.105-6.108 arasında sunulmuştur.



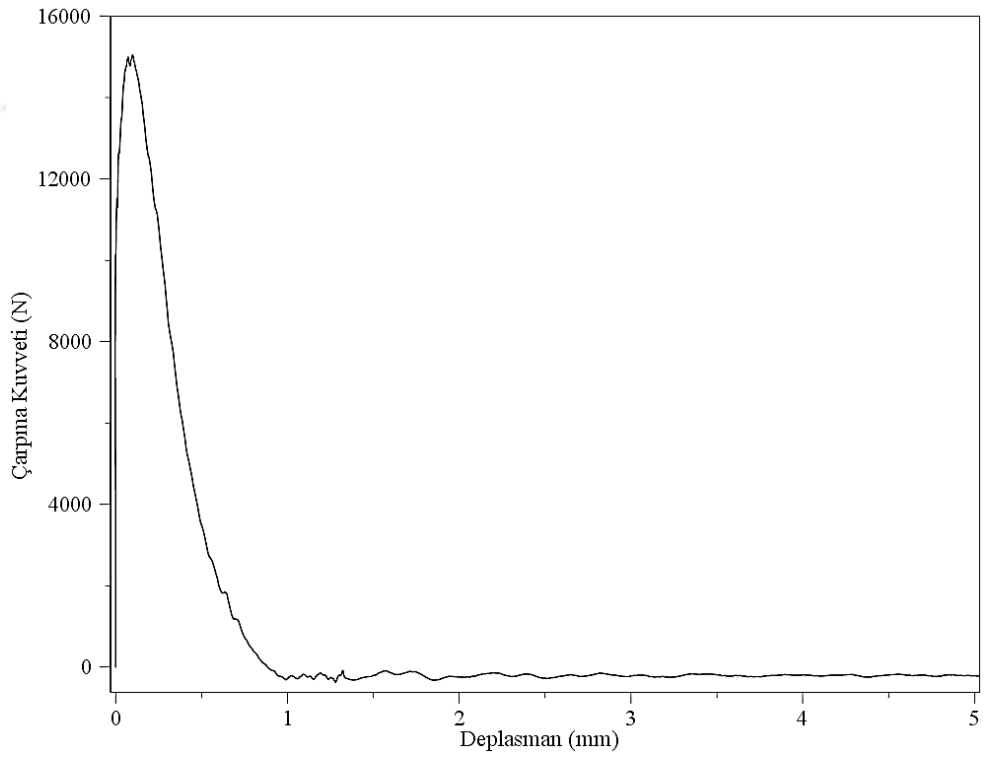
Şekil 6.105. S9 numunesinde göçme durumu için ivme-zaman grafiği



Şekil 6.106. S9 numunesinde göçme durumu için deplasman-zaman grafiği



Şekil 6.107. S9 numunesinde göçme durumu için çarpma kuvveti-zaman grafiği



Şekil 6.108. S9 numunesi göçme durumu için çarpma kuvveti-deplasman grafiği

7. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Tüm numuneler için deneylerin tamamlanmasının ardından, elde edilen veriler bu bölümde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, grout harçları kullanılarak 3 farklı dayanım sınıfında üretilen toplam 9 adet deney numunesi, serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğinde çarpma yüklemesi altında test edilmiştir. Deneyler sırasında oluşan değerleri belirlemek için, ivmeölçer, kuvvet algılayıcısı, lvdt ve veri toplayıcı gibi ölçüm cihazları kullanılmıştır. Çekiç tarafından uygulanan çarpma yüklemesini, numunelere üniform olarak dağıtmak için kauçuk malzeme ve çelik plak kullanılmıştır.

Deneyler sırasında oluşan ivme değerleri, çarpma yüklemesinin uygulandığı noktadan 125 mm mesafede bulunan 2 adet ivmeölçer ile belirlenen ivme değerlerinden büyük olanları, ilk düşme ve göçme hasar durumları için Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Deney numunesinde oluşan ivme değerleri

Deney Numunesi	İvme Değerleri			
	İlk Düşme (m/s ²)		Göçme (m/s ²)	
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
S1	-813,64	736,30	-327,76	408,13
S2	-693,24	741,88	-342,61	379,78
S3	-730,50	690,02	-404,76	316,33
S4	-980,60	938,97	-523,82	439,85
S5	-958,80	1017,24	-403,09	475,41
S6	-977,64	996,26	-549,86	470,57
S7	-1363,03	1228,97	-793,23	622,76
S8	-1176,24	1260,10	-591,30	765,76
S9	-1255,95	1384,60	-781,04	663,21

Deneyler sırasında lvdt ile ölçülen deplasman değerleri, ilk düşme hareketi ve göçme hasar durumu için Tablo 7.2’de sunulmuştur.

