

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

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

**FARKLI ORANDA YÜZEY SERTLEŞTİRİCİ KULLANILARAK
ÜRETİLEN PLAKLARIN DİNAMİK YÜKLER ALTINDA
İNCELENMESİ**

Onur BAŞBÜYÜK

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR**



MANİSA-2022

TAAHHÜTNAME

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

Onur BAŞBÜYÜK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. TEZİN AMACI.....	14
4. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN DONANIMLAR.....	15
4.1 Düşey Ağırlık Düşürücü Deney Aleti	15
4.2 İvmeölçer.....	18
4.3 Kuvvet Algılayıcılar	20
4.4 Optik Fotoseller	22
4.5 Yer Değişimi Algılayıcısı (lvdt).....	23
4.6 Veri Toplayıcı.....	25
4.7 Ölçüm Bağlantı Kabloları.....	28
5. DENEY HAZIRLIK AŞAMASI	30
5.1 Kalıp Malzemesi.....	30
5.2 Beton	31
5.3 Yüzey Sertleştirici	32
6. DENEY ELEMANLARININ HAZIRLANMASI.....	33
7. ÇARPMA DENEYLERİ	39
7.1. P1-YS1 Deney Elemanı.....	40
7.2. P2-YS2 Deney Elemanı.....	45
7.3. P3-YS3 Deney Elemanı.....	51
7.4. P4-YS1 Deney Elemanı.....	58
7.5. P5-YS2 Deney Elemanı.....	63
7.6. P6-YS3 Deney Elemanı.....	69
7.7. P7-YS1 Deney Elemanı.....	76
7.8. P8-YS2 Deney Elemanı.....	81
7.9. P9-YS3 Deney Elemanı.....	87
8. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	94
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	98
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AWG	: Amerikan kablolama ölçütü
ACI	: American Concrete Institute
CFRP	: Karbon Takviyeli Elyaf Kumaş
a	: İvme
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
dB	: Desibel
FS	: Akışmetrelerin doğruluk değeri
f_{cd}	: Beton hesap basınç dayanımı
gr	: Gram
F	: Kuvvet
h	: Serbest düşme yüksekliği
g	: Yerçekimi ivmesi
Hz	: Hertz
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
kHz	: Kiloherz
M	: Kütle
m	: Metre
MPa	: Megapascal
MHz	: Megahertz
mA	: Miliamper
mm	: Milimetre
mV	: Milivolt
ms	: Milisaniye
N	: Newton
P	: Düğüm noktasına etkiyen dış kuvvet
Ω	: Ohm
ppm	: Milyonda bir parça
pF	: Güç faktörü
pk	: Tepe genliği
rms	: Ortalama karekök genliği

s	: Saniye
V	: Volt
VDC	: Volt, doğru akım
W	: Watt
μs	: Mikrosaniye
μm	: Mikrometre
με	: Microstrain



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Düşey düşürücü deney aleti	16
Şekil 4.2. Deney aleti ve üzerinde yer alan ölçüm cihazlarının gösterimi	16
Şekil 4.3 Mesnet bağlantı aparatları	17
Şekil 4.4. Düşey vurucu çekiç	18
Şekil 4.5. ICP 350B04 ivmeölçer	19
Şekil 4.6. ICP 202 kuvvet algılayıcı	21
Şekil 4.7. Optik fotoseller	23
Şekil 4.8. Lvdt sensör mekanizması[36]	24
Şekil 4.9. Yer değişimi algılayıcı (lvdt)	24
Şekil 4.10. DEWE-43 A veri toplayıcı	25
Şekil 4.11. TESTBOX2010-ATT veri toplayıcı	27
Şekil 4.12. PCB 002C30 bağlantı kablosu	29
Şekil 4.13. Hidrokar Hidrolik Atölye Presi - HAP-P Makinesi	29
Şekil 4.14. Hidrokar hidrolik atölye presine ait teknik özellikleri	29
Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 5.1. Kalıplar	31
Şekil 5.2. Betonun meydana getiren fazlar [37]	31
Şekil 6.1 Üretilen beton	33
Şekil 6.2. Deney elemanlarının basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi	34
Şekil 6.3. Kalıp yağı ile yağlanmış kalıplar	36
Şekil 6.4 Hazırlanan kalıplara beton dökülmesi	36
Şekil 6.5 Yüzey sertleştiricinin taze betona serpilmiş hâli	37
Şekil 6.6. Yüzey sertleştirici uygulanmış betonun son hâli	38
Şekil 7.1. Çarpma deney testi	39
Şekil 7.2. P1-YS1 deney elemanı	40
Şekil 7.3. P1-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	41
Şekil 7.4. P1-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar	41
Şekil 7.5. P1-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü	42
Şekil 7.6. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği	43
Şekil 7.7. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	43
Şekil 7.8. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği	44
Şekil 7.9. P1-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği	44
Şekil 7.10. P1-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	45
Şekil 7.11. P1-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği	45
Şekil 7.12. P2-YS2 deney elemanı	46
Şekil 7.13. P2-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	47
Şekil 7.14. P2-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar	47
Şekil 7.15. P2-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü	48
Şekil 7.16. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği	49
Şekil 7.17. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	49
Şekil 7.18. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği	50
Şekil 7.19. P2-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği	50
Şekil 7.20. P2-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	51
Şekil 7.21. P2-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği	51
Şekil 7.22. P3-YS3 deney elemanı	52
Şekil 7.23. P3-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	53
Şekil 7.24. P3-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar	53

Şekil 7.25. P3-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü	54
Şekil 7.26. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	55
Şekil 7.27. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	55
Şekil 7.28. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	56
Şekil 7.29. P3-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	56
Şekil 7.30. P3-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	57
Şekil 7.31. P3-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	57
Şekil 7.32. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	58
Şekil 7.33. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	59
Şekil 7.34. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	59
Şekil 7.35. P4-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü	60
Şekil 7.36. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	61
Şekil 7.37. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	61
Şekil 7.38. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	62
Şekil 7.39. P4-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	62
Şekil 7.40. P4-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	63
Şekil 7.41. P4-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	63
Şekil 7.42. P5-YS2 deney elemanı.....	64
Şekil 7.43. P5-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	65
Şekil 7.44. P5-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	65
Şekil 7.45. P5-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü	66
Şekil 7.46. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	67
Şekil 7.47. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	67
Şekil 7.48. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	68
Şekil 7.49. P5-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	68
Şekil 7.50. P5-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	69
Şekil 7.51. P5-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	69
Şekil 7.52. P6-YS3 deney elemanı.....	70
Şekil 7.53. P6-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	71
Şekil 7.54. P6-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	71
Şekil 7.55. P6-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü	72
Şekil 7.56. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	73
Şekil 7.57. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	73
Şekil 7.58. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	74
Şekil 7.59. P6-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	74
Şekil 7.60. P6-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	75
Şekil 7.61. P6-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	75
Şekil 7.62. P7-YS1 deney elemanı.....	76
Şekil 7.63. P7-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	77
Şekil 7.64. P7-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	77
Şekil 7.65. P7-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü	78
Şekil 7.66. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	79
Şekil 7.67. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	79
Şekil 7.68. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	80
Şekil 7.69. P7-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	80
Şekil 7.70. P7-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	81
Şekil 7.71. P7-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	81
Şekil 7.72. P8-YS2 deney elemanı.....	82
Şekil 7.73. P8-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	83
Şekil 7.74. P8-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	83

Şekil 7.75. P8-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü	84
Şekil 7.76. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	85
Şekil 7.77. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	85
Şekil 7.78. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	86
Şekil 7.79. P8-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	86
Şekil 7.80. P8-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	87
Şekil 7.81. P8-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	87
Şekil 7.82. P9-YS3 deney elemanı.....	88
Şekil 7.83. P9-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar	89
Şekil 7.84. P9-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar.....	89
Şekil 7.85. P9-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü	90
Şekil 7.86. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği.....	91
Şekil 7.87. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği	91
Şekil 7.88. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği.....	92
Şekil 7.89. P9-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği.....	92
Şekil 7.90. P9-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği	93
Şekil 7.91. P9-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği.....	93

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 4.1. ICP 350B04 ivmeölçer özellikleri	20
Tablo 4.2. ICP 202B kuvvet algılayıcı özellikleri	22
Tablo 4.3. DEWE-43 A veri toplayıcı özellikleri	26
Tablo 4.4. TESTBOX2010-ATT veri toplayıcı özellikleri	28
Tablo 4.5. PCB 002C30 bağlantı kablosu özellikleri.....	29
Tablo 5.1. Beton plak numunelerin özellikleri.....	30
Tablo 5.2. Weber.floor YS 6 yüzey sertleştirici özellikleri	32
Tablo 6.1. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri.....	34
Tablo 6.2. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri.....	35
Tablo 6.3. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri.....	35
Tablo 6.4. Numunelere uygulanan yüzey sertleştirici miktarları	37
Tablo 7.1. P1-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	42
Tablo 7.2. P2-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	48
Tablo 7.3. P3-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	54
Tablo 7.4. P4-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	60
Tablo 7.5. P5-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	66
Tablo 7.6. P6-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	72
Tablo 7.7. P7-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	78
Tablo 7.8. P8-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	84
Tablo 7.9. P9-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri.....	90
Tablo 8.1. Deney elemanında oluşan ivme değerleri.....	95
Tablo 8.2. Deney elemanlarında oluşan deplasman değerleri.....	96
Tablo 8.3. Deney elemanlarında oluşan çarpma kuvveti değerleri.....	97

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarımın her aşamasında bana destek olan bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR'a, bilgi ve tecrübeleriyle desteklerini hiç eksik etmeyen Doç. Dr. Recep Tuğrul ERDEM'e ve Doç. Dr. Engin GÜCÜYEN hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatı boyunca maddi ve manevi olarak destekleyen, beni Őu andaki konumuma getiren, daima yanımda olan değerli anneme, babama ve abime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Onur BAŞBÜYÜK
İzmir,2022



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Farklı oranda yüzey sertleştirici kullanılarak üretilen plakların dinamik yükler altında incelenmesi

Onur BAŞBÜYÜK

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erkan KANTAR

Yapı elemanlarına birden fazla yük etki etmektedir. Bu yükler kalıcı, hareketli ve yatay olarak gruplandırılabilir. Günümüzde, yapı elemanlarının bu yüklerle karşı dayanıklılığını test edebilecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında çarpma etkisi analizi en çok tercih edilenleridir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında farklı yüzey sertleştiriciler ile üretilmiş plakların incelenmesi sırasında bu yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle, 9 beton plak (450×450×60 mm) farklı miktarlarda yüzey sertleştiricileri kullanılarak elde edilmiştir. Sonrasında, bunlardan 9 tanesi çarpma etkisi analizinde incelenmiştir. Bütün deneyler sırasında, çekiç kütlesi 14 kg olup, serbest düşme yüksekliği 500 mm, 400 mm, 300 mm olarak alınmıştır. Elde edilen bu plakların çarpma etkisine karşı verdiği tepkiler ise ivmeölçer, yer değişimi algılayıcı, kuvvet algılayıcısı, veri toplayıcısı ölçüm cihazları yardımıyla ölçülmüştür. Kaydedilen bu değerler kullanılarak elemanlarda oluşan ivme-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen değerler incelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çarpma etkisi, beton plak, yüzey sertleştirici, serbest ağırlık düşürücü deney düzeneği

2022, 107 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

**Examination of plates produced using different ratios of surface hardener
under dynamic loads**

Onur BAŞBÜYÜK

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Erkan KANTAR

Constructional elements are being affected by more than one loads. These loads can be grouped as dead, live and horizontal. Today, various methods have been developed to determine the durability of constructional elements against these loads. Among them, especially impact effect analysis and three-point bending test are the most preferred ones. Therefore, in this thesis, these methods were used as tools to evaluate slabs produced with different surface hardness. First, 12 concrete slabs of 450×450×60 mm in size were obtained by using different amounts of surface hardness. Then, them (9) were examined with the impact effect analysis test. In all experiments, the hammer mass was determined as 14 kg and the free fall height were 500 mm, 400 mm and 300 mm, respectively. The responses of the slabs to impact effect were measured with measuring devices such accelerometers, displacement sensors, force sensors and data collectors. Acceleration-time, velocity-time and displacement-time graphs of the experimental elements were created by using these recorded values. Finally, the values obtained from all the experimental studies carried out in this thesis were examined. According to the results, some suggestions were made.

Keywords: Impact loading, concrete slab, surface hardener, drop weight test setup

2022, 107 pages

1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve kullanılması gerektiğinde kimyasal katkı maddelerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta kıvamı plastik, şekil verilebilen, süre geçtikçe katılaşp mukavemet kazanan gevrek malzeme olup çekme ve eğilme dayanımları çok düşük, basınç dayanımı yüksek yapı malzemesidir.

Betonun, plastik kıvamda istenilen şekil ve boyutta beton elemanların üretiliyor olabilmesi, sertleşmiş betonun oldukça yüksek basınç dayanımına sahip olabilmesi, sertleşmiş betonun oldukça yüksek basınç dayanımına sahip olabilmesi, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilmeleri ve diğer yapı malzemelerine göre ekonomik olmalarından dolayı birçok yapının yapılmasında kullanılmaktadır.

Beton bina, köprü, yol ve beton ile yapılan diğer yapılar ömürleri boyunca birçok yüklemenin etkisi altında kalmaktadırlar. Bunlar; yapının kalıcı yükleri olan; çatı, döşeme, kiriş, duvar, kolon ağırlığı, hareketli yükler; eşya, insan, kar, yatay yükler; deprem, rüzgâr, toprak etkisi, sıvı yükleri olarak sıralanabilir.

Belirtilen bu yüklerden kalıcı yükler olarak adlandırılan yükler statik yüklerdir. Zamana göre büyüklüğü değişen, bir anda ortaya çıkan yükler ise dinamik yüklerdir. Deprem, rüzgâr yükleri birer dinamik yüküdür.

Beton üretiminde kullanılan çimento, agrega, kum, su gibi ana malzemeler dışında, beton kullanım alanlarının genişlemesine de bağlı olarak kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kimyasal katkı maddeleri betonun işlenebilirliğini, priz sürelerinin değiştirmek, dayanımını arttırmak gibi nedenlerle kullanılmaktadır.

Kimyasal katkı maddelerinden olan yüzey sertleştiriciler, çimento asıllı olup, kuvars agregalı, orta ve ağır yüke maruz kalacak taze beton yüzeyler üzerine toz halde serpilerek uygulanan malzemelerdir. Düzgün ve homojen yüzey elde edebilme imkânı sağlanması, mekanik yüklerin etkisinden dolayı meydana gelen aşınmaları önlemesi ve darbelere karşı direnç sağlamasından dolayı birçok iç ve dış mekânda kullanılmaktadır. Endüstriyel tesis zeminlerinde, hangar, atölye, depolarda, garaj ve

otoparklarda, lastik tekerlekli araç trafiğine maruz alanlar başlıca kullanıldığı yerlerdir.

Çarpma etkisi, etkileşim içinde olan nesnelerin çarpışma anında meydana gelen dinamik etkiler sonucunda, nesnelerin mekanik özelliklerinde değişimlere sebep olması olarak adlandırılır. Çarpma etkisi olaylarına örnek olarak; yapıya etki eden rüzgâr, deprem, terör saldırıları, köprü ayakları ve su yapılarına gemi çarpması vb. olaylardır.

Çarpma etkisi sonucu meydana gelen dinamik etkiler, statik etkilere göre daha fazla gerilme artışlarına sebep olmaktadır. Bu gerilmeler çarpmaya maruz kalan yapı elemanlarında deformasyona sebep olmakla birlikte yapı güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Çarpma etkisinin sonuçlarını görmek için malzeme şekline, cinsine bağlı olarak farklı şekilde deney aletleri üretilmiştir. Bunlar;

- Hareketli Sarkaç – Charpy [1],[2]
- Düşen Top - Düşme makinesinin farklı tipleri ise sabit yükseltideki düşüş veya değişken yükseltideki düşüş [3],[4]
- Kesin bir yükseklikten düşürülen yapısal elemanlar [5]
- Patlayıcı Maddeler [3],[4],[6] dir.

Tez çalışmasında deney aleti olarak serbest ağırlık düşürücü kullanılmış olup, deney elemanı çarpma etkisinde incelenmiştir. Deney aleti farklı çekiç ağırlığına ve düşme yüksekliğine imkân sağlamaktadır. Bu sayede farklı çarpma etkileri altında deney elemanlarının verdikleri tepkiler gözlenebilmektedir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Sanayi alanındaki gelişmeler buna bağlı olarak ta çelik kullanım alanının artması gibi nedenler ile çarpma etkisi üzerindeki araştırmaların öncelikli olarak metaller üzerinde yapıldığını göstermiştir. İlerleyen zamanlarda beton, betonarme yapı elemanlarının önem kazanması ve bu yapı elemanlarının kullanım alanlarının genişlemesi üzerine çarpma etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi önem kazanmıştır. Statik yükler altında betondaki davranışlar incelenmeye başlanmış olup ilerleyen zamanlarda betonarme elemanların farklı yükler altındaki etkileri incelemek amacıyla dinamik yükler altında etkisi de incelenmeye başlanılmıştır. Hazırlanan deney modellerin farklı kısımlarından ölçüm değerleri alınarak bu ölçüm değerlerine göre grafikler çıkarılmakta ve bu araştırılan deney modellerinin çarpma etkisi altındaki davranışı gözlemlenmektedir.

Kishi ve diğerleri (2002) yaptıkları çalışmalarda çarpma etkisini araştırmak amacıyla 27 adet betonarme kiriş üretmişlerdir. Bu betonarme kirişin kesiti 150×250 mm'dir. Uzunlukları sırası ile 1000, 1500, 2000 mm'dir. Kirişlerde donatı oranı farklı tutulmuş olup, birinci grubun kesme kapasitesi 70,8 kN eğilme eğilimleri açıklık farkına bağlı 82,6 ile 165,2 kN arasında, ikinci grubun kesme kapasitesi 53,9 kN, eğilme eğilimleri 39,4 ile 78,8 kN arasında olduğu gözlemlenmiştir. Çarpma hızlarına gelindiğinde birinci ve ikinci grup numunelerde sırası ile 1,3-6 m/s ve 1-6 m/s değerler aralığında ölçülmüştür. Çalışmalarının sonunda, çatlak oluşumunun vurucu kütlelerin çarptığı orta noktadan mesnetlenmenin olduğu yöne doğru ilerleyip göçmeye sebep olduğu gözlemlenmiş; reaksiyon kuvvetlerine ise ilk olarak lineer olarak ulaşabileceği en yüksek değere ulaşmış, ardından azalmaya başladığı gözlemlenmiştir.[7]

Barr ve Baghli (1988) yaptıkları çalışmalarda, çelik lif ile güçlendirdikleri beton plakların kırılması için gereken düşme sayısını hesaplamak için 27 tane 500×100×100 mm ölçülerinde ve 18 tane 250×100×100 ölçülerinde iki farklı beton plakları hazırlamışlardır. Beton plaklar üzerine 20-60 mm derinliğe sahip çentik açılmıştır. Düşey düzeneğin çekiç kütlesi 1, 2, 4 kg; düşme yüksekliği 0,5, 1, 2 m olarak belirlenmiştir. Çalışmalarının sonucunda küçük betonarme plaklarda çarpma

direnci artışının daha düzenli olduğu, büyük betonarme plaklarda ise lif oranının değişiminden etkilenerek büyük artış olduğu teyit edilmiştir.[8]

Barr ve Boumrata (1988) yaptıkları çalışmalarda, 500×100×100 mm ölçülerinde lifli beton plakları 28 gün kür havuzunda bekletmişlerdir. Liflerin oranı beton plakların ağırlıkları oranı %0,25 ile 1'i arasında değerler alınmıştır. Çarpma deneyi çentikli beton plaklar üzerinde uygulanmış, çentik boyutları 3 farklı şekilde sırasıyla 10, 20, 30 mm'dir. Düşey vurucu ağırlığı 1 kg ile 4 kg arasında değişmekte, bu düşey vurucunun bırakıldığı yükseklik 0,5-1,0 m olmak üzere iki farklı yükseklikten bırakılmıştır. Tüm çalışma ACI 544 test yöntemlerine dayanmaktadır. Çalışmalarının sonucunda artan lif oranı ile kırılma enerjisinin de arttığı gözlemlenmiştir.[9]

Erki ve Meier (1999) yaptıkları çalışmalarında, CFRP ile çelik levha malzemesi kullanarak betonarme elemanı iki farklı şekilde güçlendirerek çarpma etkisi altında incelemişlerdir. 2 adet kiriş CFRP ile 2 adet kiriş ise çelik levha ile güçlendirilmiştir. Bu kirişlerin uzunlukları 8 m'dir. Çarpma etkisini kirişlerde, kirişin bir ucundan tutup bulunduğu yüzeyden yüksekte bir konumda bırakılmasıyla ölçülmüştür. İki ayrı malzeme ile güçlendirilen kirişlerden, CFRP ile güçlendirilen beton kirişler yükseklik olarak 0,5 ile 2,0 m değerlerindeki yükseklikten çelik levha ile güçlendirilen kirişler 1,7 ile 2,2 m değerindeki yükseklikten düşmeye bırakılmıştır. Deney sonucunda en iyi dayanımı CFRP malzemesi kullanılan kirişlerde görülmüştür. Ancak CFRP malzemesi, çelik levha malzemesi kullanılan betonarme kirişlerden daha az enerji tutabilmiştir.[10]

Zineddin ve Krauthammer (2007) yaptıkları çalışmalarda, plakların çarpma etkisinde dinamik etkilerini incelemişler bu amaç ile 152×152 ölçülerinde plakları üretmişlerdir. Düzenekte kullanılan düşeyde hareket eden vurucunun ağırlığı 2608 kg'dır. Bu ağırlık 3 farklı yükseklikten plaklar üzerine bırakılmıştır. Bu yükseklikler 152, 305, 610 mm'dir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen yük-zaman grafikleriyle yükseklik artışının plaklardaki sünek kırılmanın gevrek kırılmaya döndüğü görülmüştür. Ayrıca yükseklik artışının kesme etkisi ile zımbalama yüksek değerlere taşımakta olduğu görülmüştür. Hafif yüklemelerde sünek kırılma davranışı

beklenen numunelerin çarpma etkisinde gevrek kırılma davranışı göstererek göçtüğü, döşemenin göçmesini donatı yerleşiminin etkilediği gözlemlenmiştir.[11]

Tachibana ve diğerleri (2006) yaptıkları çalışmalarda, çarpma etkisini incelemek amacıyla kiriş numuneler hazırlamışlardır. Bu kiriş numunelerin fiziksel özelliği 150×250 mm boyutlarındadır. Bu betonarme kiriş içerisinde enine 6 mm, boyuna 13 mm çapında donatı yerleştirilmiştir. Betonarme numuneler 1, 2, 4 m açıklıklara sahiptir. Düşey vurucunun kirişe çarptığı noktaya iki farklı malzeme konulmuş bunlar kalınlığı 50 mm olan kauçuk konulmuş ve kalınlığı 12 ile 24 cm olan kum yüzeyler oluşturulmuştur. Çalışmalarının sonunda temas yüzeyindeki farklılıklar ile kum tabakalı numunede çatlak oluşumunun azaldığı ve en yüksek çarpma etki kuvvetinin kullanılan kum tabaka ve kauçuk malzemesine göre azaldığı görülmüştür.[12]