Tablo 7.2. Deney numunelerinde oluşan deplasman değerleri

Deney Numunesi	Deplasman Değerleri	
	İlk Düşme (mm)	Göçme (mm)
S1	3,92	8,90
S2	4,07	8,52
S3	4,22	9,04
S4	3,55	7,07
S5	3,62	6,90
S6	3,44	7,26
S7	2,91	6,17
S8	2,97	6,32
S9	2,81	5,98

Çekicinin uç kısmına yerleştirilen, kuvvet algılayıcısı ile ölçülen çarpma kuvveti değerleri, numunelere göre Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3. Deney numunelerinde oluşan çarpma kuvveti değerleri

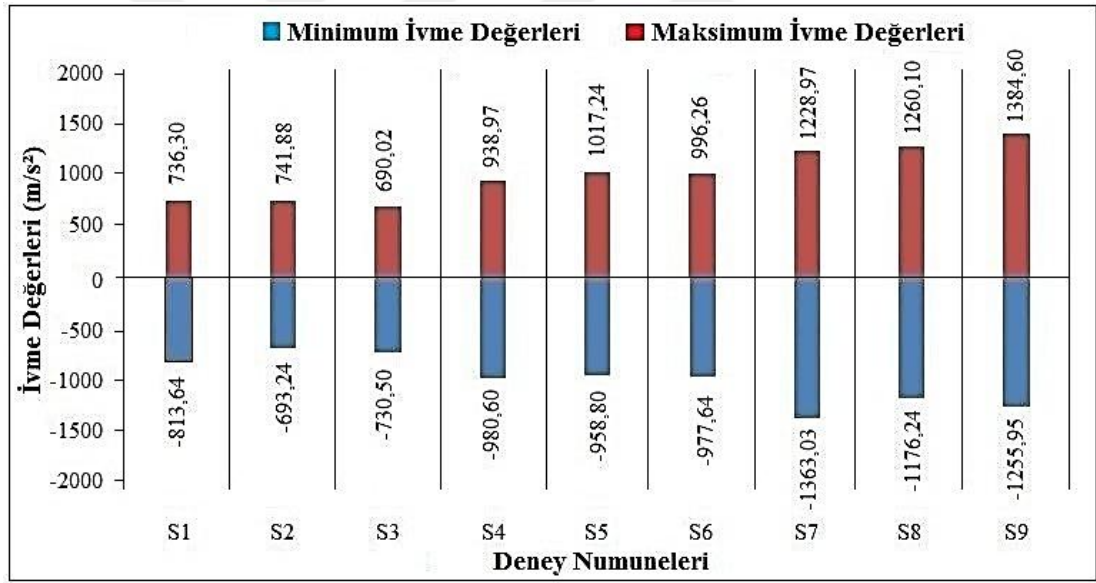
Deney Numunesi	Çarpma Kuvveti Değerleri	
	İlk Düşme (N)	Göçme (N)
S1	18130,52	11394,17
S2	18007,19	11576,39
S3	17586,96	11199,17
S4	21303,43	12424,81
S5	20976,14	12255,90
S6	22045,69	12853,37
S7	25243,09	14408,91
S8	24946,20	13953,10
S9	25534,37	15051,84

Deney numuneleri için belirlenen basınç dayanım değerleri, göçme hasar durumunun olduğu düşme adetleri ve ilk serbest düşme hareketi için ölçülen düşme zamanları, numunelere göre Tablo 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.4. Numunelerde oluşan hasar adetleri ve düşme süreleri

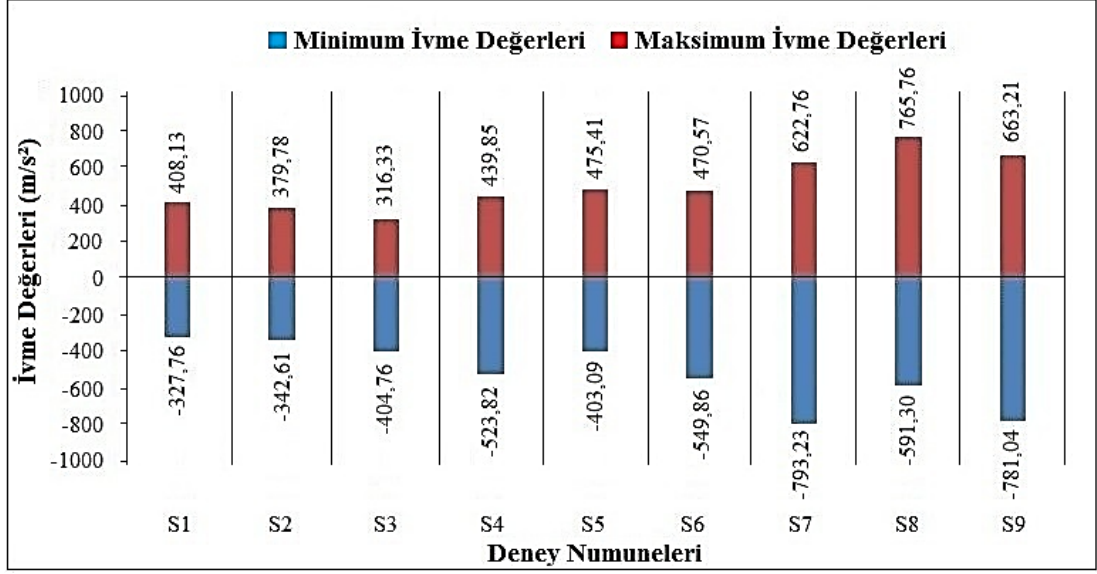
Deney Numunesi	Dayanım Değeri (MPa)	Göçme (Adet)	Düşme Süresi (ms)
S1	31,78	8	382
S2	30,61	8	377
S3	30,33	7	385
S4	65,56	11	381
S5	64,92	10	379
S6	66,64	12	374
S7	93,16	15	377
S8	92,53	15	383
S9	94,02	16	375

Çekicinin yaptığı ilk serbest düşme hareketi için, ivmeölçerler tarafından ölçülen minimum ve maksimum ivme değerleri, karşılaştırmalı olarak Şekil 7.1’de sunulmuştur.



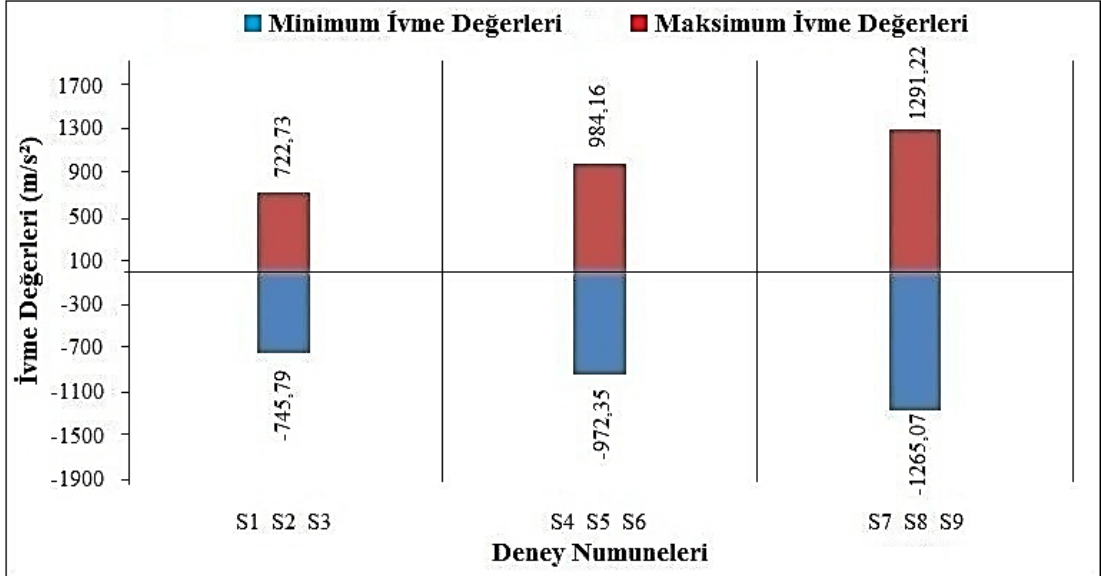
Şekil 7.1. İlk düşme hareketi için ivme değerleri

Deney numunelerinde, göçme hasar durumu için belirlenen ivme değerleri ise Şekil 7.2’de verilmiştir.



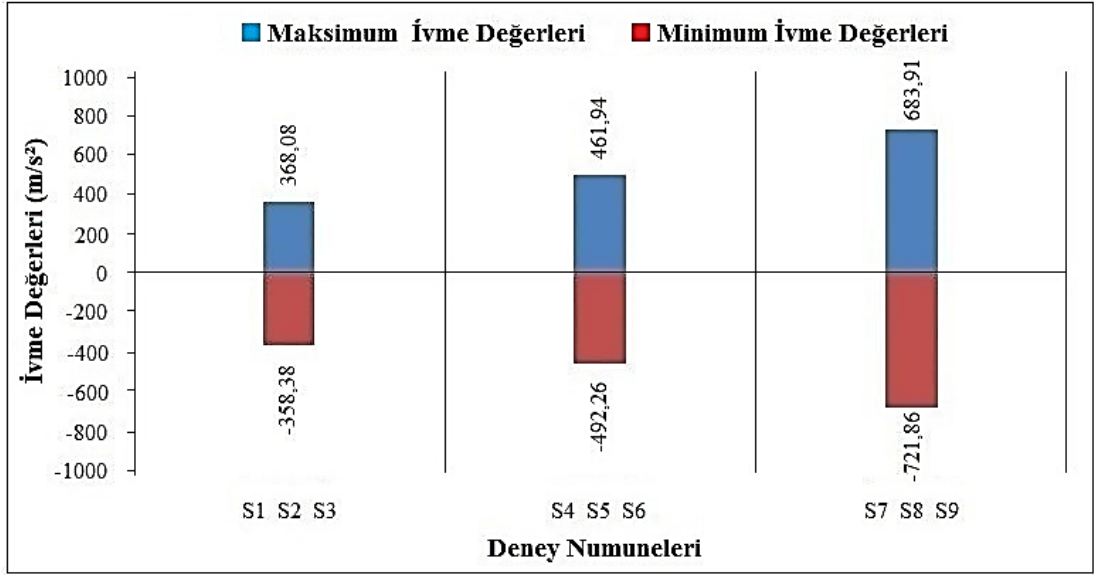
Şekil 7.2. Göçme durumu için ivme değerleri