Nili ve Afrouhsabet (2010) yaptıkları çalışmada, çelik lifler ile silis dumanının betonda çarpma etkisinde etkilerini gözlemlemiştir. 10×10×10 mm ölçülerinde küp formundaki beton numunelerde beton basınç dayanımı, 80×100×400 mm ölçülerindeki beton numunelerde eğilme dayanım testi, 100×200 mm ölçülere sahip silindir formundaki elemanlar üzerinde ise yarma çekme testleri yapılmıştır. Deneylerinde iki farklı beton hazırlamışlar bu betonların su-çimento oranları sırası ile 0,36 ve 0,46'dır. Çelik lifler %0,5 - %1,0 değerinde, silis dumanı sabit %8 olarak kullanılmıştır. Çelik lif boyutları 60 mm uzunluk, 0,75 mm çap değerine sahiptir. Deneye düzeneğinde vurucu kütlesi 4,45 kg; 45,7 cm olan yükseklikten, 6,35 cm çapındaki çelik levha üzerine konulan numuneler üzerine düşürülmüştür. Çalışmalarının sonunda, beton dayanımını, çelik lif ve silis dumanının bir arada kullanılması arttırdığı ayrıca yalnız başına silis dumanı ve çelik lif kullanılan betonlara göre çarpma etkisindeki dirençlerinin daha güçlü olduğu görülmüştür.[13]

Arslan (1995) yaptığı çalışmasında, çelik ve polipropilen lifti betonların çarpmaya etkisini incelemek istemiş, üzerinde 85 mm ölçüsünde derinlik olan 150×150×150 mm ölçülerine sahip küp numuneler hazırlamıştır. Numune içindeki çelik lifler toplam ağırlığın %0,1, %0,2 ve %0,3 olarak belirlenmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan çekiç ağırlıkları 5, 10, 20, 30, 40 N değerinde, çekicinin bırakıldığı yükseklik sabit 2500 mm'dir. Çalışmasının sonucunda, dayanımı

arttırılmış betonun (güçlendirilen) çarpma durumunda daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. İki çatlak ortaya çıkmış bunlardan birisi kesmeye, ikinci çatlağın çekme kuvvetine bağlı olduğu, kırılma enerjisinin artışı güçlendirilmiş betonda daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.[14]

Breen ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmalarında, çarpma hızının önemini vurgulamak için, 24 mm kalınlığında olan karbon lif malzemesi ile güçlendirilip çarpma etkisi altında davranışını araştırmışlardır. Bu çalışma teorik ve deneysel olarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar analizler tamamlanmış ve hız değişimiyle birlikte modellenen materyallerin gerilmelerine bakılmıştır. Yapılan çalışmalarda malzeme olarak; kalınlığı 8 mm, yarıçapları 200 mm ve 500 mm değerlerinde olan ve 25 mm çapa sahip olan rijit küresel kütle çekiç tipi belirlenmiştir. Bu modellere; 2 ve 14 m/s arasında darbe hızı etki etmiştir. Bu çalışmanın sonucunda; çarpma hızının etkisiyle maksimum gerilmelerin ve deformasyonun değiştiği saptanmıştır ve bu etki ile ortaya çıkan çekme dayanımdaki azalma, gerilme yığılma etkisine ve içsel rijitliğe bağlı olduğu tespit edilmiştir.[15]

Korotkov ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmalarda, nükleer tesislerin tabanına aniden düşen maddelerin dinamik olarak etkilerini görmektir. C30 beton dayanım sınıfında olan beton seçilmiş olan betonarme tabanın boyutu 4,74×3,05×1,5 m ölçülerindedir. 1245 kg kütledeki düşey vurucu ile betonarme tabandaki hasar incelenmiştir. Bu düşey vurucunun çapı 0,35 m, uzunluğu 4,94 m ölçülerindedir. Betonarme yapı elemanının 4 kenarında ankastre mesnettir. $V=(2gh)^{1/2}$ formülüyle düşme hızı belirlenmiş, belirlenen düşme hızı 11,1 m/s'dir. Çalışma sonucunda, zamanla değişen yüzey etkileşim kuvveti ve aktarılan tepki tespit edilmiştir.[16]

Erdem (2013) yaptığı çalışmada, 100×100×710 mm boyutunda 6 tane beton, 200×200×710 mm olan 6 tane betonarme eleman yapılmıştır. Düşey vurucunun kütlesi 8 kg, düşme yüksekliği sabit 1000 mm'dir. Gereken verileri elde edebilmek için ivmeölçer, kuvvet algılayıcısı, veri toplayıcı, bilgisayar ile ölçüm bağlantı kabloları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda ilk düşme anından göçme anına doğru elde edilen ivme değerinin azaldığı, kesit ölçüsünün artışının ölçülen ivme değerinin de artışına etki ettiği görülmüştür. Tüm çalışma ABAQUS sonlu eleman programında modellenip analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır.[17]

Wang ve diğeri (2011) yaptıkları çalışmada, hazırladıkları numuneleri yatay çarpmalara maruz bırakmışlar bu etkide numunelerin davranışlarını gözlemlemişlerdir. Bu deney için 8 adet 250×300 mm boyutlarında beton dayanımı C25 olan kirişler hazırlamıştır. Kiriş içerisine boyuna ve enine donatılar kullanılmış, bunlar Çin Standartı göz önüne alınarak sırası ile 2. derece ve 1. dereceye sahiptir. Çalışma süresince 3 tip göçme meydana gelmiştir. Açıklık ortası yanal yüzeyde ilk çatlak kesme bölgesinde kesme göçmesi, açıklık ortası çekme bölgesinde ilk çatlak ise eğilme göçmesine neden olmuştur. Çalışmalarının sonunda göçmenin durumunu enine donatının boyuna donatıdan daha etkili olduğu belirlenmiştir. Yanal deplasman, nihai yük, uç moment değerinin boyuna donatı etkisinde olduğu gözlemlenmiştir.[18]

Selvi (2008) yaptığı çalışmada, çarpma etkisini farklı beton dayanımındaki numuneler üzerinde gözlemlemiştir. 10 adet kiriş üretmiş bunlardan 5 tanesi normal ve 5 tanesi de yüksek dayanımlı beton olacak şekilde hazırlamıştır. Deney düzeneğinde düşey vurucu kütlesi 5,25 kg ve bu kütle 5 farklı düşme yüksekliğinden bırakılmış olup bırakılma yükseklikleri sırası ile 300, 350, 400, 450, 500 mm'dir. Tasarım ABAQUS programında modellenip analiz sonuçları incelenmiştir. Çalışmalarının sonunda, yükseklik artışının vurucu kütlenin düşme sayısında ve kirişlerin enerji tutma kapasitesinde de azalmaya neden olmuştur. Çatlak oluşumlarına bakıldığında yüksek dayanımlı betonlarda çatlak açıkları dik açıya eğimli olduğu gözlemlenmiştir. Ölçülen ivme değerlerinin vurucu kütlenin bırakıldığı yüksekliğin artması ile arttığı belirlenmiştir.[19]

Marar ve diğeri (2001) yaptıkları çalışmada, silindir numuneler hazırlamış, bu numuneleri çelik lif ile güçlendirerek betonda basınç tokluğunu ve darbe arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Silindirik numunenin çapı 150 mm, uzunluğu 60 mm alınmıştır. Beton numunelerde sabit su/çimento oranı 0,31 olacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler üzerine 0,3 m yükseklikten 13,5 kg ağırlığa sahip düşey vurucu bırakılmıştır. Çalışmalarının sonunda düşey vurucu kütledeki artışın düşme sayısında azalmaya neden olduğu, beton içerisindeki çelik liflerin enerji tutma ve betonun çarpmaya karşı dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.[20]

Soroushian ve Elzafraney (2004) yaptıkları çalışmalarda, silindirik ve prizma şeklinde numuneleri normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere hazırlamışlardır. Bu şekillerin boyutları sırası ile 102×511 mm, 76×76×305 mm'dir. Üretilen numuneler üzerinde donma çözülme, darbe, basınç, yorulma gibi deneyler yapılarak sonuçlar gözlemlenmiştir. Betonda meydana gelen çatlaklar ve ısıtma-soğutma deneyinin beton dayanımında azalmaya neden olduğu görülmüş; çatlak oluşumlarından gözlem sonuçlarıyla beton dayanımı hakkında etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir.[21]

Chakradhara ve diğerleri (2011) yaptıkları çalışmalarda, geri dönüştürülen agregaları kullanarak beton kirişleri hazırlamış, bunları çarpma etkisinde incelemiştir. 1,15×0,10×0,15 m ölçülerinde olan beton kirişlerde çatlak oluşumları belirlenmeye çalışılmıştır. Düşey vurucunun özellikleri, ağırlığı 5 kg olup 50 mm çapa sahip bir silindiridir. Beton numuneler içerisinde %0, %25, %50, %100 olmak üzere 4 farklı oranda agrega oranları kullanılmıştır. Deney düzeneğinde 15 ile 17 düşmelerde hemen hemen tüm numunelerde göçme ortaya çıkmıştır. Çalışma sonucunda, geri dönüştürülen agregaların beton işlenebilirliğini düşürdüğünü, artan agrega oranının basınç ve çekme dayanımıyla elastisite modülünün azalmasına neden olduğu belirtilmiştir.[22]

Go'mez-del Rio ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmalarda, düşük sıcaklıkta ve düşük hız altında çarpma etkisini belirlemek için kalınlığı 24 mm olan lif ile güçlendirilen panelleri incelemiştir. Çalışmalarının yapıldığı sıcaklık değerleri -150 ile 20°C arasında değişim göstermektedir. Çalışma anında oluşan çatlaklar mikroskop ile izlenmiştir. Serbest düşey hareketi yapan malzemenin ağırlığı 3,15 kg, çapı 20 mm'dir. Çalışmalarının sonucunda, çarpma enerjisinin artmasıyla, hızı düşük olan çarpma etkilerinin panellerde hasar miktarının yükseldiği, yarı izotop panellerin sıcaklığı 20°C'den 150°C'ye dönüştürüldüğü an eşit enerji miktarının hemen hemen yarı yarıya eksildiği, liflerin şekli ve yığınsal özelliklerinin sıcaklığın yüksek olduğu hallerde, güçlendirilen panellerde büyük etkiye sahip olduğu teyit edilmiştir. Çalışma öncesi elemanların soğutulmasıyla, derin çentik ve daha geniş çatlak meydana geldiği belirlenmiştir.[23]

Elavenil ve Samuel Knight (2012) yaptıkları çalışmalarda, çarpma etkisinde ortaya çıkan tepkimeleri lifler ile güçlendirilen ve değişik kalınlıklarda olan

döşemeler üzerinde yaptıkları deney düzenekleriyle incelemişlerdir. Bu deneyde sadece döşeme kalınlıkları değiştirilmiş olup, döşeme boyutu sabit tutulmuştur. Döşemelerin boyutu ve kalınlıkları sırası ile 600×600 mm boyutunda 20, 25, 30 mm kalınlığındadır. Döşemeler üzerine kütlesi 4,5 kg olan silindirik malzeme sabit 750 mm yükseklikten bırakılmıştır. Çelik lifler 0,7 mm kalınlığında seçilmiş olup oranları döşemelerde %50, %75 ve %100 olacak şekilde kullanılmıştır. Lif boyları sırası ile 35, 52,5 ve 70 mm olarak hazırlanana döşemelerde kullanılmıştır. Maksimum deplasmanlar 20 mm kalınlığındadır. Döşemede takribi olarak 50 mm, 25 mm kalınlığındaki döşemede 40 mm, 30 mm kalınlığındadır. Döşemede 35 mm olduğu görülmüştür. Çakışma sonucunda liflerin uzunluğu ve oranları arttıkça, döşemelerin çarpma direncinin de arttığı görülmüştür.[24]

Rambaud ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmalarda, ABAQUS- Explrüt modülünü kullanarak oluşturdukları 12×4,4×0,28 m ölçülerindeki betonarme döşemelerin çarpma altında etkilerini, farklı yükseklikten bırakılan 450 kg ağırlığındaki beton kütlenin etkisinde incelemişlerdir. Kullanılan betonun dayanımı 300 MPa ve donatı çeliği 500 MPa seçilmiştir. Çalışmalarının sonunda, deneysel çalışmalarının ve analizlerinin birbirleri ile iyi uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır. Numunelerin alt bölgesinde oluşan hasar oluşumlarının birbirleriyle hemen hemen aynı olduğu belirtilmiştir.[25]

Delhomme ve diğerleri (2005) yaptıkları çalışmalarda, betonarme döşemelerin üzerine aniden düşen kaya ve kayaç parçalarının zemin üzerinde vereceği hasarı gözlemleyebilmek adına çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda malzeme olarak, C30 olan beton sınıfı, genişliği 4.8 m, uzunluğu 12 m ve kalınlığı 28 cm olan bir döşemeyi üretmişlerdir. Yüksekliği 100 mm, kalınlığı 2,9 ve çapı 70 mm olan 22 metal ayak ile üretilen döşemeler desteklenmiştir. Serbest kütle düşme aletinde kaya düşmelerine paralellik göstermesi amacı ile 450 kg seçilen çekiç kütlesi 15 m ile 30 m yüksekliğinden bırakılmıştır. Çalışmaların sonucunda, düşük enerjili çarpma etkisinde çarpma etkisinin sönmülenebildiğinin, yüksek enerjili çarpma etkilerinde ise kalıcı basit hasarların meydana geldiği görülmüştür. Döşemelerin zımbalama ve eğilme modlarında hasar meydana getirdiği tespit edilmiştir.[26]

Saatci ve Vecchio (2009) yaptıkları çalışmalarda, betonarme kirişler üzerinde darbe etkisinde kesme etkisini gözlemlemişlerdir. 250×410×4880 mm boyutuna sahip betonarme kirişlerden 4 grup ve her grupta 8 adet betonarme kiriş olacak şekilde hazırlamışlardır. Statik davranışı görmek amacıyla 4 tane betonarme kiriş daha üretilmiştir. Çapı 29,9 mm kesit alanı 700 mm² olan boyuna donatılar, eş boyuna donatı farklı değerlere sahip kesme donatısı olacak şekilde düzenlenmiştir. Enine donatıların özellikleri ise çapı 7,01 mm, kesit alanı 38,71 mm² ve bu donatının kullanılma oranları %0,0-0,4 değer arasındadır. Kullanılan düşey vurucu deney aletinin özellikleri ise düşey vurucu çekiç kütlesi 211 ve 600 kg olmak üzere iki farklı ağırlık seçilmiştir. Bu ağırlıklar sabit 3,26 mm yükseklikten bırakılmıştır. Çalışmalarının sonunda, betonarme kiriş olarak ürettiği numunelerde kesme etkisinin davranıştaki etkisinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.[27]

Kantar ve diğerleri (2011) yaptıkları çalışmalarda, 150×150×710 mm boyutlarında 5 adet normal dayanımlı ve 5 adet yüksek dayanımlı beton kiriş üretmişlerdir. Deney yapımındaki amaç farklı dayanımda olan beton elemanın dinamik etkilerini incelemektir. Numunelere ivmeölçer de yerleştirilerek çarpma etkisi altında ivme değerlerinin görülmesi sağlanmıştır. Deney düzeneğinde düşey vurucunun ağırlığı 5,25 kg ve bu düşey vurucu 300 ile 500 mm arasında değişen yükseklikten bırakılmıştır. Çalışmalarına betonarme kirişlerde göçme görülünceye kadar devam etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda aşağı yönlü deplasman değerleri karşılaştırıldığında yüksek dayanımlı beton kirişlerden %19 daha yüksek olduğu, ivme değerleri karşılaştırıldığında da yüksek dayanımlı beton kirişlerden %17 daha yüksek olduğu görülmüştür.[28]

Suaris ve Shah (1983) yaptıkları çalışmalarda, kiriş numuneler hazırlamışlar bunları 38,1×76,2×457,2 mm ölçülerinde boyutlandırmışlardır. Araştırmacılar kirişte meydana gelen deformasyonları ve enerji tutma kapasitelerini gözlemlemek istemişlerdir. İki malzemeden oluşan numuneler güçlendirilmiş olup güçlendirme malzemesi olarak %0,1 oranında lif kullanılmıştır. Çalışmalarının sonunda, harç numuneler üzerinde meydana gelen çatlakların deformasyon oluşmasında etkili, bu çatlak ve deformasyonların kullanılan iki malzemenin farklı olmasından dolayı meydana geldiği görülmüştür.[29]

Yankelevsky (1997) yaptığı çalışmasında, mermi çarpması sonucunda meydana gelen dinamik tepkimeleri beton döşemelerde incelemek amacıyla bir model tasarlamıştır. Merminin modelle ilk çarpışmasının, modelle birleşmesini son olarak da modeli delip geçmesini tek tek modellemiştir. Çalışmasının sonunda ampirik formüllerin birbirleriyle bağdaşmadığını, mekanik ve fiziksel parametreler ile alakalı olmadıklarını teyit etmiştir. Yaptığı model, test sonuçları ile ampirik formüller ile mukayese edilmiş ve modelin delik açma kalınlığını; meydana gelen oyuk şeklini, çarpmadan sonra kalan mermi enerjisini büyük oranda öngörülebildiği belirlenmiştir.[30]

Kaçaran (2018) yaptığı çalışmasında, ürettiği betonarme döşemelerde kırılmaların nasıl bir şekilde meydana geldiğini, donatı mesafelerinin döşemedeki dinamik etkilerini gözlemlemiştir. 3 grup halinde olmak üzere 9 adet betonarme eleman üretilmiş, bu 3 adet betonarme elemanda aynı donatı mesafesi uygulanmıştır. Deneysel aletine betonarme elemanların tepkilerini ölçmek amacıyla kuvvet algılayıcı, ivmeölçer ve deplasman ölçer kullanılmıştır. Donatı aralığının farkından alınan sonuç, azalması durumunda ivme değerinin artışına, deplasman değerinin azalmasına yol açtığı gözlemlenmiştir. İvme ve deplasman değerinin artışına çarpma enerjisinin artırılmasıyla da yükseldiği görülmüştür. Donatı aralığının ve çarpma enerjisinin artırıldığı deney düzeninde numunelerde daha büyük hasara neden olduğu görülmüştür.[31]

Murtiadi (1999) yaptığı çalışmasında, beton dayanımdaki farkın beton davranışına olan etkisini araştırmak için normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı beton plak numuneler yapılmıştır. Plak numunelerin boyutları 950x950x100 mm ölçülerindedir. Bu numunelerin dayanımları 35-80 MPa arasında değişmektedir. Düşey vurucu 220 kg sahip kütle ve 304,5 mm çapında çelik silindirden oluşmaktadır. Çelik silindire ayrıca 1 adet ivmeölçer takılmıştır. Beton plaklarda çarpmanın etkisiyle kesme çatlakları oluşmuştur. Normal dayanımlı betonda çatlak açısı 60°, yüksek dayanımlı betonda 65° olduğu ölçülmüştür. Yüksek dayanıma sahip numunelerin tuttuğu enerji miktarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Numuneler arasındaki hız farkı da %20-30 değerleri arasında değişmektedir.[32]

Nataraja ve diğeri (1999) yaptıkları çalışmalarda, ağırlık düşürücü test aletleriyle çalışmalarını yapmış, bu çalışmalarının sonuçlarını istatistiksel halde incelenmiştir. Çalışmalarında normal beton ve güçlendirilmiş beton numuneler hazırlanmıştır. Beton yapımı için portland çimentosu kullanılmıştır. 1 m³ betonun içinde çimento 397 kg, ince kum 562 kg, 1152 kg agrega bulunmakta ve su/çimento oranı 0,49 olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmalarda güçlendirme malzemesi olarak 0,5 mm çap ve 550 MPa kırılma dayanımında olan çelik lifler kullanılmıştır. Normal dayanımlı beton için ortalama basınç dayanımı 294 MPa olduğu bulunmuştur. Çalışmaların sonucunda normal dayanımlı betonların çelik lifler ile güçlendirilmesi, bu betonlarda enerji yutma kapasitesini ve çatlak direncinin yükseldiği belirlenmiştir.[33]

Arros ve Doumbalki (2007) yaptıkları çalışmalarında, 11.09.2001 tarihinde Dünya Ticaret Merkezine yapılan terör saldırısı sonucunda yapıya aniden gelen yüklerin yapıda nasıl tepkiler verebileceğini araştırmak için 48,15×35,96 m boyutu olan ve 29,87 m yüksekliğinde nükleer tesis modellediler. Çalışmalarında Boeing marka 747-400 model adında bir uçağı göz önünde bulundurarak tasarımlarını tamamladılar. Bu model analizinde LS-DYNA adında sonlu eleman programından faydalanılmıştır. Yük analizlerini yapmak için Riera Force Time History yöntemi kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda yüksek donanımlı bilgisayar sistemleri ve bu analizlere uygun sonlu elemanlar programlarıyla ani çarpma etkisinde dinamik problemlerin modellenmesi ve bu modellerin analizleri günümüzde elverişli zamanda yapılabileceği sonucuna varılmıştır. Kullanılan Riera Force Time History yöntemi ile modelin yüksek frekanslar ile eş sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Yüksek frekanslara ulaşılmasına sebep olarak da rijitlik artmasına bağlı betonda oluşan çatlaklara ve oluşan süreksizliklere bağlı olduğu belirlenmiştir.[34]

Berberoğlu (2019) yaptığı çalışmasında, çimento esaslı döküm harçlarıyla hazırlanan beton plakları çarpma etkisindeki dinamik davranışını araştırmıştır. Bu deney için 500×500×500 mm boyutlarında 9 tane beton plak numuneler farklı dayanıma sahip olacak şekilde üretilmiştir. Düşey vurucu kütlesi 4,125 kg ve bu düşey vurucu sabit 600 mm yükseklikten numuneler üzerine bırakılmıştır. Çarpma etkisini plaklar üzerine eşit yaymak amacı ile çelik plak ve kauçuktan oluşan malzeme kullanılmıştır. Deney düzeneğinde ve numunelerde kuvvet algılayıcı, ivme

ölçer, yer değişimi algılayıcı, veri toplayıcı, bilgisayar bu deneyde kullanılarak deplasman/zaman, ivme/zaman, çarpma kuvveti/zaman, çarpma kuvveti/deplasman grafikleri incelenmiştir. Çalışmalarının sonunda, dayanım artışının deplasman değerlerinde azalmaya neden olduğu, en yüksek çarpma kuvveti hasar oluşmamış plaklarda birinci düşme hareketinde olduğu, dayanım değerinin arttıkça çarpma kuvvet etkisinin arttığı görülmüştür.[35]



3. TEZİN AMACI

Yapılan deneysel çalışmada 450×450×60 mm olan toplam 9 adet deney elemanı ve üretilen deney elemanları farklı oranlarda olan yüzey sertleştirici ile üretilmiştir. Üretilen deney elemanları dinamik, çarpma testi deneyinde kullanılmıştır.

Dinamik deneyde, deney elemanlarına 500, 400, 300 mm olan 3 farklı yükseklikten 14 kg olan çekiç kütlesi serbest bırakılmıştır. Farklı ağırlıklarda numunelere konulan yüzey sertleştiricilerin çarpma testi uygulanarak beton dayanıma etkisi gözlenmek istenmiştir. Bu amaç ile serbest düşme deney aletinde çarpma testine maruz bırakılarak numuneler üzerindeki çatlak oluşumları izlenmiş, deney düzeneği üzerindeki sensörler yardımıyla hız-zaman, deplasman-zaman, ivme-zaman elde edilmiştir. Deney çalışmalarına göçme hasar oluşumu meydana gelene kadar devam edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN DONANIMLAR

Hazırlık aşamasında 20 kg yüzey sertleştirici, plywood kalıp malzemesi ve yağı, ivmeölçerlerin takılması için 6 mm çapında vida kullanılmıştır.