İlk düşme hareketi için, deney numunelerinde oluşan minimum ve maksimum ivme değerlerinin, dayanım gruplarına göre ortalamaları alınmış ve sütun grafik şeklinde düzenlenerek, Şekil 7.3'te verilmiştir.



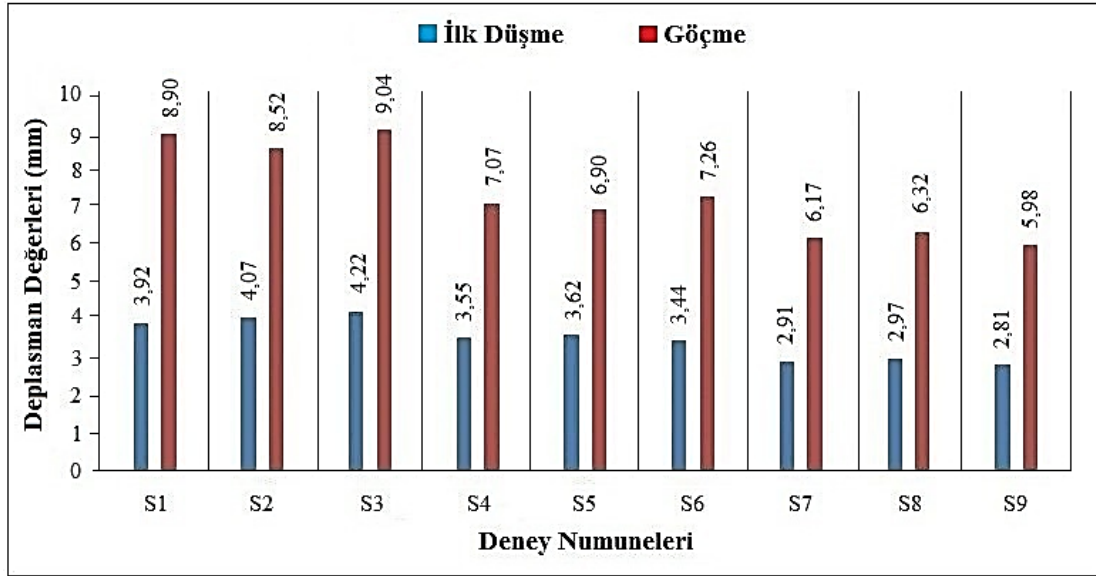
Şekil 7.3. İlk düşme hareketi için dayanım gruplarında oluşan ivme değerleri

Göçme durumunda, deney numunelerinde oluşan minimum ve maksimum ivme değerlerinin, dayanım gruplarına göre ortalamaları alınmış ve sütun grafik şeklinde düzenlenerek Şekil 7.4'te verilmiştir.



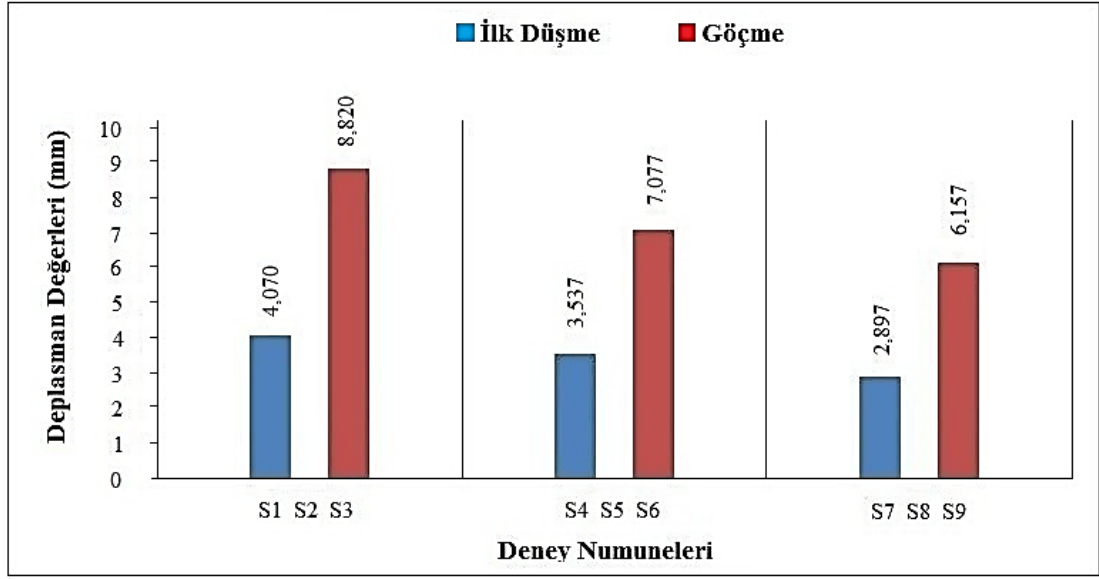
Şekil 7.4. Göçme durumu için dayanım gruplarında oluşan ivme değerleri

Lvdt yardımıyla deney numunelerinden ölçülen deplasman değerleri, ilk düşme ve göçme durumu için karşılaştırmalı olarak Şekil 7.5'te sunulmuştur.



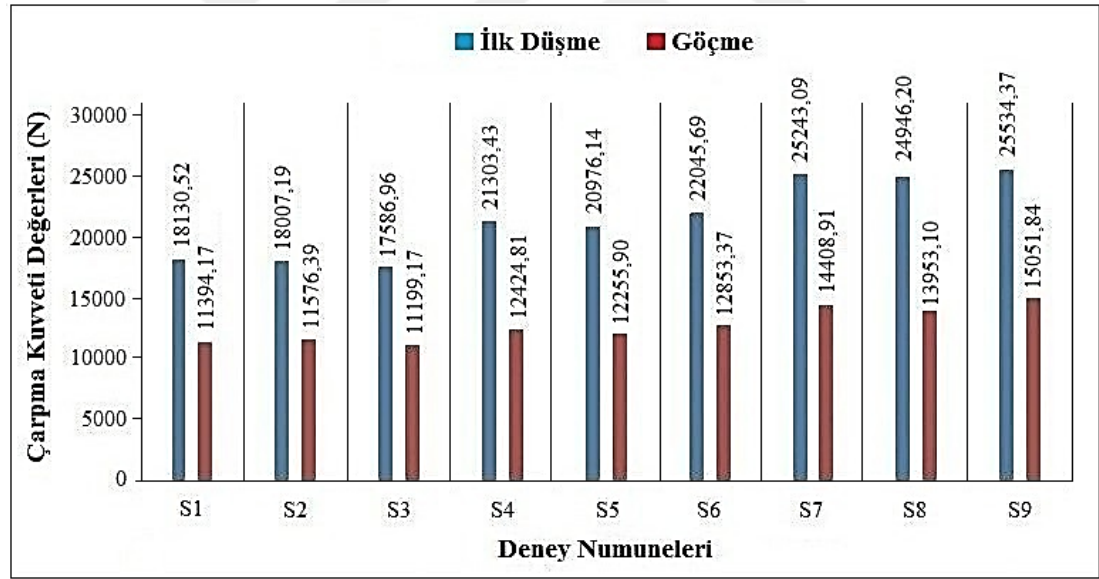
Şekil 7.5. Deney numunelerinde oluşan deplasman değerleri

Deney numunelerinden ölçülen deplasman değerleri, dayanım gruplarına göre ortalamaları alınarak Şekil 7.6'da verilmiştir.



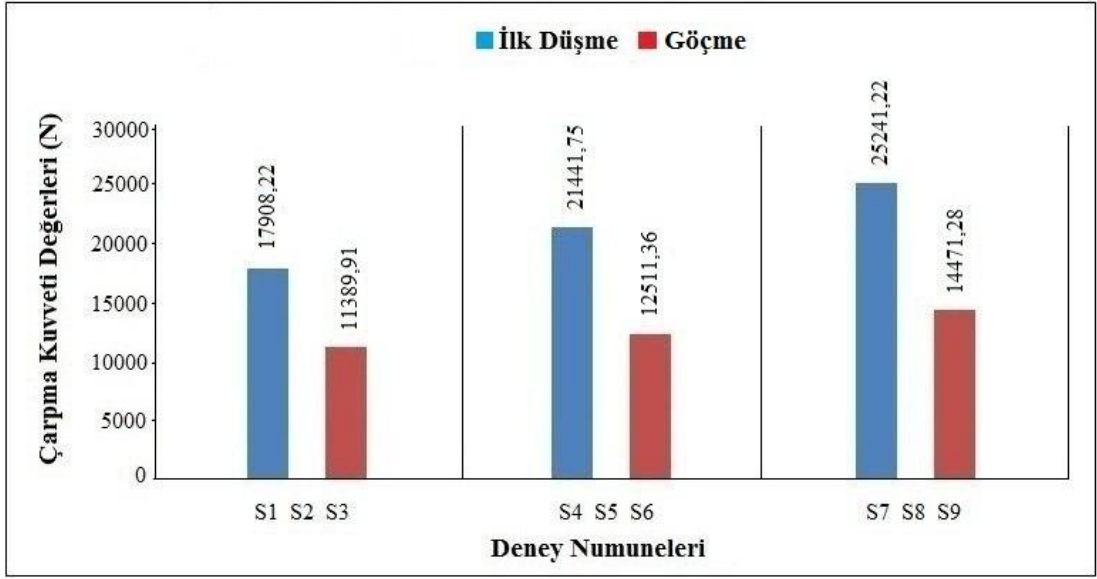
Şekil 7.6. Dayanım gruplarına göre deplasman değerleri