Çarpma testi deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar; ağırlık düşürücü deney düzeneği, kuvvet algılayıcı optik fotoseller, ivmeölçerler, yer değişimi algılayıcı (lvdt), veri toplayıcı, bağlantı kabloları ve bilgisayardan meydana gelmektedir.

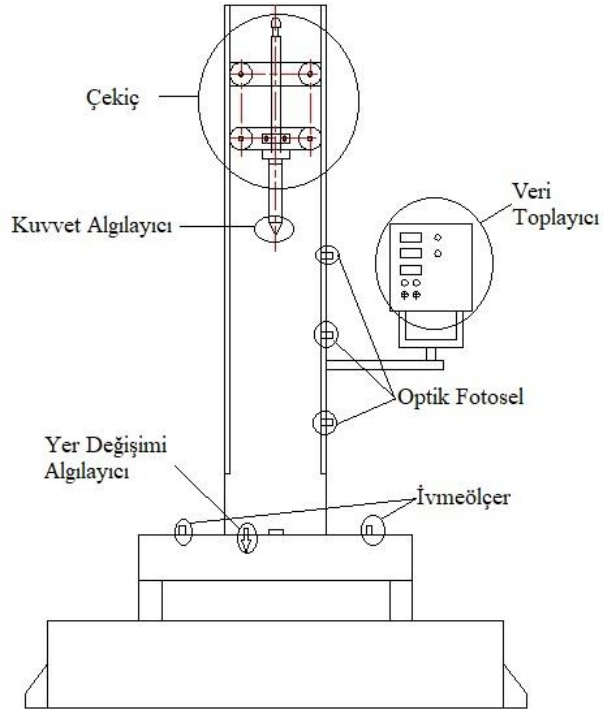
4.1 Düşey Ağırlık Düşürücü Deney Aleti

Geçmişte de yapılan araştırmalarda çarpma etkisinde beton veya betonarme yapı elemanlarının davranışlarının gözlemlendiği deney aletleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda düşey vurucu kütlelerinin istenilen değer ile değiştirilebilmesi, bu düşey vurucu kütlelerinin farklı yüksekliklerden bırakılması ve incelenerek elemanın farklı boyutlarda olmasına da olanak sağladığından düşey ağırlık düşürücü deney aleti kullanılabilir. Düşey düşürücü deney aleti Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Düşey düşürücü deney aleti

Düşey ağırlık düşürücü deney aletinde vurucu kütlenin (çekiç) ağırlığı ve yüksekliği değiştirilebilmektedir. Deney aletinin vurucu kütlelerinin yükseklik ayarlaması yapılabilmekte olup bu yükseklik farkları ile elamanlar üzerinde çarpma etkilerinin farklılıklarını deformasyon etkilerini görebilmemizi sağlamaktadır. Deney aleti ve üzerinde yer alan ölçüm cihazları şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Deney aleti ve üzerinde yer alan ölçüm cihazlarının gösterimi

Deney aletinde elemanlar Şekil 4.3'te görüldüğü gibi çelik malzemeden üretilmiş bağlantı aparatlarıyla, çarpma etkisindeyken dönme yapmasını ve yan al ötelemeleri engellemek amacıyla bu aparatlar yardımıyla numuneler sabitlenmiştir.

Numune üzerine vurucu kütle nin vurduğu noktaya gelen kuvvetin üniform yayılabilmesi için 50×50×10 mm boyutlarında çelik plaka yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Mesnet bağlantı aparatları

Farklı yüksekliklerden serbest düşmeye bırakılabilen düşey vurucu Şekil 4.4'te gösterilmiş olup deney öncesinde tekerleklerin geçtiği yüzeyler temizlenip yağlanmış, serbest düşme anında sürtünmeye giden enerji minimum seviyede tutulmaya çalışılmıştır. Bu nedenle kestamin malzemeden üretilmiş elemanlar kullanılmıştır. Kestamin avantajı ise dayanımının çok yüksek olması ve sürtünmeyi minimum seviyeye getirmesidir.



Şekil 4.4. Düşey vurucu çekiç

4.2 İvmeölçer

İvme, hızın zamana göre değişimi bir başka deyişle hızın türevidir. Buradaki hız kavramı ise yer değiştirmenin zamana göre değişimi ifade etmektedir. İvme vektörel bir büyüklük olup büyüklüğü ve doğrultusu bellidir.

Newton'un ikinci yasası olan sabit cismin ivmesi, cisme etkiyen net kuvvetle doğru orantılıdır. Formülü ise $F=M.a$ buradan da $a=F/M$ olarak ifade edilmiş olup F :cisme etkiyen net kuvvet; M :cismin ağırlığı; a :cismin ivmesi ifade eder. Burada bir kütleyle uygulanan ivmeyi ivmeölçer diğer adıyla akselerometre ile ölçülür.

İvmeölçerler kullanım alanı çok geniştir. Füze, uçaklar, gemilerin ve denizaltıların navigasyon sistemlerinde hassasiyeti yüksek ivmeölçerler bu araçların en önemli parçasını oluşturmaktadır. Kullanıldıkları cihazlarda titreşim kontrolü yapıp olması gereken değer aralığında kalmasını sağlar. Günümüzde kullandığımız pek çok tablet bilgisayar ve titreşimi engelleyici sistemlerde aktif olarak kullanılmakta olup gelişen teknoloji ile kullanım alanları artmaktadır.

İvme ölçüm yöntemlerinde pek çok farklı yöntem kullanılmakta olup en yaygın olarak piezoelektrik ve kapasitif ivmeölçerler kullanılır.

Piezoelektrik ivmeölçer, ivmenin kuvvet ile doğru orantılı olduğu algılama yöntemi çok geniş dinamik aralığına sahiptirler. Bu dinamik aralıkta en iyi doğrusallık özelliğinin bulunması mutlak titreşimleri kullanılmalarında en önemli etkidir. Ayrıca bu ivmeölçerlerin gürültü etkilenmemeleri, sarsıntı ölçümlerine uygun olmaları, yüksek frekans değerlerinin ölçülebilmesi diğer ivmeölçerlere göre artıları olarak sıralanabilir.

Kapasitif ivmeölçerler, düşük seviye ve frekanstaki titreşimleri, statik ivmelerin ölçülmesinde kullanılırlar. Karşılıklı durmuş paralel plakalı kondansatörlerin kapasitesi değişim kuralıyla ölçüm yaparlar. 12 VDC güç değerlerin de çalışan kapasitif ivmeölçerler bina dinamiği, robotik tasarımlarda, otomotiv sürüş kalitesini arttıracak durumların bulunmasında kullanılırlar. Bu ivmeölçerlerin maliyetlerinin düşük, performanslarının yüksek olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Deney anında Şekil 4.5'te görülen PCB Group firmasının ürettiği ICP olan 350B04 modeli kullanılmıştır.



Şekil 4.5. ICP 350B04 ivmeölçer

Bu ivmeölçer bir piezoelektrik ivmeölçer olup, üretilen döşemeler üzerinde titreşimleri ve enerji kayıplarını ölçebilmemizi sağlamıştır. Bu ICP tip ivmeölçerlerin sabit voltaj hassasiyeti, çevresel etkenlere maruz kalırsa bile sinyal kalitesinde kayba uğramaması diğer tip ivmeölçerlere göre üstünlüğü olarak sıralanabilir. Çalışmamızda kullanılan ICP 350B04 ivmeölçerlerin özellikleri Tablo 4.1' de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. ICP 350B04 ivmeölçer özellikleri

Özellik	Değer
İvmeölçer Modeli	350B04
Hassasiyet ($\pm 30\%$)	0,05 mV/(m/s ²)
Ölçüm Aralığı	± 49000 m/s ² pk
Frekans Aralığı (± 1 dB)	0,4 - 10000 Hz
Frekans Aralığı (-3 dB)	0,2 - 25000 Hz
Rezonans Frekansı	≥ 100 kHz
Geniş Bant Hassasiyeti	0,20 m/s ² rms
Çaprazlama Hassasiyeti	$\leq 7\%$
Düzensizlik	$< 2.0\%$
Aşırı Yük Sınırı	± 490000 m/s ² pk
Ölçüm Yapma Sıcaklığı	-18...+66 °C
Depolama Sıcaklığı	-40...+93 °C
Sabit Akım Uyarma	2 - 20 mA
Uyarma Voltajı	20 - 30 VDC
Çıkış Ön Gerilim Voltajı	8 - 14 VDC
Çıkış Empedansı	≤ 200 Ohm
Boşaltım Zamanı	1,0 - 2,0 saniye
Hazır Olma Zamanı	< 10 saniye
Algılama Elemanı	Seramik
Elektrik Bağlantısı	10 - 32 Koaksiyal soket
Elektrik Bağlantı Yeri	Üst
Ağırlık	4,5 gr

4.3 Kuvvet Algılayıcılar

Kuvars, piezoelektrik kuvvet sensörleri, dayanıklı malzemelerden yapılmış dinamik kuvvet ölçümünü en iyi şekilde yapabilen cihazlardır. Darbe, sıkıştırma, itici güç, tepki ve gerilme süresince meydana gelen dinamik ve yarı statik kuvvetleri genel ölçümler olmaktadır. Bu sensörlerin uygulama alanları olarak denge, çarpışma, burulma, kesme, ezilme, dayanım, kırılma, düşme, malzeme, gerilme, titreşim, makine testleri gibi birçok alanda kullanılabilirler.

Genel amaçlı kuvars kuvvet algılayıcıları dinamik basınçta ki değişimlerin ölçümünü yapar. ICP ve charge olan modellerde 42 – 22 kN basınç kuvveti, 45- 2200 N gerilme kuvveti ölçümleri yapılabilir. Dinamik, basınç, gerilme, darbe, düşme, malzeme, makine testleri bu algılayıcı ile yapılabilir.

Halka kuvars kuvvet algılayıcılar şeklinden dolayı bu isimle adlandırılmış olup halka şeklindedirler. Platform, duvar, makine araçlarında sıkıştırılıp bağlantı içine entegre olabilirler. Malzeme ve dayanım alanında yapılan birçok testte kullanılabilirler.

Deney aşamasında numuneler üzerinde kullanım kolaylığı sağladığı için halka tipi kuvvet sensörleri kullanılmıştır. Bu sensör şekil 4.6’da gösterildiği gibi ICP 202B model kuvvet sensörüdür.



Şekil 4.6. ICP 202 kuvvet algılayıcı

ICP 202B model kuvvet sensörünün özellikleri Tablo 4.2 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. ICP 202B kuvvet algılayıcı özellikleri

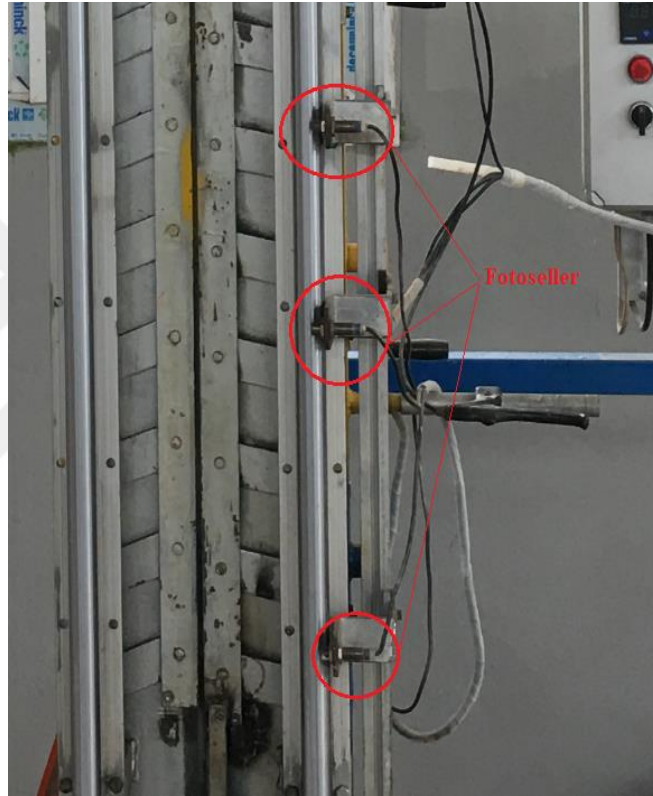
Özellik	Değer
Hassasiyet ($\pm 15\%$)	
Ölçüm Aralığı	44.48 kN
Maksimum Statik Kuvvet	66.72 kN
Genişbant Çözünürlüğü (1-10000 Hz)	0.890 N-rms
Yüksek Frekans Sınırı	60 kHz
Sıcaklık Aralığı	-54 ile +121 °C
Doğrusal Olmama	≤ 1 % FS
Hassas Sıcaklık Katsayısı	≤ 0.054 % /°C
Deşarj Süresi Sabiti	≥ 2000 sn
Eksizyon Voltajı	20 ile 30 VDC
Sabit Akım Eksizyonu	2 ile 20 mA
Çıkış Empedansı	≤ 100 ohms
Dış Kaynaklı Gerilim	8 ile 14 VDC
Önyükleme	8.896 kN
Çıkış Polaritesi	Pozitif
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

4.4 Optik Fotoseller

Optik fotoseller, temas halinde olmadan cismi, ışık yardımıyla algılayıp sinyale dönüştüren sensörlerdir. Bu sensörlerden ışık 1mm ile 10nm arasında değişen elektromanyetik ışımadaki dalgalardan meydana gelir. Işık kaynağı olarak dış kaynaktan etkilenmemek amacıyla dalga boyu 880 nm olan kızılötesi – infrared ışık kullanılır. Kullanım alanlarına göre üç tip fotosel bulunmakta olup bunlar cisimden yansımali, karşılıklı ve yansıtıcı fotosellerdir.

Deney aşamasında kullanılan fotosel tipi olarak yansımali fotosellerdir. 2 m'ye kadar algılama mesafesi olan bu fotosellerin kurulumunda bir tane fotoselden yararlanılması bu fotoselleri yanlış ayarlama imkânının ve yansıtıcı bozulmalarının minimum düzeyde olması diğer karşılıklı ve yansıtıcı fotosellere göre avantajlıdır. Deneyde kullanılan fotoseller Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Deney düzeneğinde ki fotoseller sabit olmayıp istenilen yüksekliklere ayarlanabilmektedir. Bir tanesi

hareketli çekici üzerinde ve yükseklikleri belirlenmiş 3 tane fotosel olmak üzere toplam 4 tane fotosel bulunmaktadır. Hareketli çekici kitlesi üzerinde ki optik fotosel, çekicinin harekete başladığı zamanı belirlememize, kızak üzerinde ki fotosellerden en üstte bulunan fotosel yardımı ile düşey vurucunun geçtiği an zaman değerini ölçmemize, ortada bulunan fotosel ile vurucu kütlenin numune üzerinden geri tepmeleri engellenebilmiştir. Son olarak en altta bulunan fotosel ile çekici hareket andan çekicinin numune üzerine çarpma anına kadar olan süreyi belirlememizi sağlamaktadır.



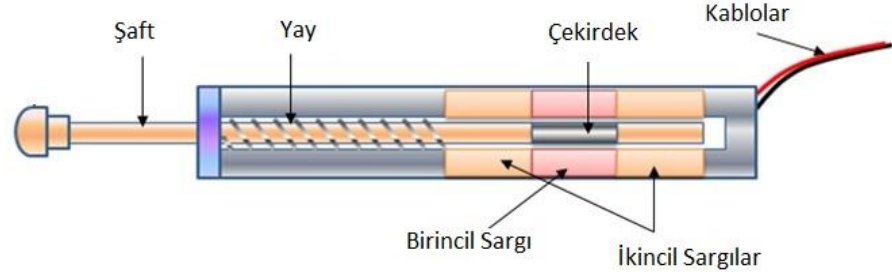
Şekil 4.7. Optik fotoseller

4.5 Yer Değişimi Algılayıcısı (lvdt)

Doğrusal değişken fark transformatörü daha çok lvdt olan kısaltması ile isimlendirilir. Lvdt nesnenin doğrusal hareketini ona karşılık gelen 1 elektrik sinyaline dönüştüren elektromanyetik dönüştürücü olup yer değiştirmeyi (konum) ölçmek için kullanılır.

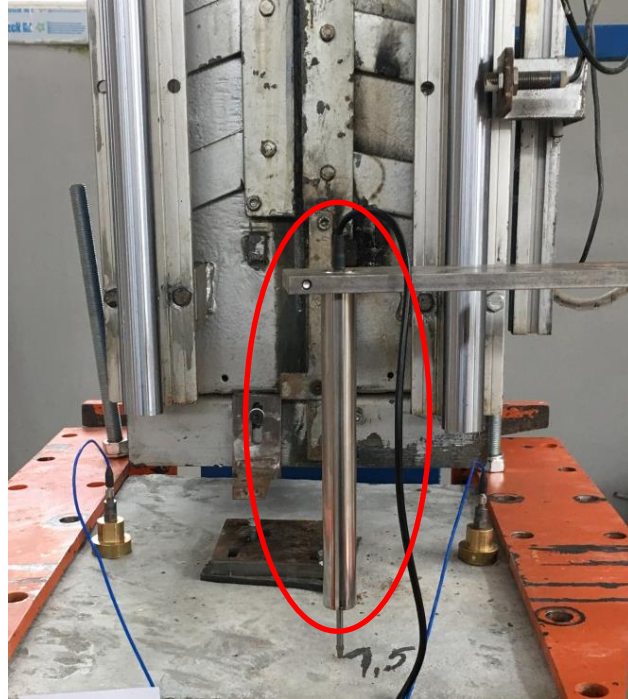
Lvdt birincil ve bir çift ikincil sarımdan meydana gelir. İkincil sarımlar arasına birincil sarım sıkıştırılmıştır. Lvdt'nin hareketli elemanı çekirdek olarak

isimlendirilmiştir. Çekirdek geçirgenliği yüksek manyetik malzemeden yapılmıştır. Çekirdek gövde ve sargılar ile temas halinde olmadığı için sürtünme ve fiziksel kayıplar en az seviyede olup bu sayede çalışma ömrü uzatılmıştır. Lvd t sensör mekanizması Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Lvd t sensör mekanizması[36]

Deney elemanlarında kullanılan yer değışimi algılayıcısı (lvdt) Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Lvd t statik ve dinamik yük altında yapılan iki deneyde de kullanılmıştır.



Şekil 4.9. Yer değışimi algılayıcısı (lvdt)

4.6 Veri Toplayıcı

Veri toplama cihazları, deneylerde kullanılan sensörlerden aldığı tüm verileri olarak bilgisayarda değerlendirmesine olarak sağlarlar.

Yapılan deneylerde veri toplayıcı cihazı olarak Şekil 4.10'da görülen DEWESoft firmasının üretmiş olduğu DEWE-43 A modeli kullanılmıştır. İvmeölçerden ve kuvvet algılayıcısından gelen verileri sayısallaştırarak bilgisayara aktarmaya, ayrıca USB bağlantı aparatının olması ile farklı ortamlarda da deney yapılabilmesine olanak sağladığı için bu veri toplayıcısı seçilmiştir.



Şekil 4.10. DEWE-43 A veri toplayıcı

DEWE-43 A veri toplayıcısının özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. DEWE-43 A veri toplayıcı özellikleri

Özellik	Değer
Kanal	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	± 10 V, ± 1 V, ± 100 mV, ± 10 mV
Sensör Kaynağı	12V, 400mA sensör kaynağı ± 5 V \pm % 0,1 köprü sensörü beslemesi
Aşırı Gerilim Koruması	± 70 V giriş koruması
Dinamik Aralık	107 dB@ ± 10 V
DC Hassasiyet	
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
Maksimum Ortak Voltaj Modu	± 13 V
CMRR	>80 dB
Giriş Empedansı	20M Ω 47pF (diferansiyel) 10M Ω 33pF (ortak mod)
Gürültü Sinyali	
0.1 kS/s ile 51.2 kS/s	105 dB
51.2 kS/s ile 102.4 kS/s	100 dB
102.4 kS/s ile 200 kS/s	75 dB
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	102.4 MHz
Zaman Tabanı Doğruluğu	Tipik: 5 ppm, Maks: 20 ppm
Maksimum Bant Genişliği	10 MHz
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	± 30 V 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	± 36 V
ESD Koruması	8 kV
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

Yer değişimi algılayıcı (Lvdt) için kullanılan veri toplayıcı için ise Testart firmasının üretmiş olduğu TESTBOX2010-ATT cihazı kullanılmıştır. Deprem, inşaat, zemin, jeoloji, maden mühendisliği gibi dinamik karakteristik testler ayrıca yapısal sağlık takibi cihazı olarak kullanılmaktadır. Deneyde lvdt için kullanılan TESTBOX2010 veri toplayıcı şekil 4.11’de gösterilmiştir.



şekil 4.11. TESTBOX2010-ATT veri toplayıcı

Deney aşamasında kullanılan TESTBOX2010-ATT veri toplayıcısının özellikleri Tablo 4.4’te verilmiştir.

Tablo 4.4. TESTBOX2010-ATT veri toplayıcı özellikleri

Özellik	Değer
ADC Çözünürlüğü	24 bit
Senkronizasyon	Eşzamanlı Örnekleme - Ayrı ADC / Kanal
Analog Giriş Kanalları	Cihaz başına 4/8/16/ 20 /24 /32
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, Yuvarlak, 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

4.7 Ölçüm Bağlantı Kabloları

Deneyde sensörlerden gelen verileri, veri kaybı yaşamadan ölçüm cihazlarına aktaran kablolardır. Deneyde kullanılan Şekil 4.12'de verilen PCB Group firması tarafından üretilen 002C30 model kablo seçilmiştir. Bu kabloların özelliği radya frekanslarında kullanılan bir kablo türü olan koaksiyel kablodur.



Şekil 4.12. PCB 002C30 bağlantı kablosu

Deney aşamasında kullanılan PCB 002C30 bağlantı kablosunun özellikleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5. PCB 002C30 bağlantı kablosu özellikleri

Özellik	Değer
İletken Sayısı	1
Sıcaklık aralığı	-90 ile +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 Ceketi 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

5. DENEY HAZIRLIK AŞAMASI

Tez çalışmasında 450×450×60 mm boyutlarında 9 tane beton plak üretilmiştir. Üretilen beton plaklar 3 gruba ayrılmış ve her bir grupta kullanılan yüzey sertleştirici miktarı farklı tutularak çarpma testi altında davranışları incelenmiştir.

Üretilen beton plak numuneler sabit çekiç kütlelerinde, çekicinin her bir numuneye vurma yüksekliği değiştirilerek deneye devam edilmiştir. Üretilen 12 tane beton plak numunenin boyutları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Beton plak numunelerin özellikleri

Deney Elemanı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
P1-YS1	450	450	60
P2-YS2	450	450	60
P3-YS3	450	450	60
P4-YS1	450	450	60
P5-YS2	450	450	60
P6-YS3	450	450	60
P7-YS1	450	450	60
P8-YS2	450	450	60
P9-YS3	450	450	60

Çarpma deney testinde kullanılan 9 adet numune P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 isimlendirilmiştir. YS1, YS2, YS3 isimlendirilmeleri numune içerisinde bulunan sırası ile 1 kg, 1.5 kg, 2 kg olan yüzey sertleştirici miktarlarına karşılık gelmektedir.

5.1 Kalıp Malzemesi

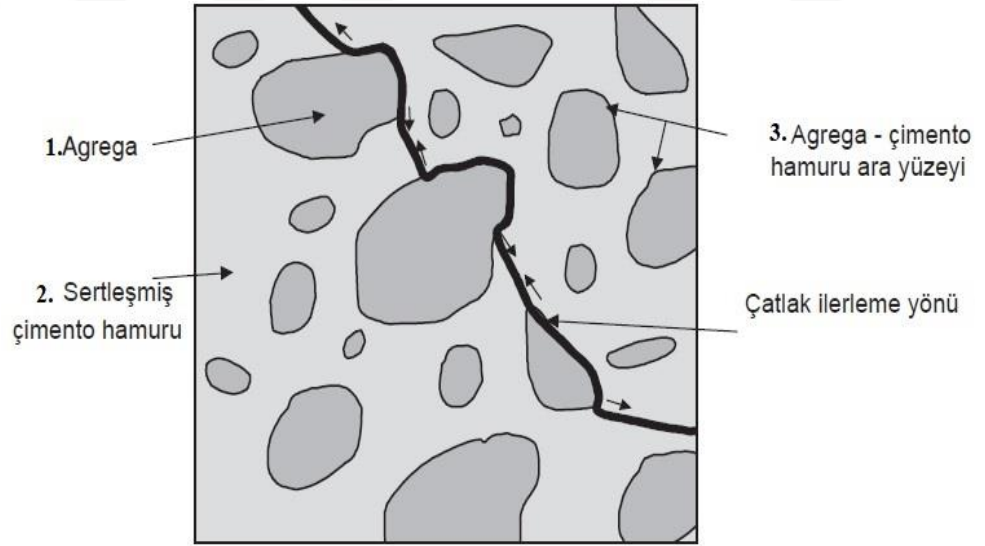
Kalıp malzemesi olarak esnek, tekrar kullanılabilen, bulunması kolay olan ahşap ürün kullanılmıştır. Kalıplar dayanımı yüksek malzemedendir olup parçalar birbirlerine vidalama ile birleştirilerek kalıp haline getirilmişlerdir. 6 adet kalıp üretilmiş olup iki sefer beton dökümü yapılmıştır. Üretilen kalıplar Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Kalıplar

5.2 Beton

Beton; çimento, agrega, su ve kullanılması gerektiğinde kimyasal katkı maddelerinin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Beton üç fazlı heterojen maddeden meydana gelir. Bunlar Şekil 5.2’de gösterildiği gibi agrega, çimento hamuru, agrega - çimento hamuru ara yüzeyidir. [37]



Şekil 5.2. Betonun meydana getiren fazlar [37]

Denyde numunelere dökülen beton karışımı için çimento, kum, agrega, ve su kullanılmıştır. Tüm numuneler için Er Prefabrik Yapı Elemanları Fabrikasından temin edilen normal dayanımlı beton dökülmüştür.

5.3 Yüzey Sertleştirici

Yüzey sertleştiriciler yüke ve araç trafiğine maruz kalan endüstriyel zeminlerde, otopark zeminlerinde vb. yerlerde yüzey aşınma direncini yükselten çimento, agrega, kuvars, pigment ve özel katkı esaslı yüzey sertleştirme harcıdır.

Deney aşamasında Weber firmasına ait weber.floor YS 6 adlı yüzey sertleştiricisi kullanılmıştır. Weber.floor YS 6 adlı yüzey sertleştiricinin özellikleri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Weber.floor YS 6 yüzey sertleştirici özellikleri

Tanım	Orta seviyede araç trafiğine maruz kalan endüstriyel zeminlerde yüzey aşınma direncini yükselten çimento esaslı harç
Kullanım Yerleri	Mekanik aşınma dayanımı aranan ve tozuma yapmaması istenilen taze beton yüzeyler üzerine uygulanır.
Uygulanılacak Beton Sınıfı En Az	C25
Ortam Sıcaklığı	+5°C ile +30°C arasında
Uygulama Metodu	Yüzeye serpmeye metodu ile dağıtılır.
Tüketim	5 kg/m ²
Ambalaj	25 kg kraft torba
Renk	Kırmızı, Gri, Yeşil
Raf Ömrü	Açılmamış ambalajında rutubetsiz ve kuru ortamlarda üretim tarihinden itibaren 1 yıl

6. DENEY ELEMANLARININ HAZIRLANMASI

Beton üretim işlemi, Er Prefabrik Yapı Elemanları Fabrikasında mikserde üretilen betondan alınarak yerinde iki sefer olmak üzere 9 tane numune için beton dökümü yapılmıştır. Fabrikada üretilen beton Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Üretilen beton

Kalıplara dökülecek beton 200×200×200 mm ölçülerindeki küp numunelere aktarılarak beton basınç dayanımları belirlenmiştir. 15 adet küp numunesi aksenal basınç altında test edilmiş (Şeki 6.2), elde edilen veriler Tablo 6.1 – 6.3 arasında gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Deney elemanlarının basınç dayanım değerlerinin belirlenmesi

Tablo 6.1. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri

Deney No	Kırılma Kuvveti		Dayanım Değerleri		
	kgf	kN	kgf/cm ²	N/mm ²	MPa
1	85,803.0	841.44	381.35	37.40	37.40
2	76,090.0	746.19	338.18	33.16	33.16
3	90,693.6	889.40	403.08	39.53	39.53
4	99,337.7	974.17	441.50	43.30	43.30
5	98,171.1	962.73	436.32	42.79	42.79
ORT. (7 günlük)	80,946.6	793.82	359.76	35.28	35.28
ORT. (28 günlük)	96,067,5	942.10	426.97	41.87	41.87

Tablo 6.2. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri

Deney No	Kırılma Kuvveti		Dayanım Değerleri		
	kgf	kN	kgf/cm ²	N/mm ²	MPa
6	84,940.3	832.98	377.51	37.02	37.02
7	80,902.2	793.38	359.57	35.26	35.26
8	106,981.5	1,049.13	475.47	46.63	46.63
9	106,109.6	1,040.58	471.60	46.25	46.25
10	99,484.5	975.61	442.15	43.36	43.36
ORT. (7 günlük)	82,921.3	813.18	368.54	36.14	36.14
ORT. (28 günlük)	104,191.9	1,021.77	463.08	45.41	45.41

Tablo 6.3. Deney elemanlarının basınç dayanım değerleri

Deney No	Kırılma Kuvveti		Dayanım Değerleri		
	kgf	kN	kgf/cm ²	N/mm ²	MPa
11	87,724.2	860.28	389.89	38.23	38.23
12	83,293.5	816.83	370.19	36.30	36.30
13	99,690.5	977.63	443.07	43.45	43.45
14	103,649.1	1,016.45	460.66	45.18	45.18
15	106,541.0	1,044.81	473.52	46.44	46.44
ORT. (7 günlük)	85,508.8	838.56	380.04	37.27	37.27
ORT. (28 günlük)	103,293.5	1,012.96	459.08	45.02	45.02

Numuneler kalıptan çıkarılırken kalıplara yapışmalarını önlemek, kalıplardan daha rahat çıkarılabilmesi için oluşturulan kalıplar ve küp numune kalıpları beton döküm işlemine geçilmeden önce kalıp yağı ile yağlanmıştır. Yağlanan kalıplar Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Kalıp yağı ile yağlanmış kalıplar

Üretilen beton, Şekil 6.3'te görüldüğü gibi el arabası ve kürek yardımıyla üretilen kalıplara dökülmüştür. Kalıplara dökülen betonlar, kalıpların farklı noktalarından çekiç vurularak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. En son aşamada mastarlama ile beton yüzeyleri düzeltilmiştir.



Şekil 6.4. Hazırlanan kalıplara beton dökülmesi

Beton belli bir kıvamda gelinceye kadar bir süre beklenip yüzey sertleştirici uygulaması yapılmıştır. Numunelere uygulanan yüzey sertleştirici miktarları beton dayanımına etkisini ölçmek amacıyla farklı tutulmuştur. Numunelere uygulanan yüzey sertleştirici miktarları Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Numunelere uygulanan yüzey sertleştirici miktarları

Deney Elemanı	Yüzey Sertleştirici Miktarı
P1-YS1	1 kg
P4-YS1	
P7-YS1	
P2-YS2	1,5 kg
P5-YS2	
P8-YS2	
P3-YS3	2 kg
P6-YS3	
P9-YS3	

Yüzey sertleştirici uygulaması yüzeye homojen dağılacak şekilde taze beton üzerine el ile serpmeye yöntemiyle yapılmıştır. Mala yardımıyla serpilene yüzey sertleştiricinin taze beton yüzeyi ile etkileşmesi sağlanmış masterlama ile son aşamada beton yüzeyi düzgünleştirilmiştir. Yüzey sertleştiricinin taze betona serpilmiş hâli Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Yüzey sertleştiricinin taze betona serpilmiş hâli

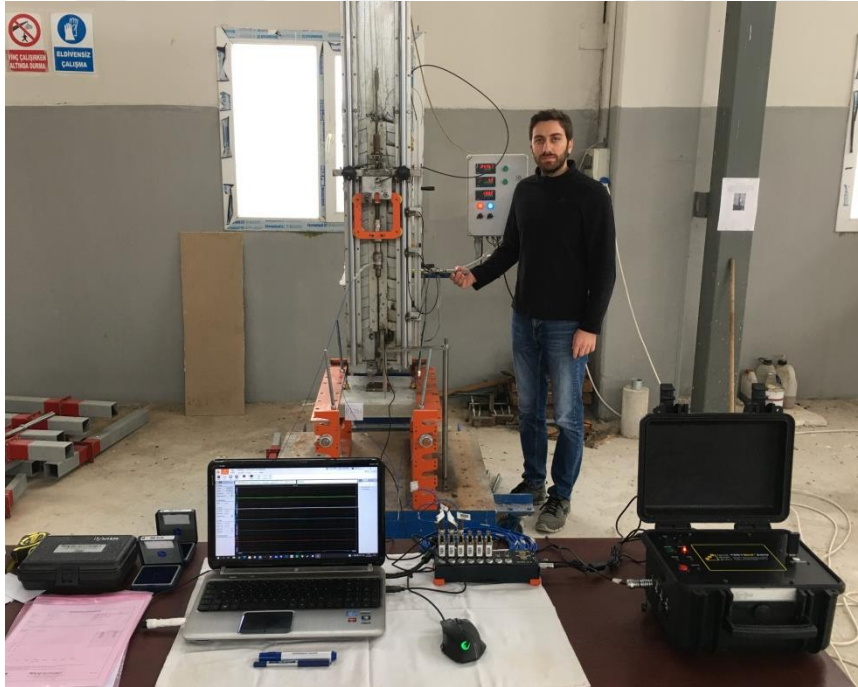
Son aşamada çarpma etkisini üniform yayılmasını sağlamak için beton plak numunelerinin tam ortasına çelik levha konulmasına imkân sağlamak ve konulan çelik levhayı sıkıştırmak için beton taze haldeyken 6 mm çapında çelik vidalar konulmuştur. Çelik levhanın her iki tarafına da ivmeölçer cihazlarını bağlamak için aynı şekilde uygulaması yapılarak 2 adet 6 mm çelik vidalar konulmuştur. Yüzey sertleştirici uygulanmış ve çelik vidaların konulduğu betonun son hâli Şekil 6.5’de gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Yüzey sertleştirici uygulanmış betonun son hâli

7. ÇARPMA DENEYLERİ

Deneyleerde, farklı miktarda yüzey sertleştirici ile hazırlanan deney elemanları çarpma etkisi altında test edilmiştir. Deneyleer, deney elemanlarında göçme hasar durumu gözlemleninceye kadar devam edilmiştir. Çarpma etkisini uygulayan deney aletinde çekiç kütlesi 14 kg olup kütlesi deney süresince sabit tutulmuştur. Serbest düşme yüksekliği 500 mm'den başlayarak her deney elemanında 100 mm düşme yüksekliği azaltılarak 400 mm, 300 mm olarak belirlenmiştir. Serbest düşüyü gerçekleştiren çekiçteki sürtünmeler minimuma indirilmeye çalışılmış bunun için tekerleklerin geçtiği platform yağlanıp temizlenmiştir. Deney elemanına yapılan çarpma etkisinin üniform yayılmasını sağlamak için 50×50×10 mm boyutunda olan çelik plaka ve altına kauçuk malzeme deney elemanının tam ortasına gelecek şekilde 6 mm çapında vidalar yardımıyla deney elemanına sabitlenmiştir. Deney elemanının iç yapısı hakkında bilgi almamızı sağlaması için sağ ve sol tarafına simetrik olarak ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Deplasman ölçümü içinde lvd belirlenen yere konulmuştur. Tüm bağlantı kabloları alıcıları bilgisayar ile bağlanıp deney aşamasına hazır hâle getirilmiştir (Şekil 7.1.).



Şekil 7.1. Çarpma deney testi

7.1. P1-YS1 Deney Elemanı

P1-YS1 deney elemanı çapma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvd, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. P1-YS1 deney elemanı

P1-YS1 deney elemanı 500 mm den bırakılan sabit kütleli çekiş ile test edilmiştir. Deney sırasında çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiş düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvd ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

Deney elemanında göçme gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P1-YS1 deney elemanında 5 adet düşme yapılmıştır. 2. Düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 4. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 4. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.5'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3. P1-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.4. P1-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



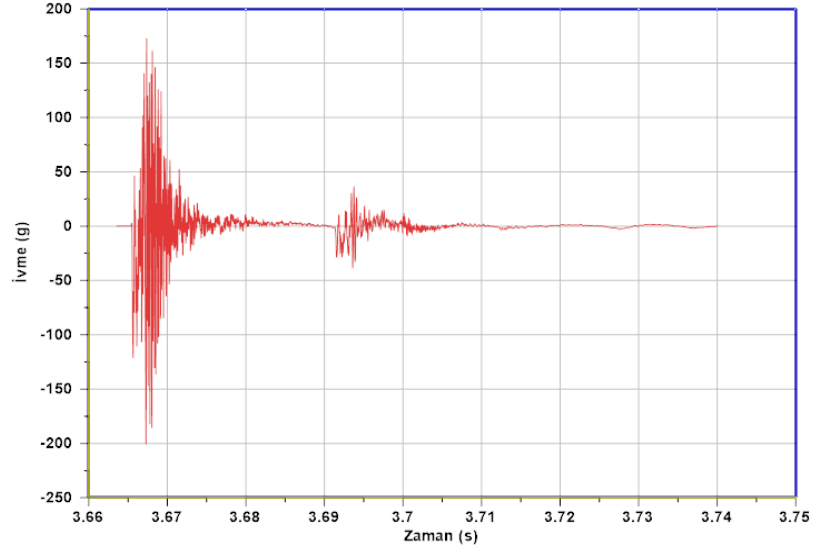
Şekil 7.5. P1-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü

P1-YS1 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

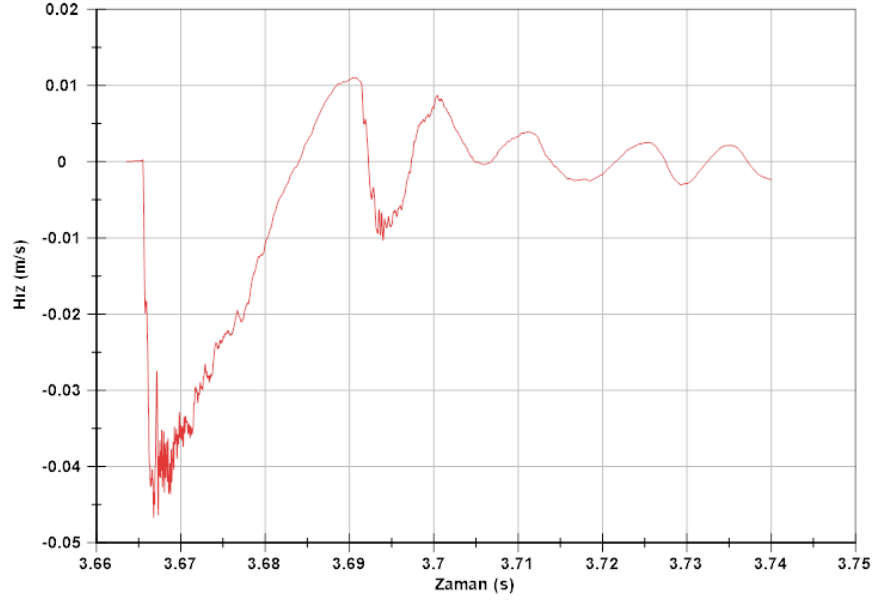
Tablo 7.1. P1-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	172,76	89,41	29475,33	1,23
	Minimum	200,75	207,23	597,73	0,0004
Göçme	Maksimum	128,32	53,44	24235,31	2,97
	Minimum	166,62	97,42	615,03	0,00025

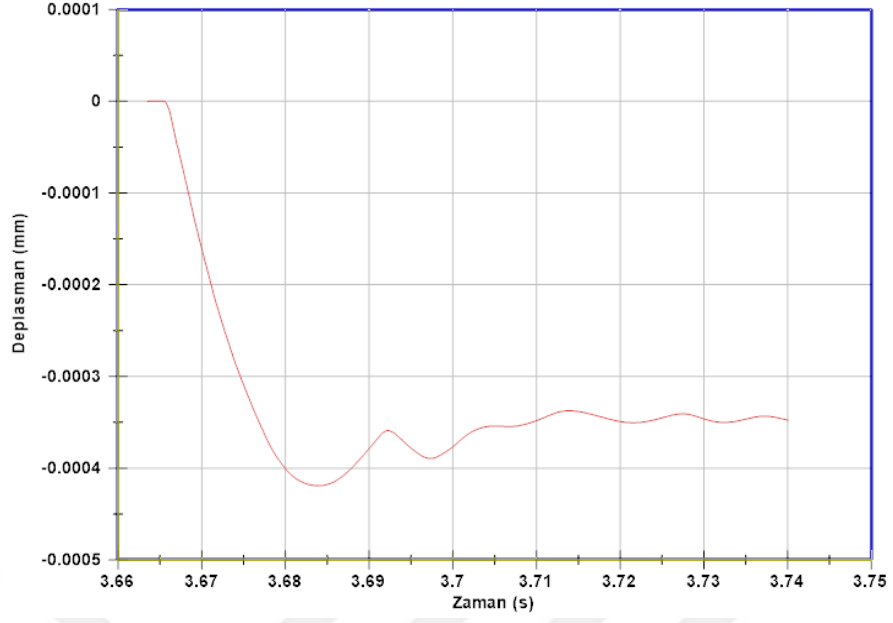
Deney elemanına ait ivmeölçerle ölçülen ivme değerlerinden büyük olan değerlerin ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri Şekil 7.6 – 7.8 arasında verilmiştir.



Şekil 7.6. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

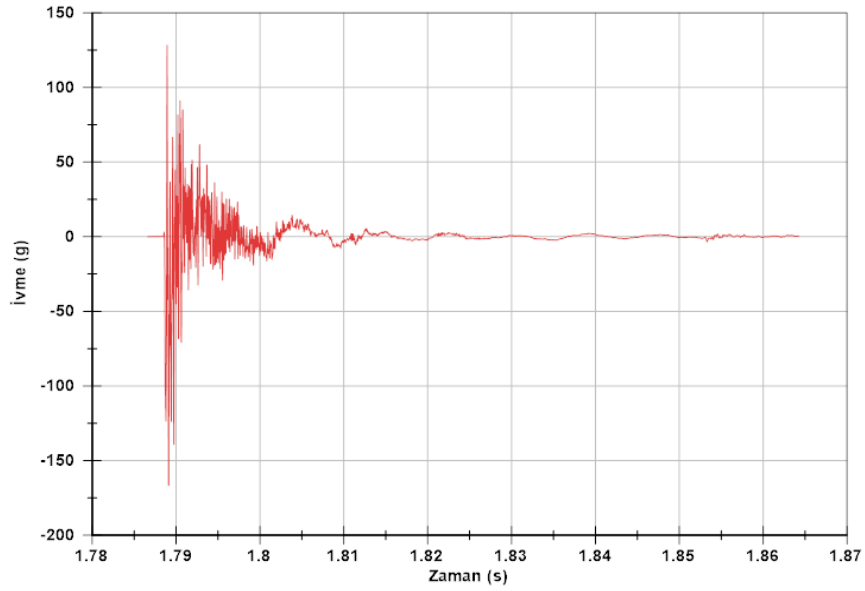


Şekil 7.7. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

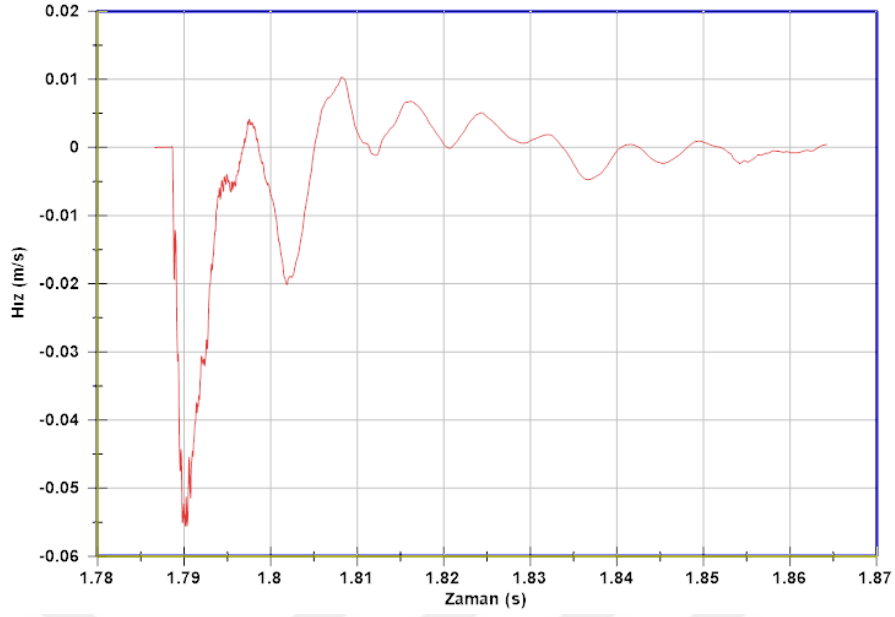


Şekil 7.8. P1-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

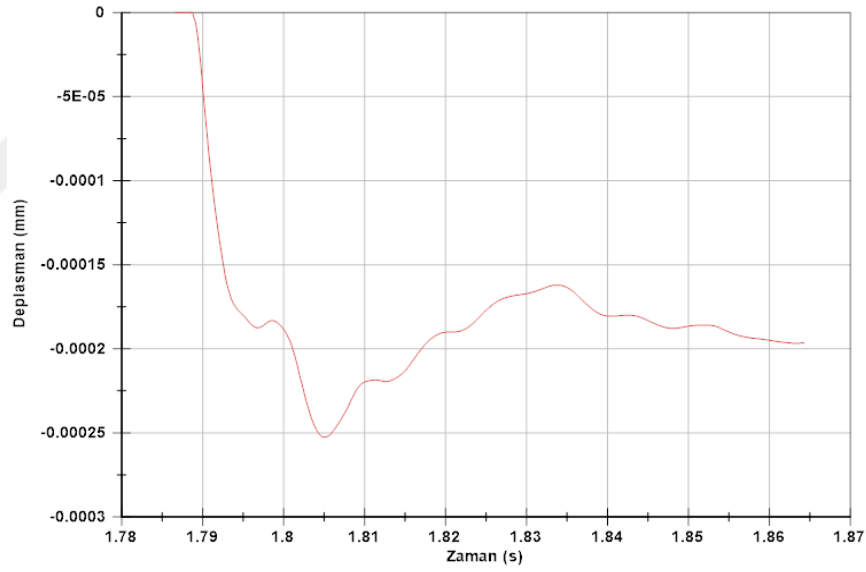
P1-YS1 deney elemanı göçme hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.9 – 7.11 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.9. P1-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.10. P1-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.11. P1-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.2. P2-YS2 Deney Elemanı

P2-YS2 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvd, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.12).