İlk hasar ve göçme durumları için deney numunelerinden ölçülen çarpma kuvveti değerleri, karşılaştırmalı olarak Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7. Deney numunelerinde oluşan çarpma kuvveti değerleri

Deney numunelerinden ölçülen çarpma kuvveti değerleri, dayanım gruplarına göre ortalamaları alınarak Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8. Dayanım gruplarına göre çarpma kuvveti değerleri

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çarpma etkisi, farklı malzemeler veya objeler arasında, çarpışma anında oluşan ani etkilerin, malzemelerde ya da nesnelere oluşturduğu değişimlerdir. Çarpma etkisinin ölçülme amacı, günümüzde yaşanan doğal afetler, araç kazaları, patlamalar gibi ani etkilere neden olabilecek olaylardır. Çarpma etkisi, genellikle belli bir hıza sahip bir cismin, hareketsiz durumdaki başka bir cisme anlık olarak çarpmasıyla ortaya çıkar. Çarpışma anında ortaya çıkan, yüksek gerilmeler sonucunda oluşan deformasyonlar ve hasar durumları, araştırmacılar tarafından geliştirilen deney düzenekleri ile incelenmektedir.

Yapılan tez çalışmasında, grout harçları kullanılarak üretilen ve farklı dayanımlara sahip 500x500x50 mm boyutlarındaki plak deney numuneleri, çarpma yüklemesi altında test edilmiştir. Deney numunelerine çarpma yüklemesini uygulamak için, serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği kullanılmıştır. Deney düzeneğinde ivmeölçer, lvd, kuvvet algılayıcısı ve veri toplayıcısı gibi ölçüm cihazları yer almaktadır. Ölçüm cihazları ile elde edilen ivme, deplasman ve çarpma kuvveti değerleri kullanılarak, her bir deney numunesi için ilk serbest düşme hareketi ve oluşan göçme hasar durumu için ivme-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri oluşturulmuştur.

Deneysel çalışma kapsamında, toplam 9 adet deney numunesi üretilmiştir. Deneylerde serbest düşme yüksekliği 600 mm, çekiç kütlesi ise 4,125 kg alınarak, numuneler üzerine sabit bir çarpma enerjisi uygulanmıştır. Çarpma etkisini, deney numuneleri üzerinde üniform olarak yaymak için, çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye kauçuk malzeme ve çelik plak yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde bulunan optik fotoseller yardımıyla kilitlenme mekanizması devreye sokularak, çekicinin çarpma yüklemesini uygulayıp sıçradıktan sonra, ikinci kez numuneye yük uygulaması engellenmiştir. Böylece, her bir serbest düşme hareketi için, çarpma yüklemesi numune üzerine bir kez uygulanmıştır. Bunun yanında, numunelerde oluşan çatlak gelişimleri ve hasar durumları, deneysel çalışma boyunca gözlemlenmiştir.

Deney numunelerine, çarpma yüklemesinin uygulandığı noktadan, sağa ve sola 125 mm mesafede 2 adet ivmeölçer, simetrik olarak yerleştirilmiştir. Her bir düşme hareketi için, numunelerde oluşan ivme değerleri ölçülmüştür. Numunelerde oluşan

hasar gelişimleri izlenerek, ilk düşme hareketi ve göçme hasar durumu için ivme-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen ivme değerleri incelendiğinde, ilk düşme hareketinden, göçme hasar durumuna doğru gidildikçe, ivme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, deney numunelerinin dayanım değerleri arttıkça, ölçülen ivme değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Yapılan deneylerde, numunelerde oluşan deplasman değerleri, lvdt kullanılarak belirlenmiştir. Lvdt, çarpma yüklemesinin uygulandığı bölgeye monte edilen alüminyum bir çubuk üzerine yerleştirilmiştir. Deney numunelerinde oluşan deplasman değerleri incelendiğinde, en büyük deplasman değerlerinin göçme hasar durumunda olduğu görülmektedir. Tüm numunelerde, en düşük deplasman değerleri ise, ilk serbest düşme hareketinde ölçülmüştür. Bunun yanında, deney numunelerinde dayanım değerleri arttıkça, daha küçük deplasman değerleri elde edilmiştir.