Şekil 7.12. P2-YS2 deney elemanı

P2-YS2 deney elemanı 500 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lüvd ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

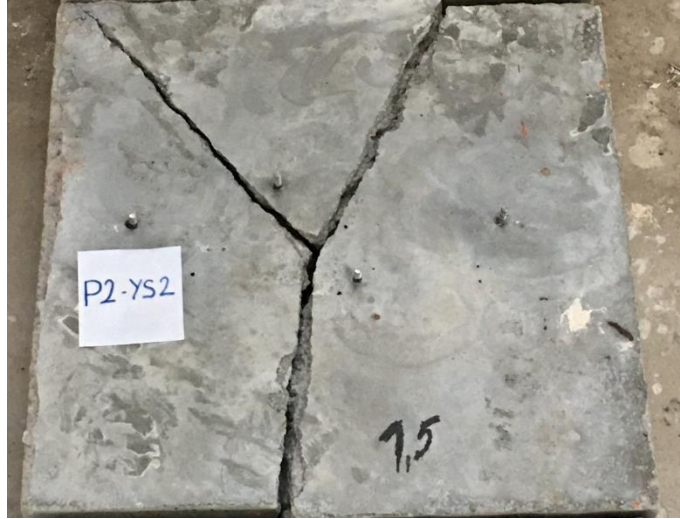
Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P2-YS2 deney elemanında 5 adet düşme yapılmıştır. 2. Düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 4. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 4. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.15'te gösterilmiştir.



Şekil 7.13. P2-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.14. P2-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



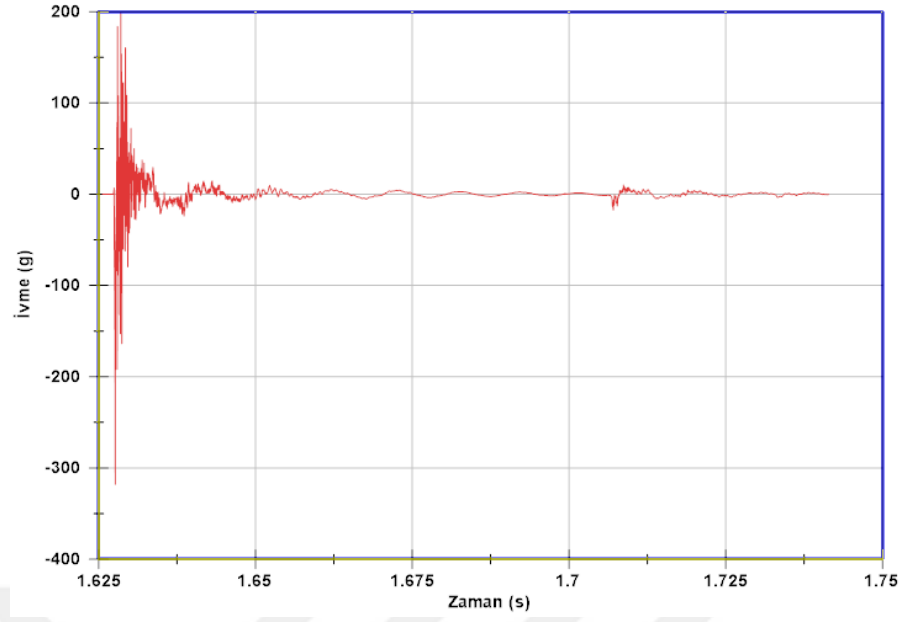
Şekil 7.15. P2-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü

P2-YS2 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.2’de gösterilmiştir.

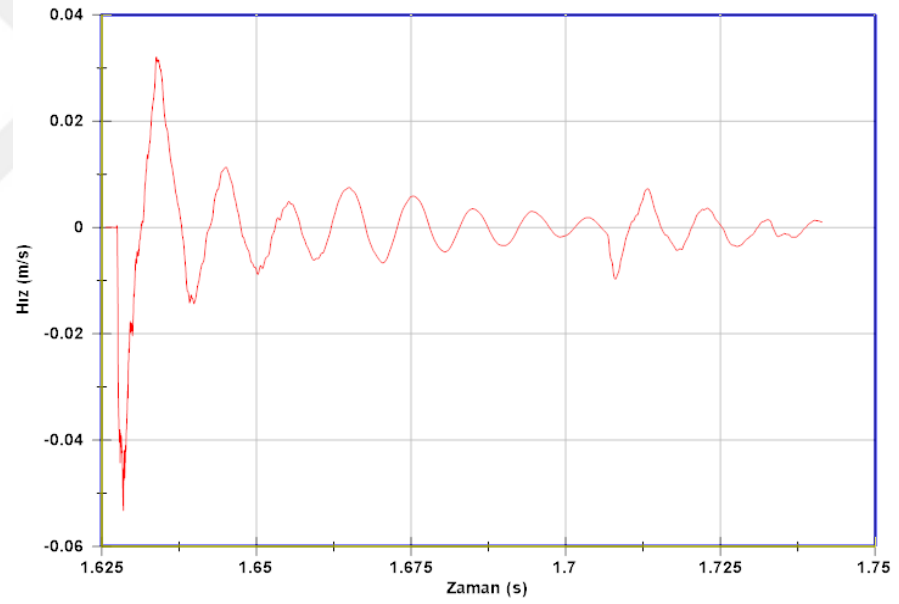
Tablo 7.2. P2-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	198,13	154,21	444435,42	8,69
	Minimum	318,12	259,89	764,69	9,62
Göçme	Maksimum	140,95	71,00	20024,87	4,65
	Minimum	119,28	51,63	556,10	0,00046

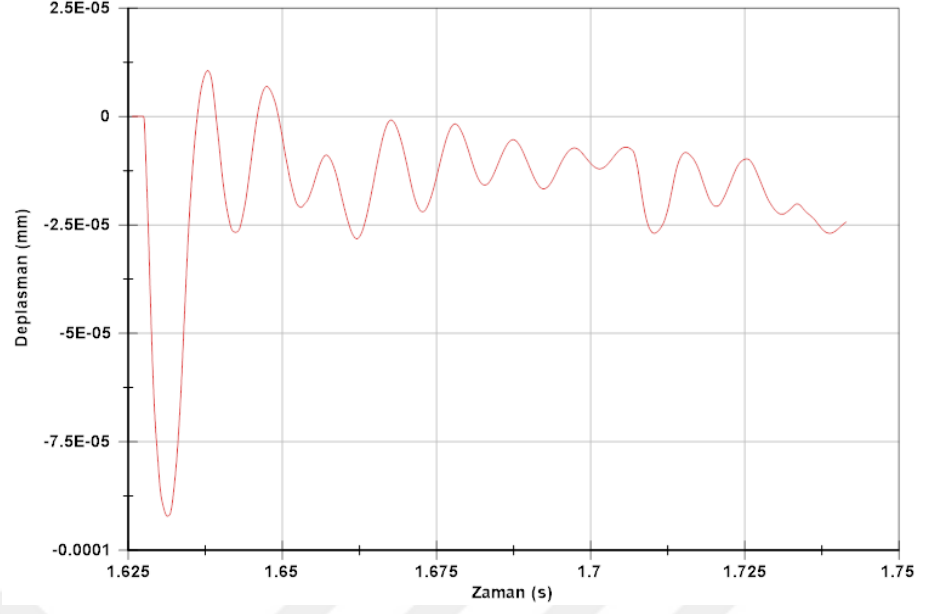
P2-YS2 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.16 – 7.18 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.16. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

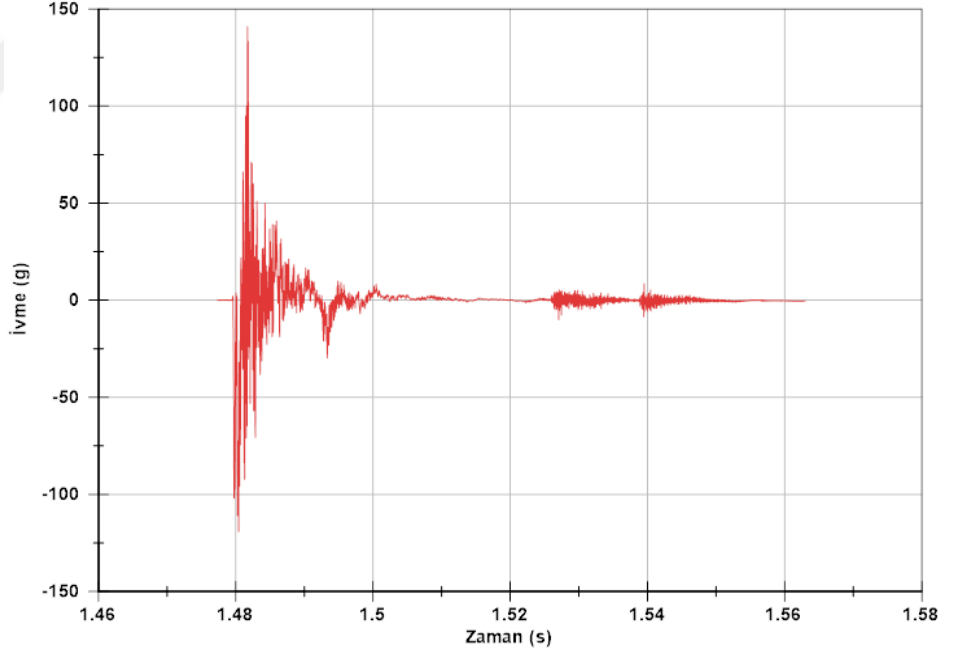


Şekil 7.17. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

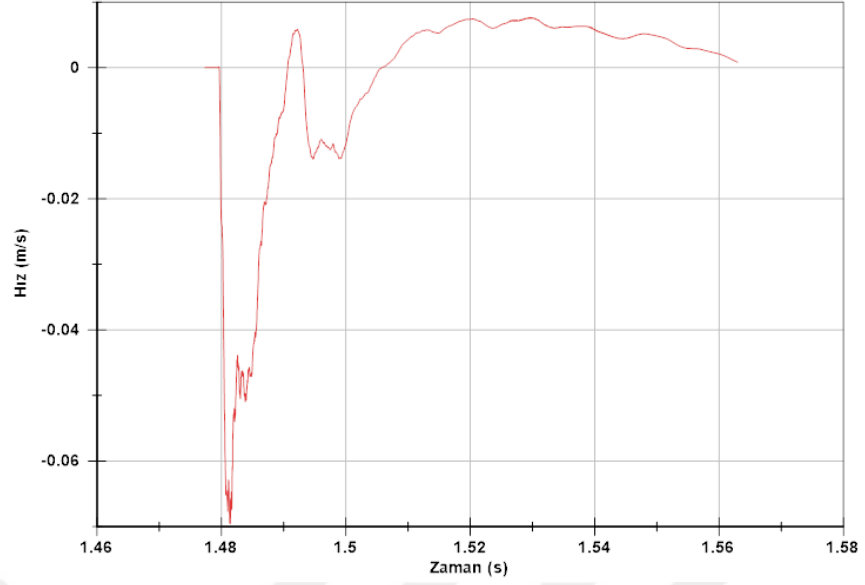


Şekil 7.18. P2-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

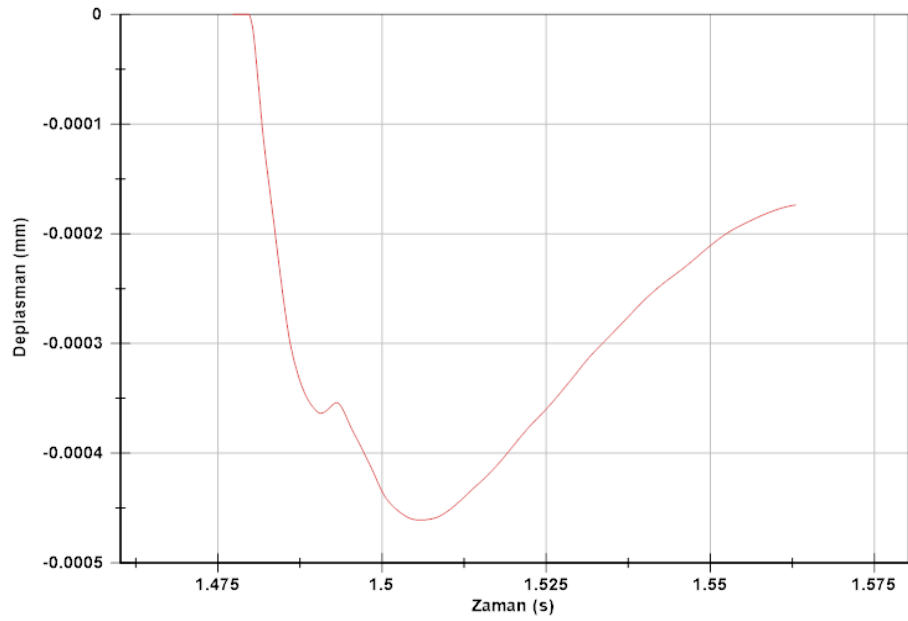
P2-YS2 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.19 – 7.21 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.19. P2-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.20. P2-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.21. P2-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.3. P3-YS3 Deney Elemanı

P3-YS3 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.22).



Şekil 7.22. P3-YS3 deney elemanı

P3-YS3 deney elemanı 500 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvd'te ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P2-YS1 deney elemanında 10 adet düşme yapılmıştır. 2. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 7. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 7. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.23 ve Şekil 7.24'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.25'te gösterilmiştir.



Şekil 7.23. P3-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.24. P3-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



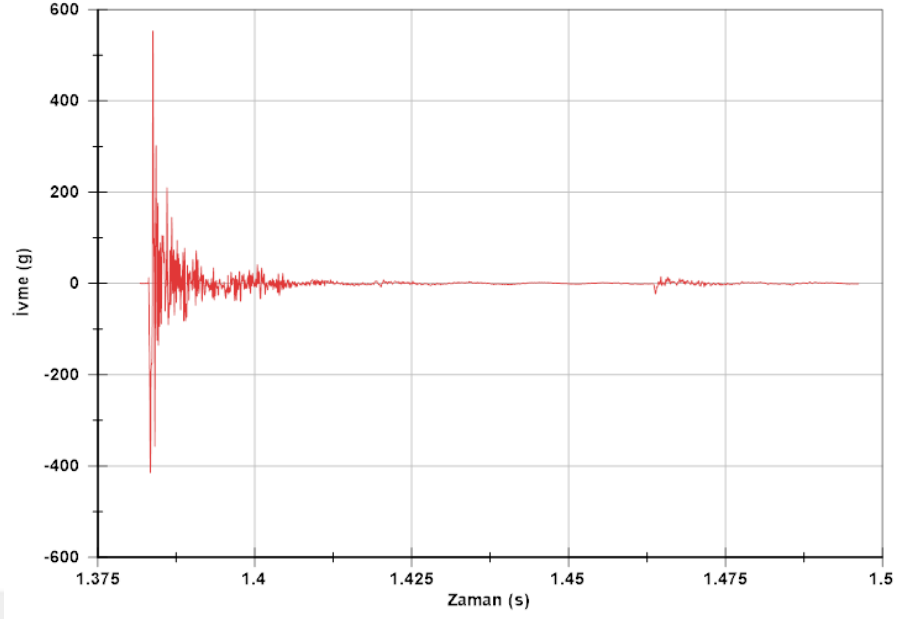
Şekil 7.25. P3-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü

P3-YS3 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.3'te gösterilmiştir.

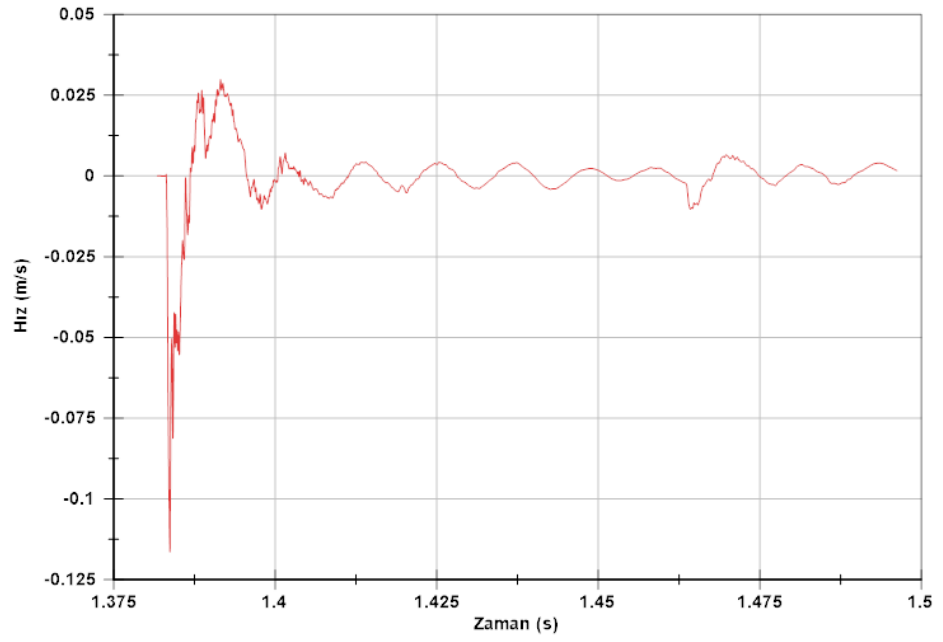
Tablo 7.3. P3-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	553,64	189,65	4554,00	7,84
	Minimum	415,00	248,51	1099,89	0,00016
Göçme	Maksimum	181,20	303,71	29302,72	1,36
	Minimum	129,04	182,02	879,85	0,00014

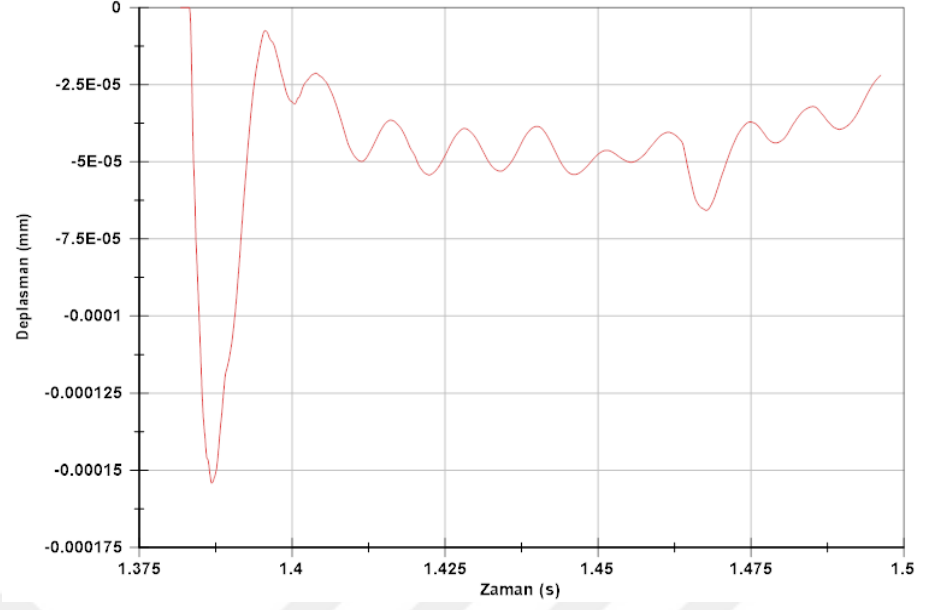
P3-YS3 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.26 – 7.28 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.26. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

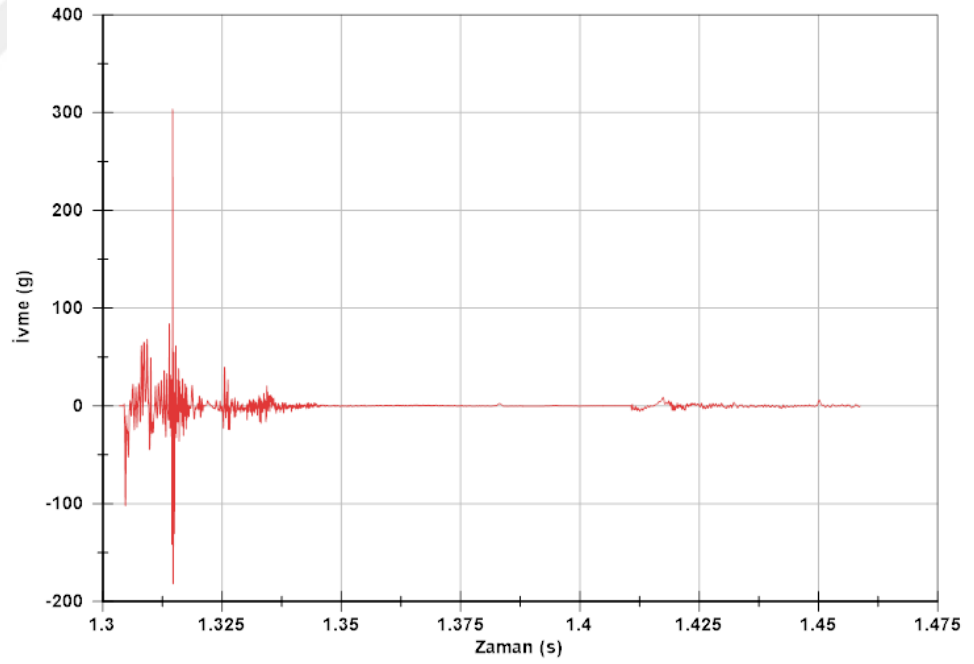


Şekil 7.27. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

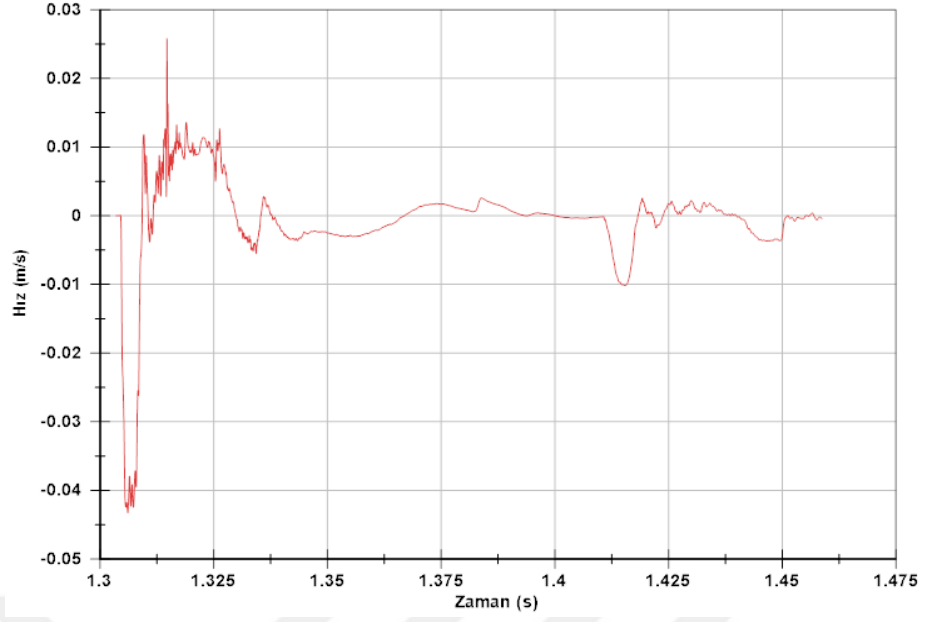


Şekil 7.28. P3-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

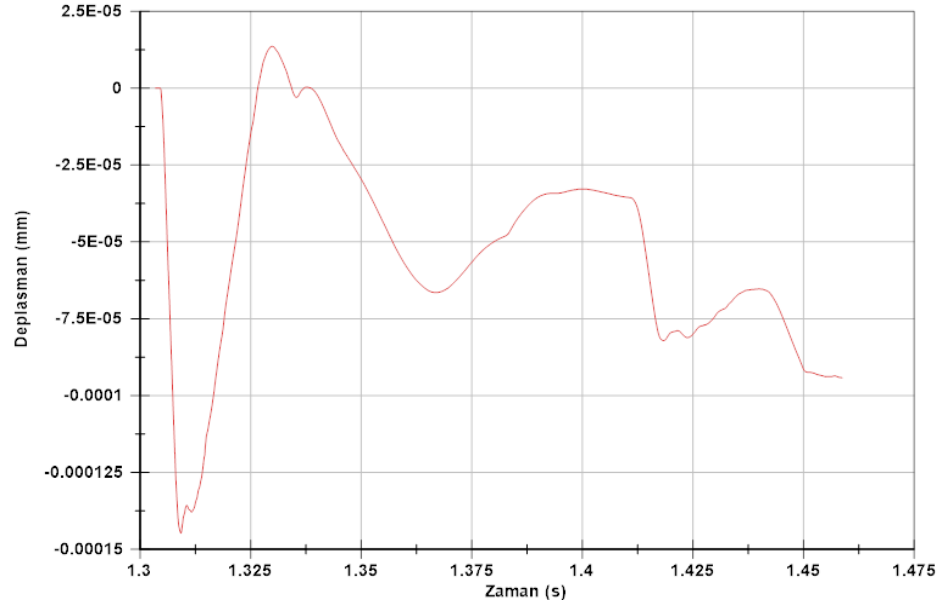
P3-YS3 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.29 - 7.31 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.29. P3-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.30. P3-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.31. P3-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.4. P4-YS1 Deney Elemanı

P4-YS1 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.32).



Şekil 7.32. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar

P4-YS1 deney elemanı 400 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvdt ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

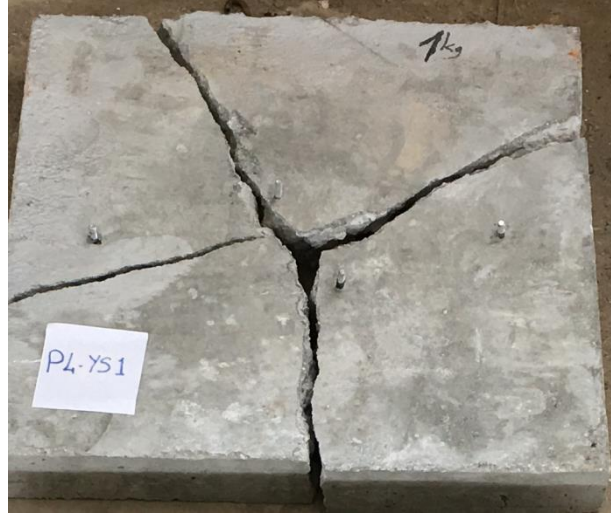
Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P4-YS1 deney elemanında 10 adet düşme yapılmıştır. 5. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 9. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 9. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.33 ve Şekil 7.34'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.35'te gösterilmiştir.



Şekil 7.33. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.34. P4-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



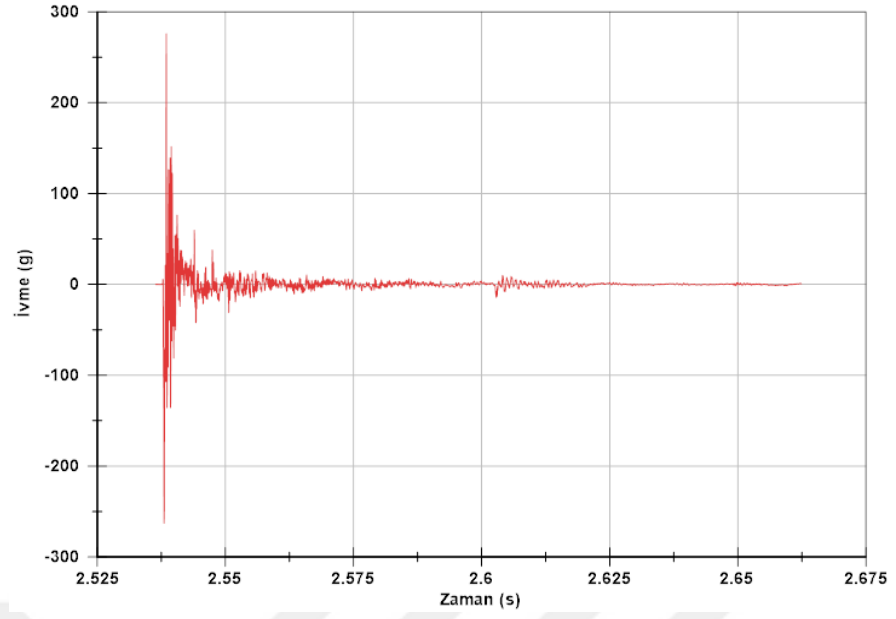
Şekil 7.35. P4-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü

P4-YS1 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.4'te gösterilmiştir.

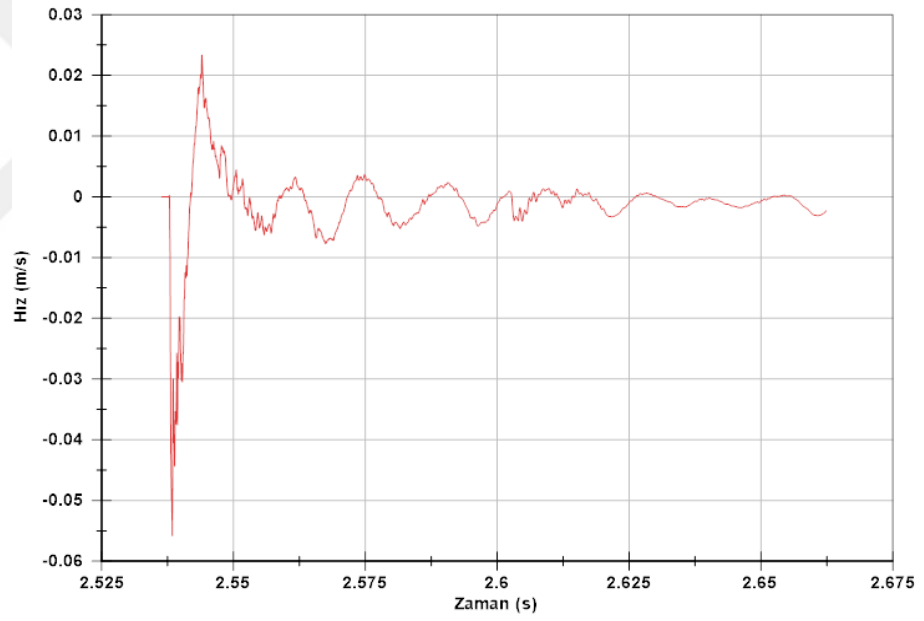
Tablo 7.4. P4-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	275,96	185,41	40675,48	5,39
	Minimum	263,00	269,53	998,46	0,00016
Göçme	Maksimum	68,53	85,08	24049,29	-
	Minimum	92,12	135,02	1205,36	0,00016

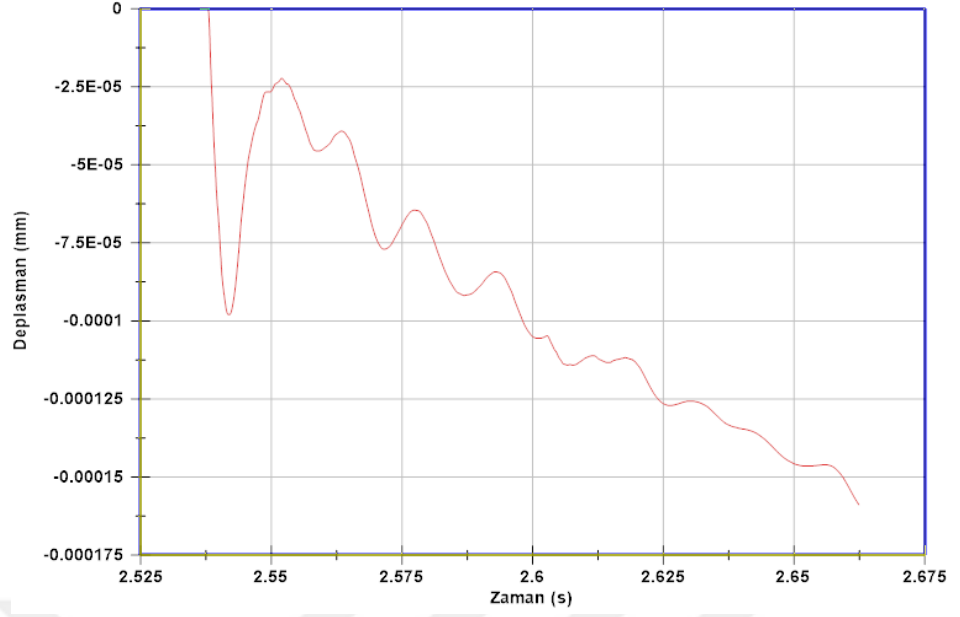
P4-YS1 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.36 – 7.38 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.36. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

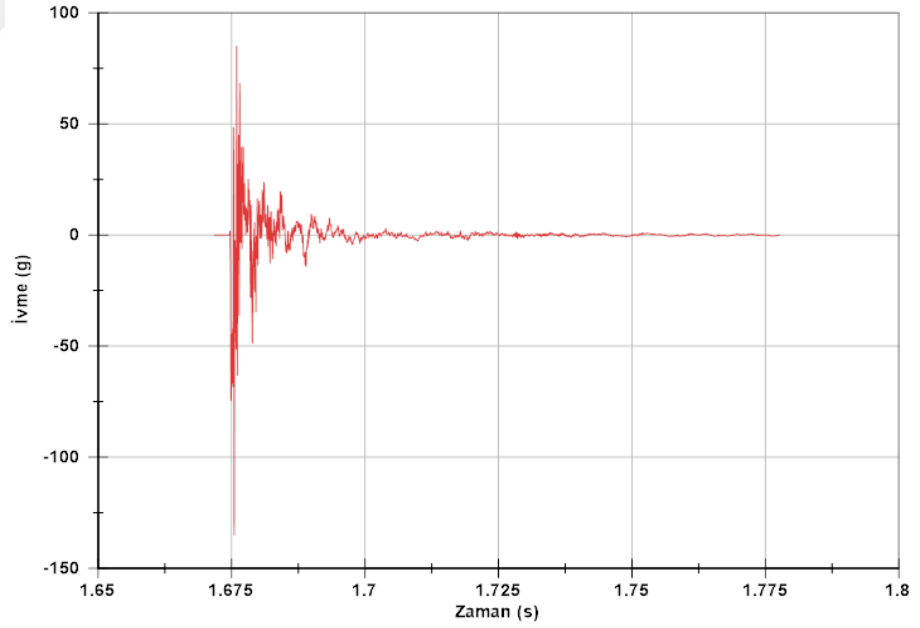


Şekil 7.37. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

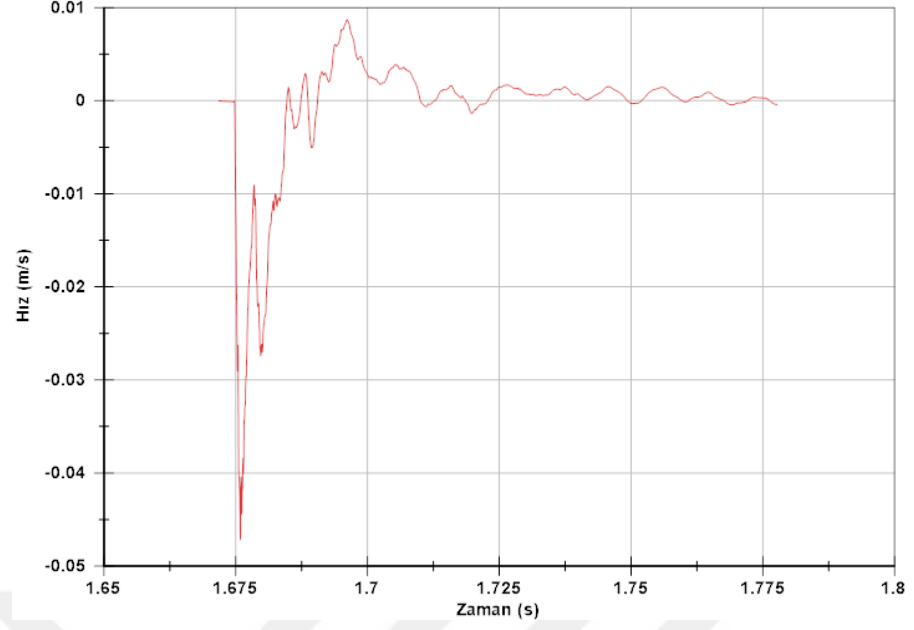


Şekil 7.38. P4-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

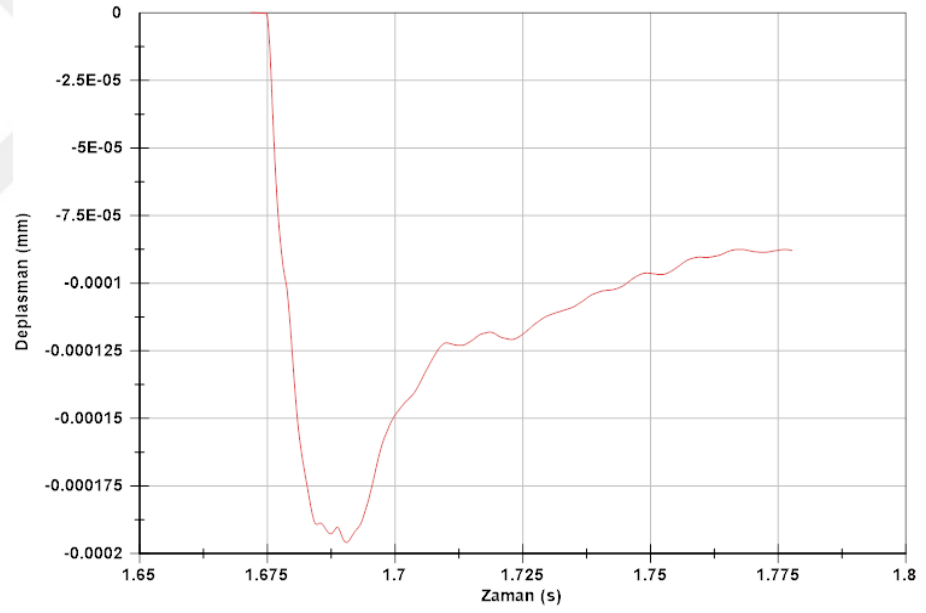
P4-YS1 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.39 – 7.41 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.39. P4-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.40. P4-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.41. P4-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.5. P5-YS2 Deney Elemanı

P5-YS2 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.42).



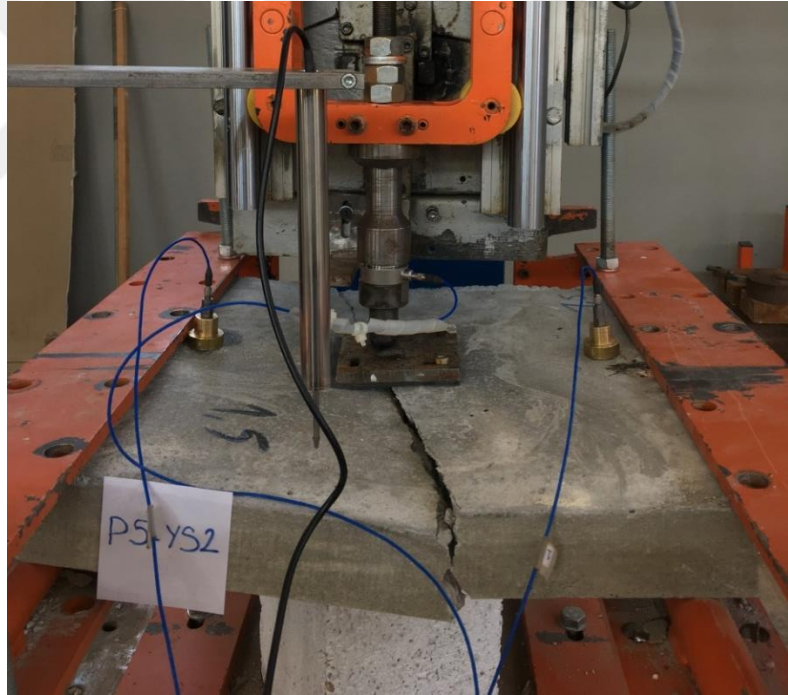
Şekil 7.42. P5-YS2 deney elemanı

P5-YS2 deney elemanı 400 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvd'te ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

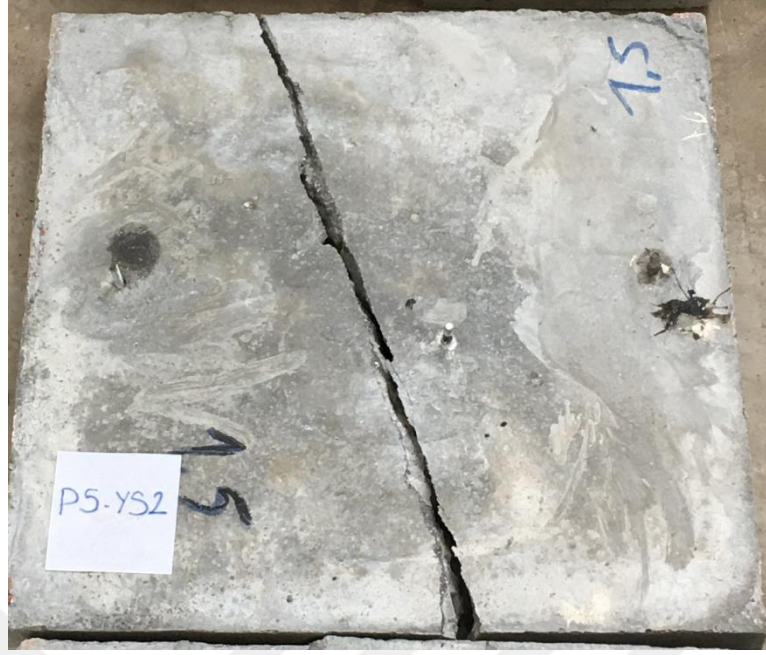
Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P5-YS2 deney elemanında 10 adet düşme yapılmıştır. 3. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlenmiştir. 5. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 5. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.43 ve Şekil 7.44'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.45'te gösterilmiştir.



Şekil 7.43. P5-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.44. P5-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



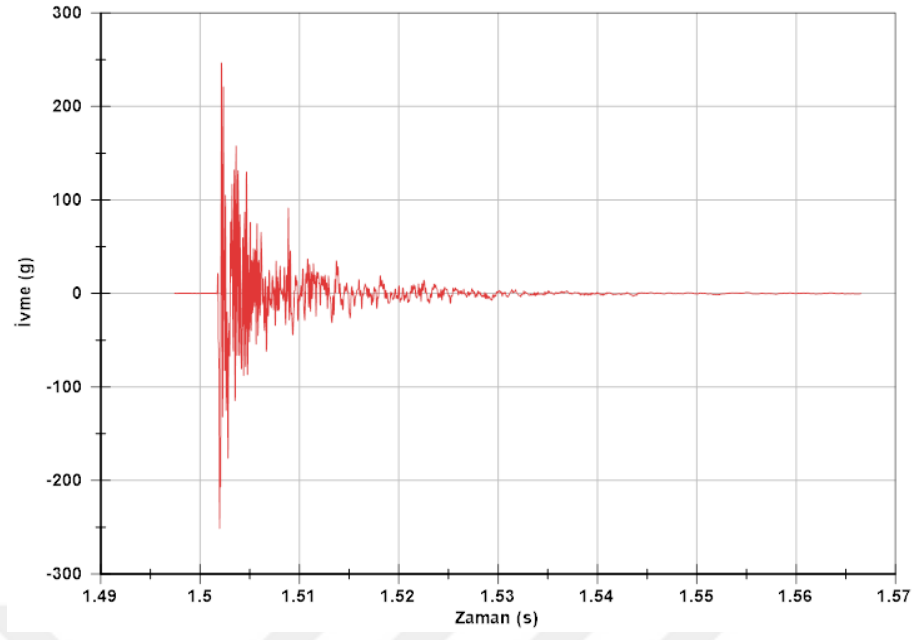
Şekil 7.45. P5-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü

P5-YS2 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.5'te gösterilmiştir.