Çarpma yüklemesini uygulayan çekicin, uç kısmına yerleştirilen kuvvet algılayıcısı ile deney numunelerinde oluşan çarpma kuvveti değerleri ölçülmüştür. Tüm numunelerde ölçülen en büyük çarpma kuvveti değerleri, hasarsız durumda uygulanan ilk düşme hareketi için elde edilmiştir. Göçme hasar durumuna doğru gidildikçe, ölçülen çarpma kuvveti değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun yanında, deney numunelerinin dayanım değerleri arttıkça, ölçülen çarpma kuvveti değerleri de artmıştır. Deplasman-zaman ve çarpma kuvveti-zaman grafikleri kullanılarak çizilen çarpma kuvveti-deplasman grafikleri, deney numunelerinin enerji yutma kapasiteleri hakkında fikir vermiştir. İlk düşme hareketinden göçme durumuna doğru gidildikçe, deney numunelerinin enerji kapasitelerinde azalma meydana gelmiştir.

Yapılan deneysel çalışma boyunca, numunelerde oluşan çatlak genişlikleri ve sayıları ile hasar gelişimleri izlenmiştir. Deney numunelerinde oluşan göçme hasar durumları incelendiğinde, numune dayanımı arttıkça göçme hasar durumunun oluşması için daha fazla serbest düşme hareketi yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu tez çalışması ile grout harçları kullanılarak üretilen farklı dayanımlardaki plak numunelerinin, çarpma yüklemesi altındaki davranışı incelenmiştir. Geliştirilen serbest ağırlık düşürücü deney düzeneğinde, farklı malzeme

özelliklerine sahip yapısal elemanlar, çarpma etkisi altında test edilebilir. Deney düzeneğinde yer alan çekiç kütlesi ve serbest düşme yüksekliği değiştirilerek, deney numunelerine farklı çarpma enerjileri uygulanabilir. Ayrıca, sonlu elemanlar analiz programları kullanılarak, bilgisayar ortamında elde edilecek analiz sonuçları, deneysel sonuçlar ile karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1]. Arros, J., Doumbalski, N. Analysis of aircraft impact to concrete structures, *Nuclear Engineering and Design*, 2007, 237, 1241-1249.
- [2]. Breen, C., Guild, F., Pavier, M. Impact of thick CRFP laminates: the effect of impact velocity, *Composites: Part A*, 2005, 36, 205-211.
- [3]. Delhomme, F., Mommessin, M., Mougine, J. P., Perrotin, P. Behavior of a structurally dissipating rock-shed: experimental analysis and study of punching effects, *International Journal of Solids and Structures*, 2005, 42, 4204-4219.
- [4]. Go´mez-del Rı´o, T., Zaera, R., Barbero, E., Navarro, C. Damage in CFRPs due to low velocity impact at low temperature, *Composites: Part B*, 2005, 36, 41-50.
- [5]. Nataraja, M. C., Dhang, N., Gupta, A. P. Statistical variations in impact resistance of steel fiber-reinforced concrete subjected to drop weight test, *Cement and Concrete Research*, 1999, 29, 989-995.
- [6]. Yankelevsky, D. Z. Local response of concrete slabs to low velocity missile impact, *International Journal of Impact Engineering*, 1997, 19(4), 331-343.
- [7]. Elavenil, S., Knight, S. Impact response of plates under drop weight Impact Testing, *Daffodil International University Journal of Science and Technology*, 2012, 7(1), 1-11.
- [8]. Korotkov, V., Poprygin, D., Ilin, K., Ryzhov, S. Determination of dynamic reaction in concrete floors of civil structures of nuclear power plant in accidental drops of heavy objects, 2004 Abaqus Users' Conference, Boston, 399-408.
- [9]. Murtiadi, S. Behavior of high-strength concrete plates under impact loading, Master Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland, 1999.
- [10]. Rambaud, P. B., Timsah, Y., Daudeville, L., Mazars, J. Finite element modelling of concrete protection structures submitted to rock impacts, 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, 2003, Seattle, 1-12.
- [11]. Tai, Y. S., Tang, C. C. Numerical simulation: The dynamic behavior of reinforced concrete plates under normal impact, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2006, 45, 117-127.
- [12]. Zineddin, M., Krauthammer, T. Dynamic response and behavior of reinforced concrete slabs under impact loading, *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34, 1517- 1534.