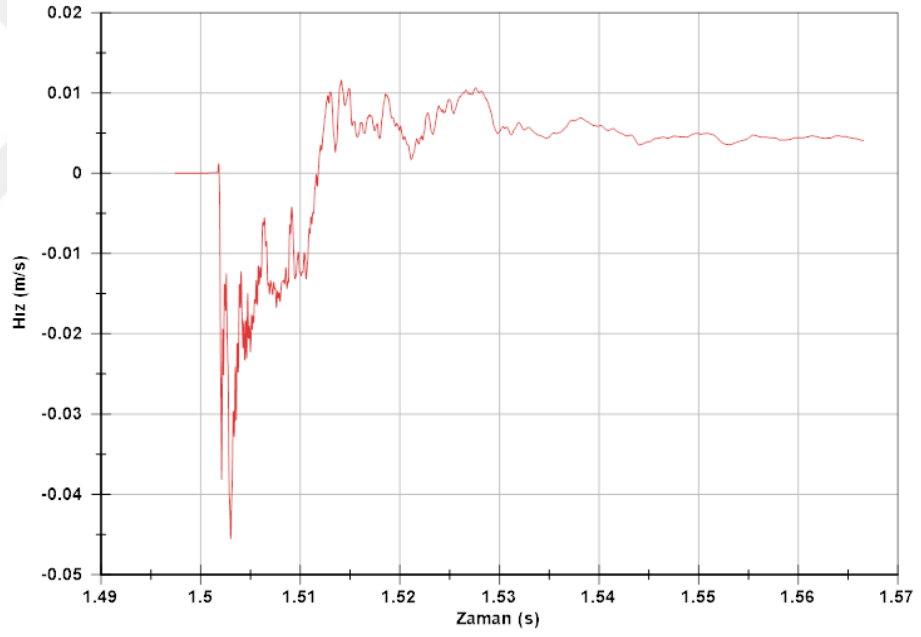
Tablo 7.5. P5-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	223,55	246,65	27970,47	0,00015
	Minimum	238,54	251,25	604,93	0,00015
Göçme	Maksimum	215,35	179,11	26892,67	4,49
	Minimum	213,07	228,41	635,64	0,00023

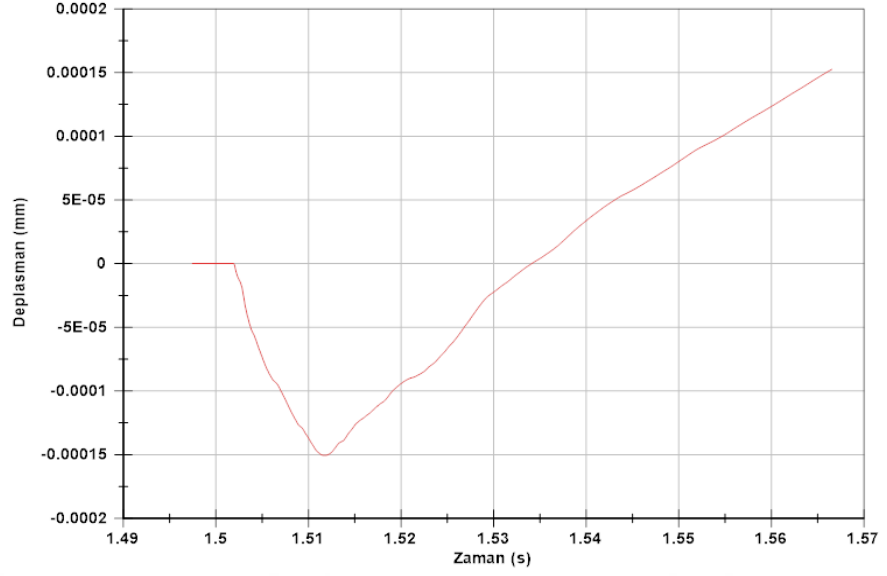
P5-YS2 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.46 – 7.48 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.46. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

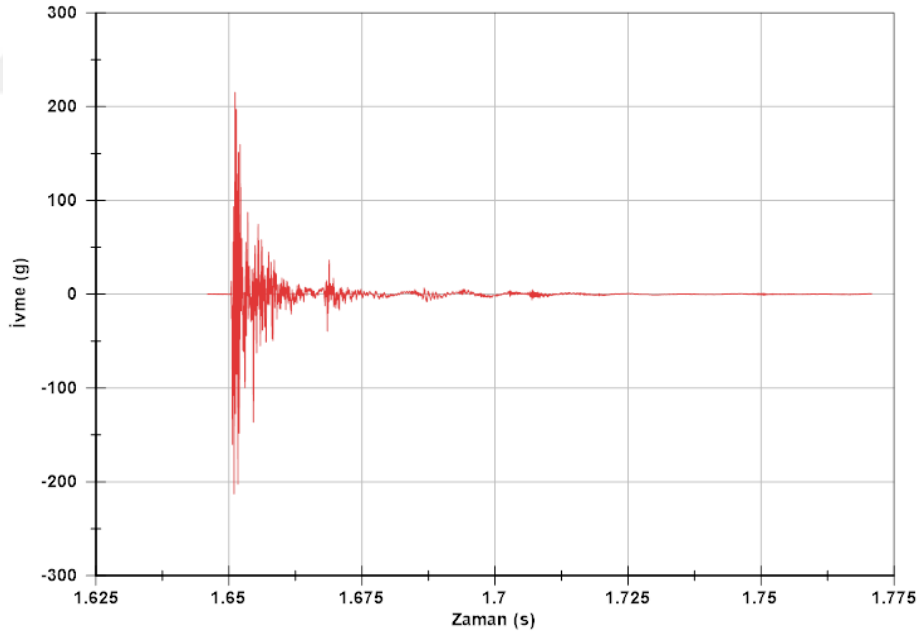


Şekil 7.47. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

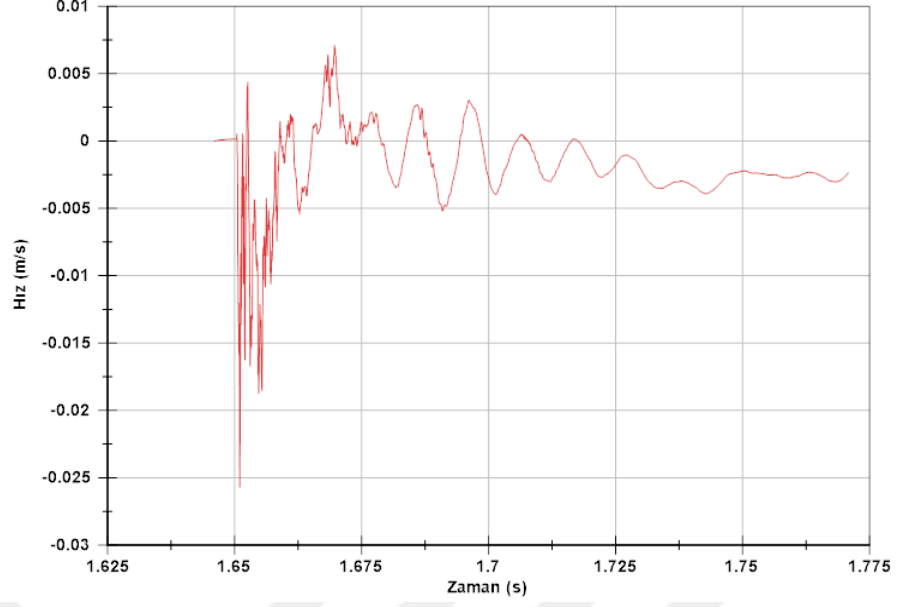


Şekil 7.48. P5-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

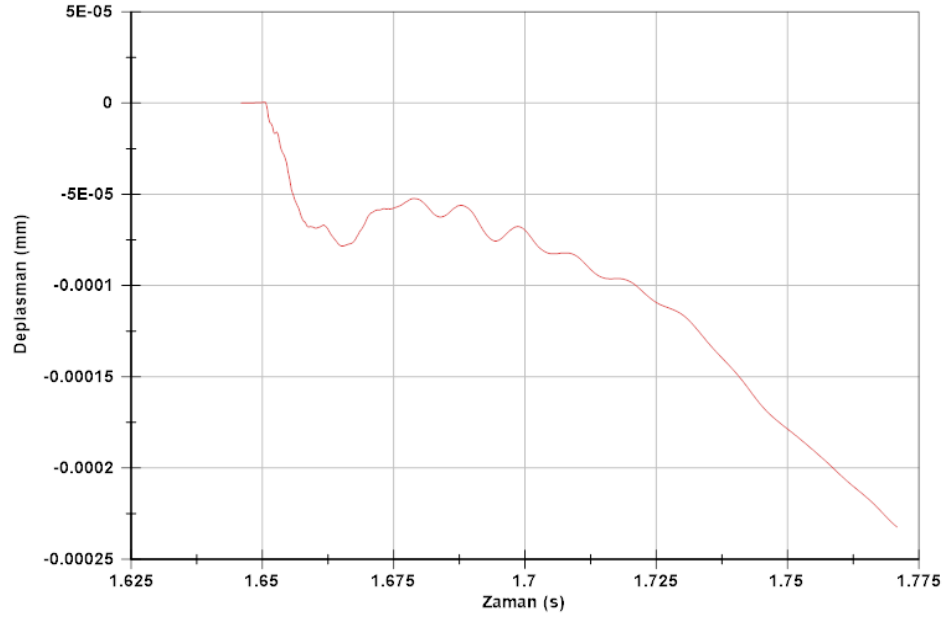
P5-YS2 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.49 – 7.51 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.49. P5-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.50. P5-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.51. P5-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.6. P6-YS3 Deney Elemanı

P6-YS3 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvd, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.52).



Şekil 7.52. P6-YS3 deney elemanı

P6-YS3 deney elemanı 400 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvdt ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

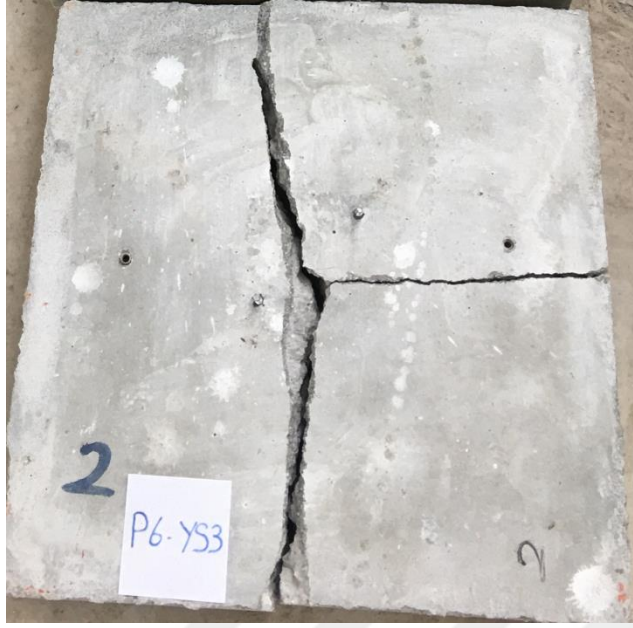
Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P6-YS3 deney elemanında 6 adet düşme yapılmıştır. 2. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlenmiştir. 5. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 5. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.53 ve Şekil 7.54'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.55'te gösterilmiştir.



Şekil 7.53. P6-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.54. P6-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



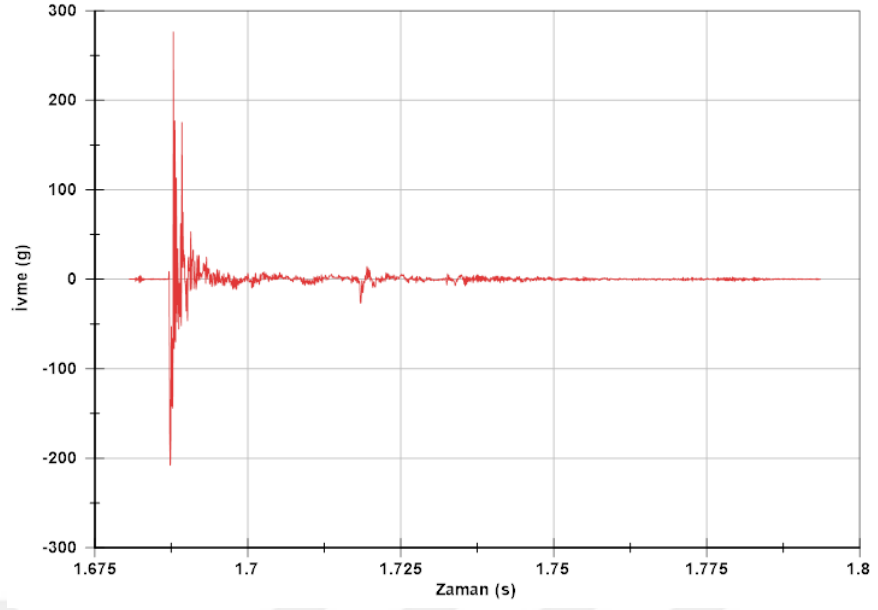
Şekil 7.55. P6-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü

P6-YS3 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.6’da gösterilmiştir.

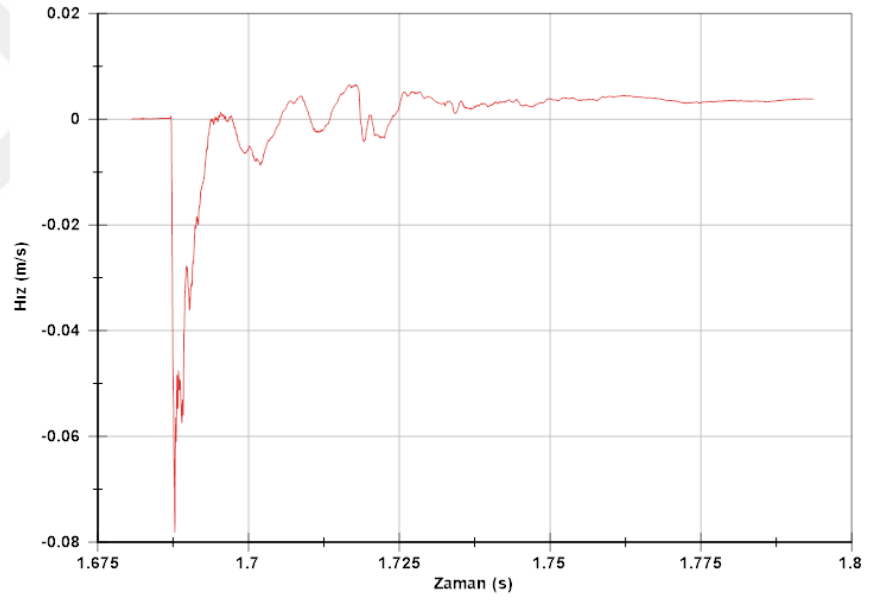
Tablo 7.6. P6-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	276,63	257,74	36681,10	3,21
	Minimum	207,87	195,49	692,35	0,00023
Göçme	Maksimum	111,51	94,40	20914,96	6,94
	Minimum	190,79	138,44	583,78	0,00052

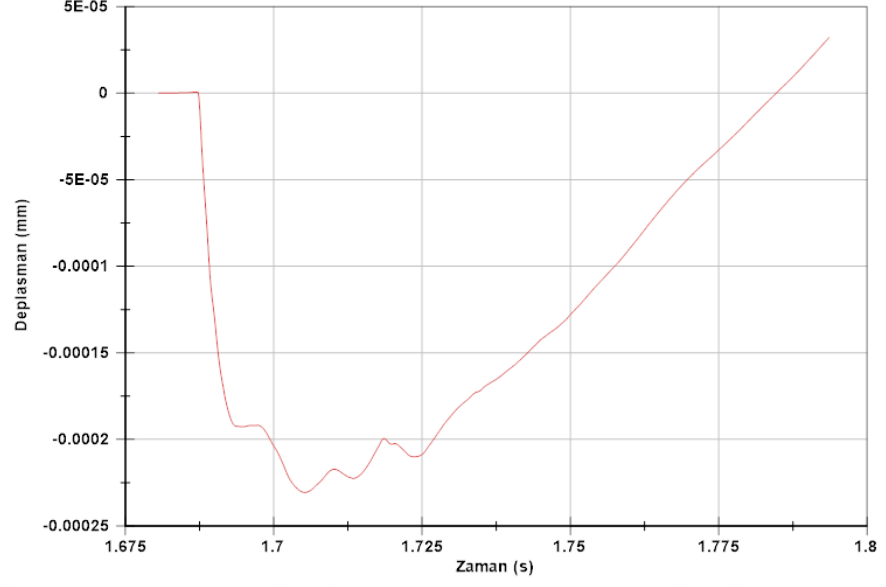
P6-YS3 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.56 – 7.58 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.56. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

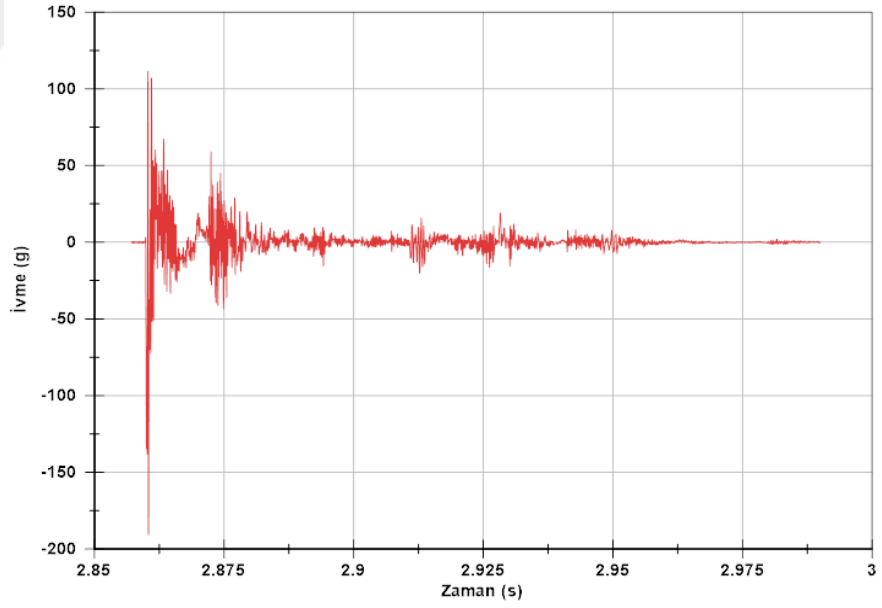


Şekil 7.57. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

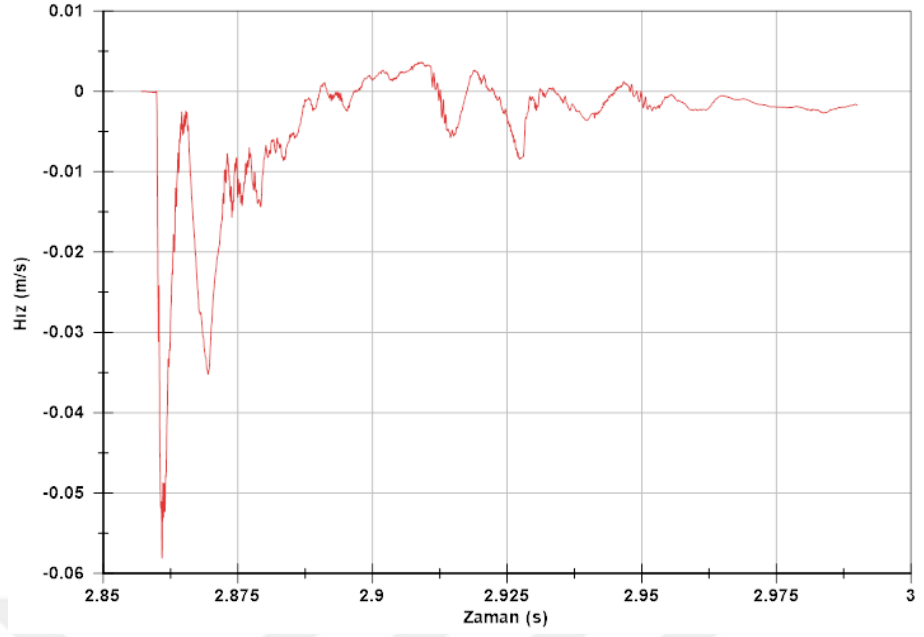


Şekil 7.58. P6-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

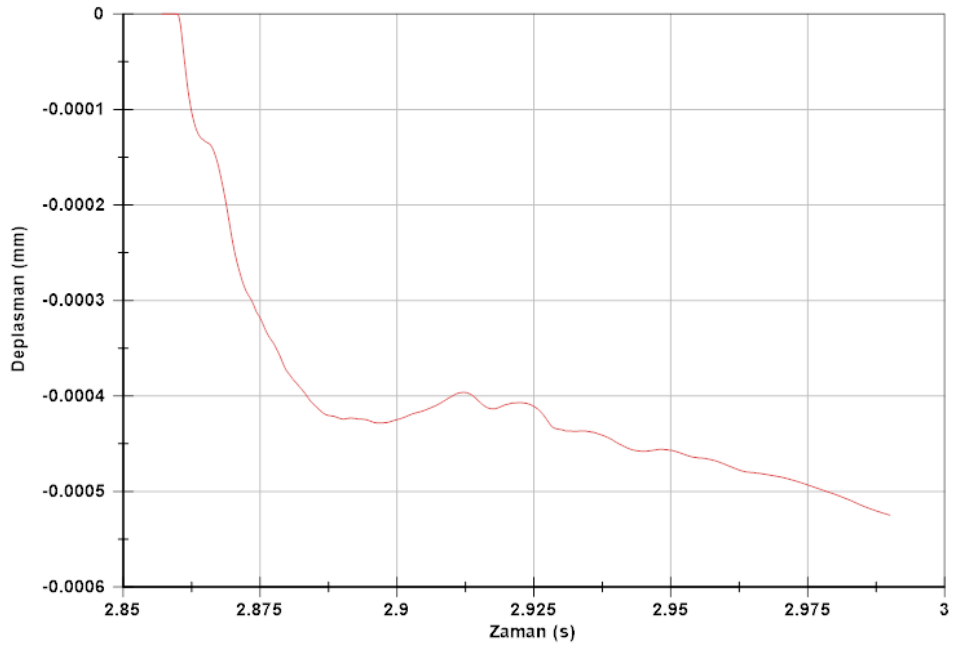
P6-YS3 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.59 – 7.61 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.59. P6-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.60. P6-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.61. P6-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.7. P7-YS1 Deney Elemanı

P7-YS1 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.62).



Şekil 7.62. P7-YS1 deney elemanı

P7-YS1 deney elemanı 300 mm den bırakılan sabit kütleli çekiş ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmesinde deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiş düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvdt ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P7-YS1 deney elemanında 56 adet düşme yapılmıştır. 46. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlenmiştir. 5. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 55. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.63 ve Şekil 7.64'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.65'te gösterilmiştir.



Şekil 7.63. P7-YS1 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.64. P7-YS1 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



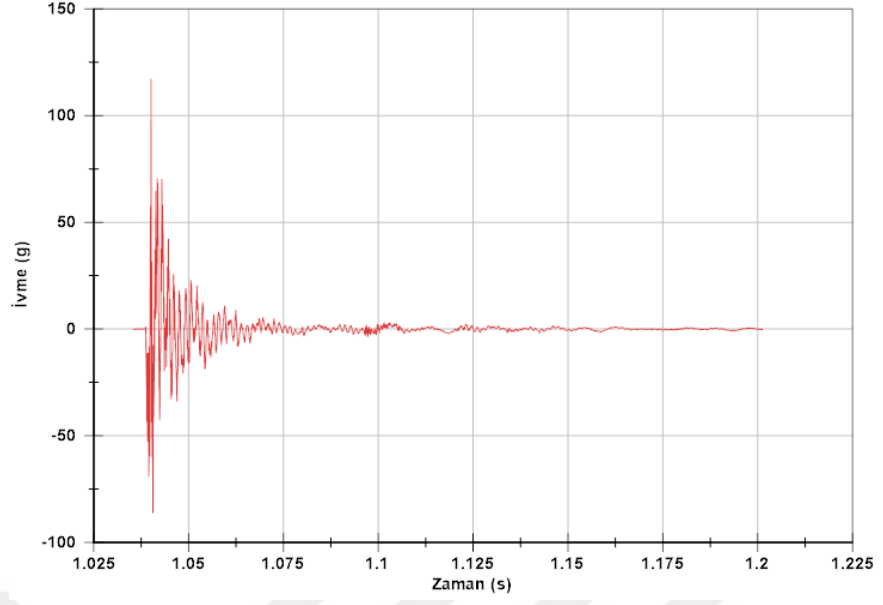
Şekil 7.65. P7-YS1 deney elemanının deney sonrası görünümü

P7-YS1 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.7’de gösterilmiştir.