- [13]. Erdem, R. T. Prediction of acceleration and impact force values of a reinforced concrete slab, 2014, Vol. 14, No. 5, 563-575.
- [14]. Anıl, Ö., Kantar, E., Yılmaz, M. C. Low velocity impact behavior of RC slabs with different support types, *Construction and Building Materials*, 2015, Volume 93, Pages 1078-1088.
- [15]. Arslan, A. Mixed-Mode fracture performance of fibre reinforced concrete under impact loading, *Materials and Structures*, 1995, 28, 473-478.
- [16]. Barr, B., Baghli, A. A repeated drop-weight impact testing apparatus for concrete, *Magazine of Concrete Research*, 1988, 40(144), 167-176.
- [17]. Barr, B., Bouamrata, A. Development of a repeated drop-weight impact testing apparatus for studying fibre reinforced concrete materials, *Composites*, 1988, 19, 453-466.
- [18]. Chakradhara, R. M., Bhattacharyya, S. K., Barai, S. V. Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load, *Construction and Building Materials*, 2011, 25, 69-80.
- [19]. Erdem, R. T. Farklı kesit boyutlarına sahip beton ve betonarme elemanların çarpma etkisi altında incelenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2013, (Doktora Tezi).
- [20]. Yoo, D., Banthia, N. Size-dependent impact resistance of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete beams, *Construction and Building Materials*, 2017, 363–375.
- [21]. Yoo, D., Banthia, N., Kang, S., Yoon, Y. Effect of fiber orientation on the rate-dependent flexural behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete, *Composite Structures*, 2016, 62-70.
- [22]. Yoo, D., Banthia, N., Kim, S., Yoon, Y. Response of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete beams with continuous steel reinforcement subjected to low-velocity impact loading, *Composite Structures*, 2015, 233-245.
- [23]. Erki, M. A., Meier, U. Impact loading of concrete beams externally strengthened with CFRP laminates, *Journal of Composites for Construction*, 1999, 3(3), 117-124.
- [24]. Kaçaran, G. Betonarme Döşemelerin Çarpışma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2018, (Yüksek Lisans Tezi).
- [25]. Kantar, E., Arslan, A., Anıl, Ö. Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2011, 26(1), 115-126.

- [26]. Kishi, N., Mikami, H., Matsuoka, K. G., Ando, T. Impact behavior of shear-failure type RC beams without shear rebar, *International Journal of Impact Engineering*, 2002, 27(9), 955-968.
- [27]. Marar, K., Çelik, T., Eren, Ö. Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber reinforced concrete, *Materials Letters*, 2001, 47, 297-304.
- [28]. Nili, M., Afroughsabet, V. Combined effect of silica fume and steel fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete, *International Journal of Impact Engineering*, 2010, 37, 879-886.
- [29]. Saatci S., Vecchio, F. J. Effects of shear mechanisms on impact behavior of reinforced concrete beams, *ACI Structural Journal*, Technical Paper, 2009. 106-S09, 78- 86.
- [30]. Saatci S., Vecchio, F. J. Nonlinear finite element modeling of reinforced concrete structures under impact loads, *ACI Structural Journal*, Technical Paper, 2009, 106-S67, 717-725.
- [31]. Selvi, M. Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2008, (Yüksek Lisans Tezi).
- [32]. Soroushian, P., Elzafraney, M. Damage effects on concrete performance and Microstructure, *Cement and Concrete Composites*, 2004, 26, 853-859.
- [33]. Suaris, W., Shah, S. P. Properties of concrete subjected to impact, *Journal of Structural Engineering*, 1983, 109, 1727-1741.
- [34]. Tachibana, S., Masuya, H., Nakamura, S. Experimental study on the impact behavior and performance of reinforced concrete beam with some absorbing materials, 31st Conference On Our World In Concrete & Structures, 2006, Singapore.
- [35]. Wang, X., Zhang, Y., Su, Y., Feng, Y. Experimental investigation on the effect of reinforcement ratio to capacity of rc column to resist lateral impact loading, *Systems Engineering Procedia*, 2011, 1, 35-41.
- [36]. Yılmaz, T. CFRP şeritlerle güçlendirilmiş kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin çarpma davranışının deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2013, (Yüksek Lisans Tezi).
- [37]. Yılmaz, C., Dok, G. Farklı çarpma etkilerine maruz kalmış betonarme kirişlerin davranışının belirlenmesi, Published in 4th International Symposium on Innovative

Technologies in Engineering and Science, 3-5 November, 2016, Antalya, 1414-1419 s.

- [38]. Yılmaz, T., Kır aç, N., Anil,  ., Erdem, R. T., Sezer, C. Low-velocity impact behaviour of two way RC slab strengthening with CFRP strips, Construction and Building Materials, 2018, 186, 1046-1063.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat BERBEROĞLU

Doğum Yeri ve Yılı : Ordu, 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : muratberberoglu.52@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Ünye Atatürk Lisesi, 2010

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2015

Mesleki Deneyim

Manisa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü 2016-.....(halen)