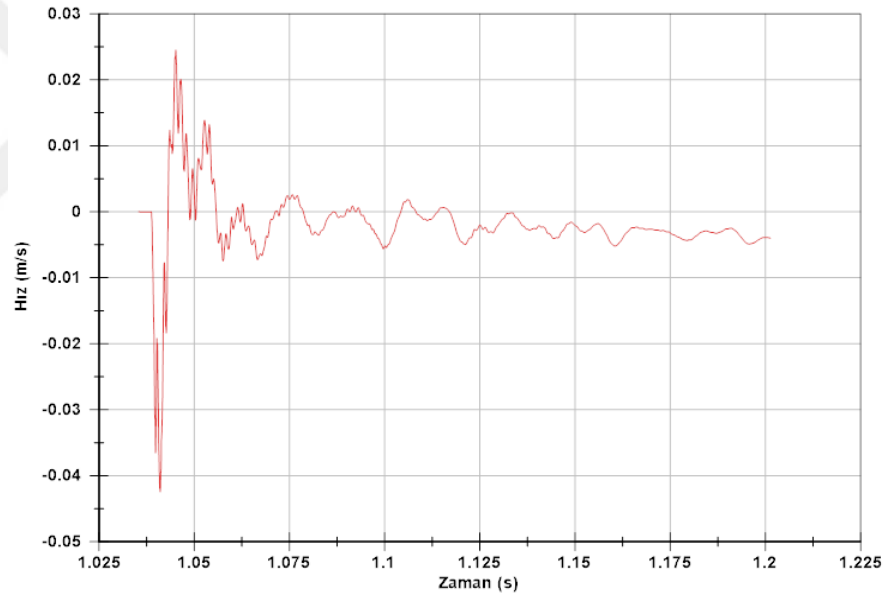
Tablo 7.7. P7-YS1 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	117,17	80,36	33251,10	2,01
	Minimum	86,15	116,51	606,41	0,00032
Göçme	Maksimum	173,44	26,57	164444,55	8,73
	Minimum	181,29	36,15	1075,37	0,00016

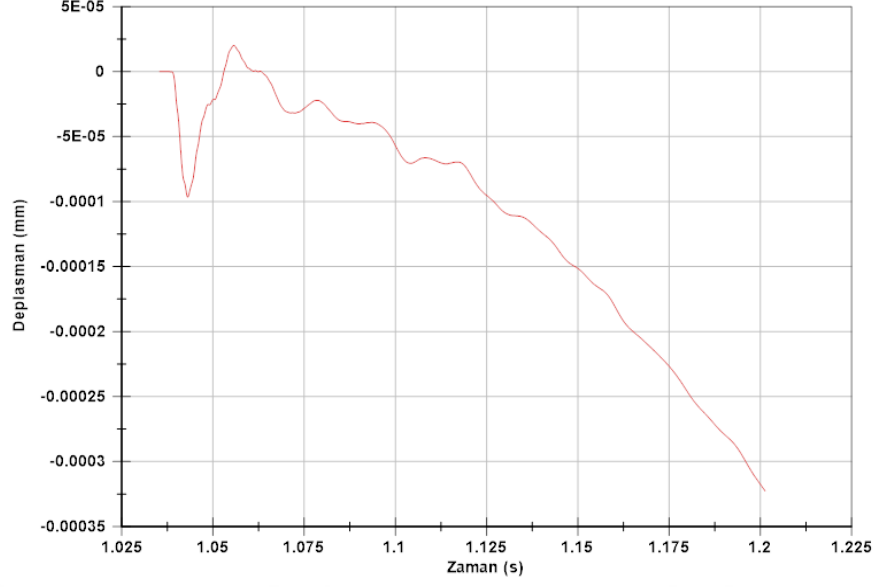
P7-YS1 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.66 – 7.68 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.66. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

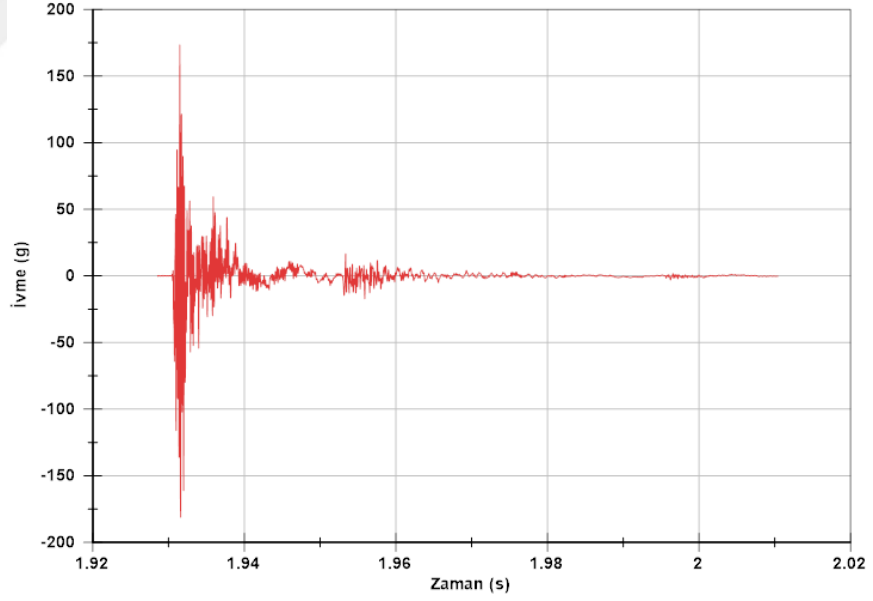


Şekil 7.67. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

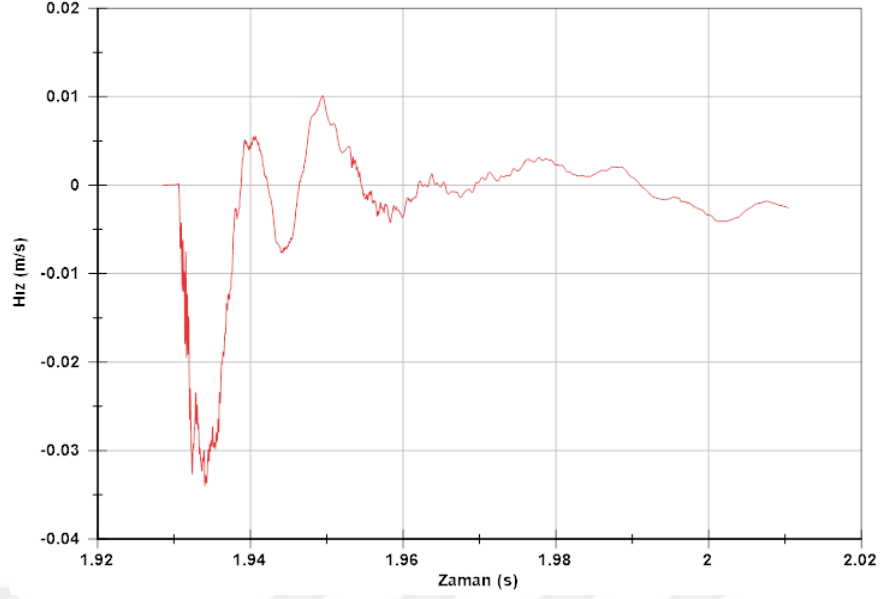


Şekil 7.68. P7-YS1 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

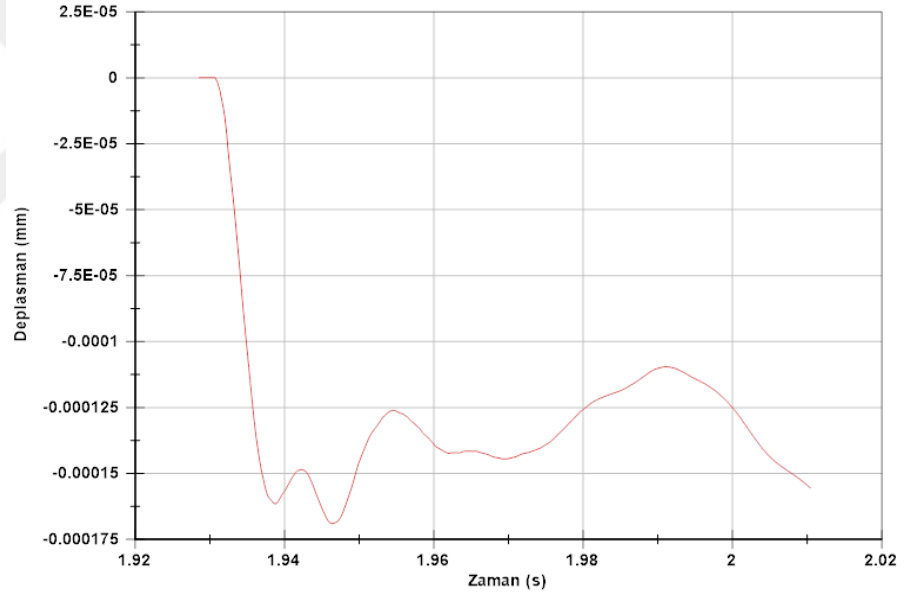
P7-YS1 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.69 - 7.71 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.69. P7-YS1 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.70. P7-YS1 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.71. P7-YS1 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.8. P8-YS2 Deney Elemanı

P8-YS2 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.72).



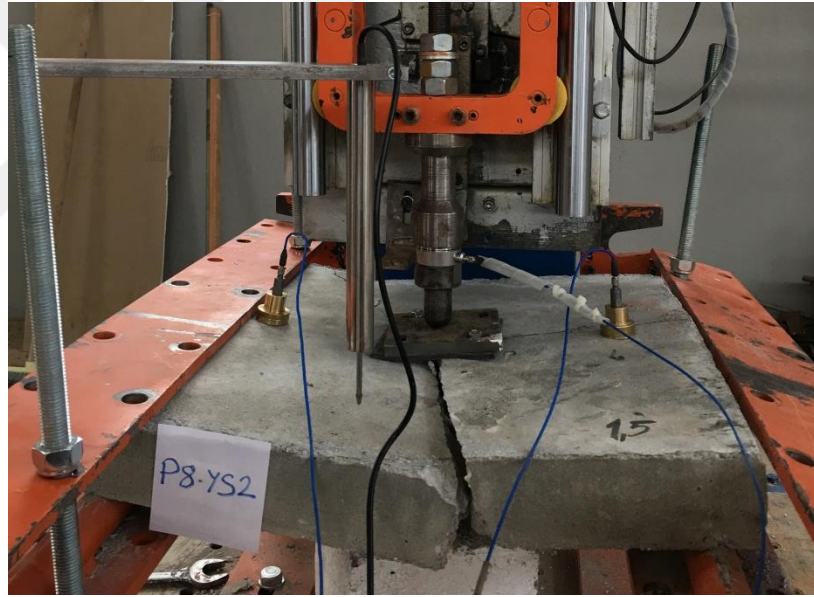
Şekil 7.72. P8-YS2 deney elemanı

P8-YS2 deney elemanı 300 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lvd'te ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

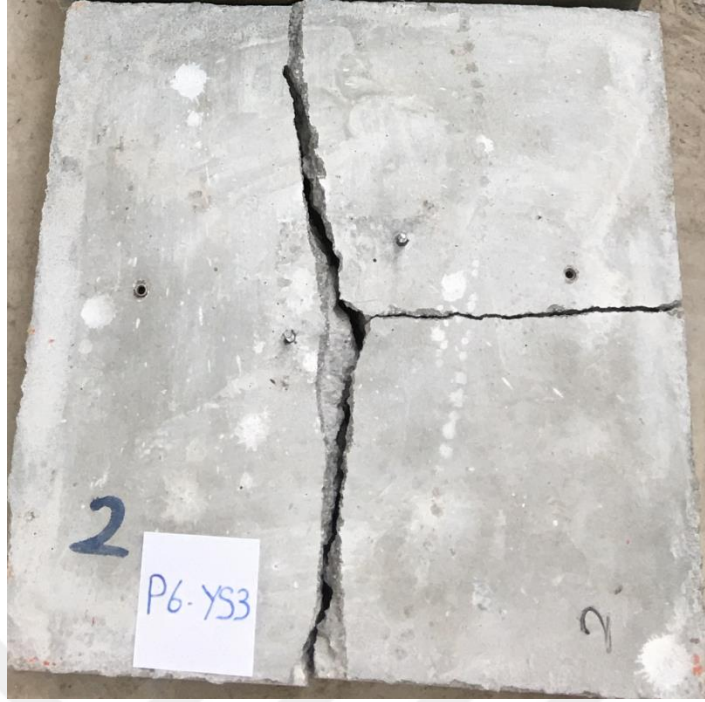
Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P8-YS2 deney elemanında 25 adet düşme yapılmıştır. 20. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 24. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 24. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.73 ve Şekil 7.74'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.75'te gösterilmiştir.



Şekil 7.73. P8-YS2 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.74. P8-YS2 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



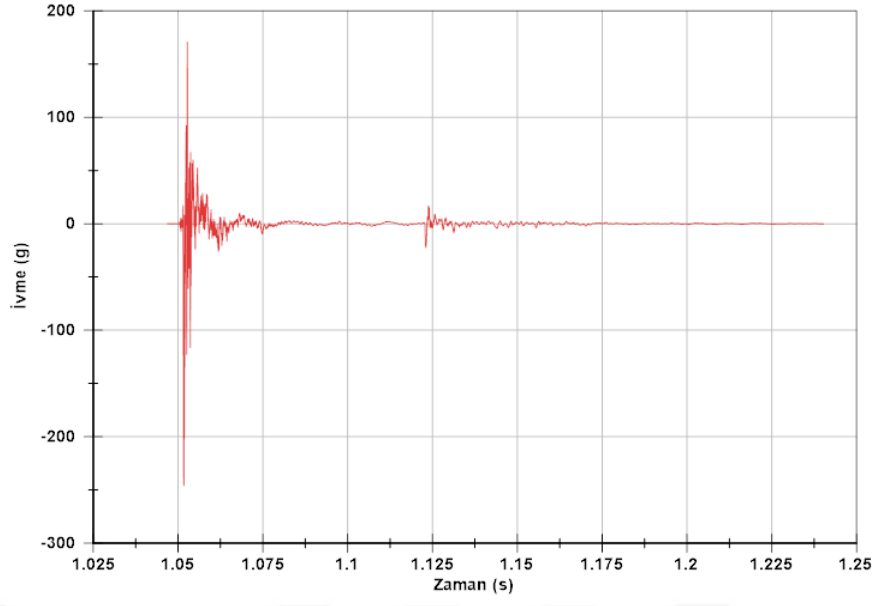
Şekil 7.75. P8-YS2 deney elemanının deney sonrası görünümü

P8-YS2 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.8’de gösterilmiştir.

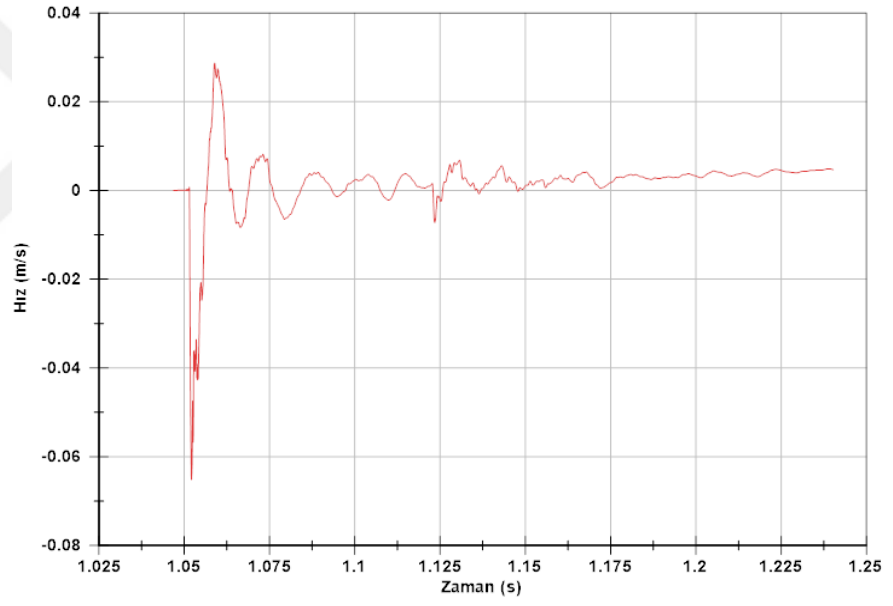
Tablo 7.8. P8-YS2 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	170,76	109,78	40117,42	9,94
	Minimum	245,86	205,28	780,71	0,00015
Göçme	Maksimum	144,53	25,79	22109,48	4,82
	Minimum	143,32	35,26	529,77	0,00016

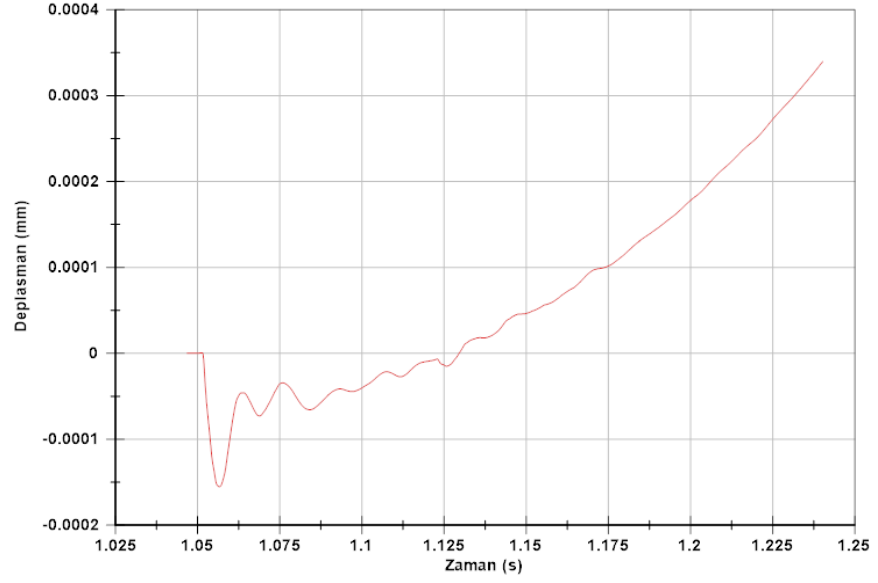
P8-YS2 deney elemanı ilk hasar durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.76 – 7.78 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.76. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

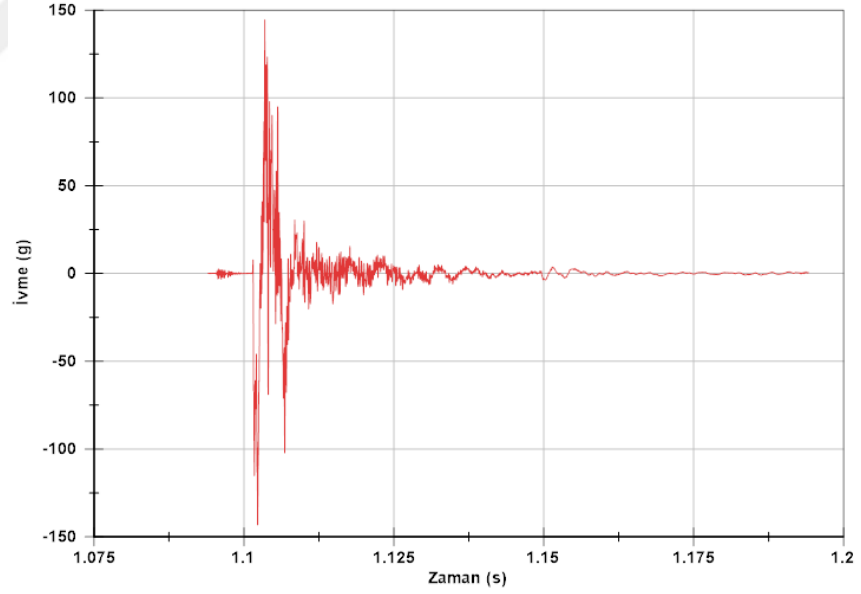


Şekil 7.77. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

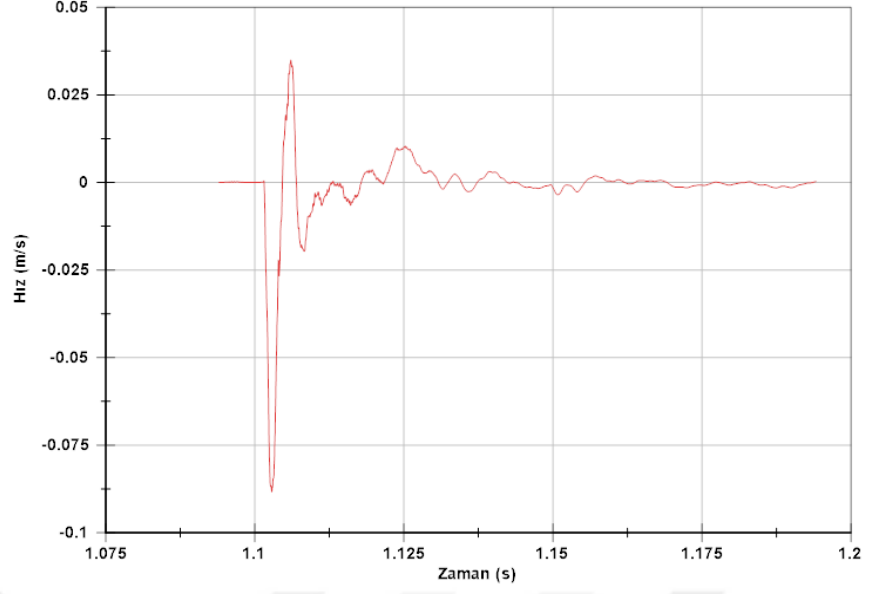


Şekil 7.78. P8-YS2 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

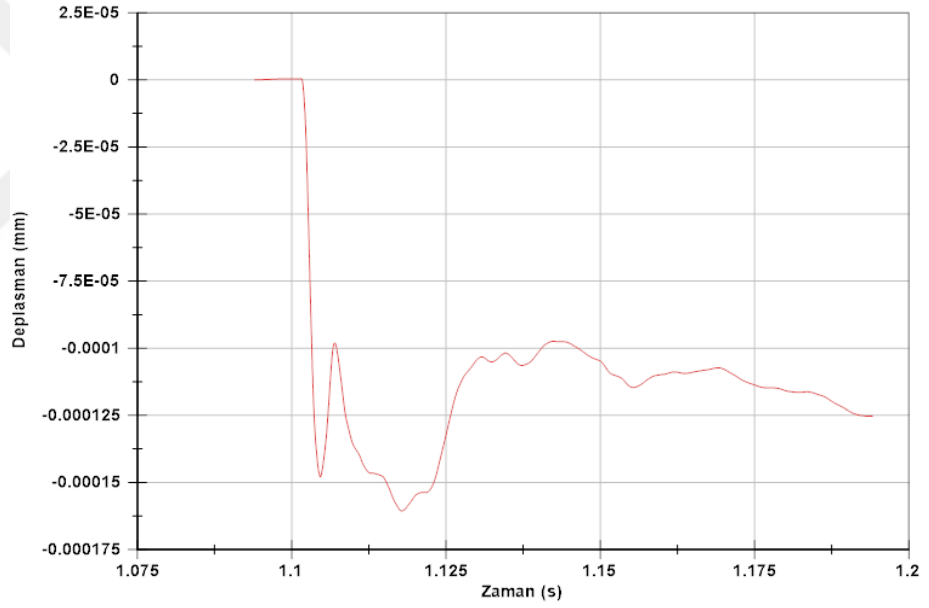
P8-YS2 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.79 – 7.81 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.79. P8-YS2 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.80. P8-YS2 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.81. P8-YS2 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

7.9. P9-YS3 Deney Elemanı

P9-YS3 deney elemanı çarpma testi uygulayacağımız deney düzeneğine mesnetlenerek yerleştirilmiştir. Belirlenen yerlere lvdt, ivmeölçerler, çelik plaka, kauçuk malzeme deney elemanı üzerine yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının konumları kontrol edilip ardından deneye başlanmıştır (Şekil 7.82).



Şekil 7.82. P9-YS3 deney elemanı

P9-YS3 deney elemanı 300 mm den bırakılan sabit kütleli çekiç ile test edilmiştir. Çekicinin her düşmede deney elemanının tam ortasına düşmesi sağlanmış, her çekiç düşmesinden sonra deney elemanı kontrol edilmiştir. Deney elemanında hasar durumu oluştuğundan sonra altına küp eleman konularak ivmeölçerlere, lüvd ve bağlantı kablolarına zarar vermesi önlenmiştir.

Göçme durumu gözlemleninceye kadar çekiş düşmesine devam edilmiştir. P9-YS3 deney elemanında 7 adet düşme yapılmıştır. 4. düşmede ilk hasar gerçekleşmiş çatlak oluşumu gözlenmiştir. 6. düşmeye kadar çatlak oluşumu artmış, 6. düşmede göçme hasar durumu meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk hasar ve göçme hasar durumu Şekil 7.83 ve Şekil 7.84'te, deney sonrası görünümü Şekil 7.85'te gösterilmiştir.



Şekil 7.83. P9-YS3 deney elemanında meydana gelen çatlaklar



Şekil 7.84. P9-YS3 deney elemanında meydana gelen göçme hasar



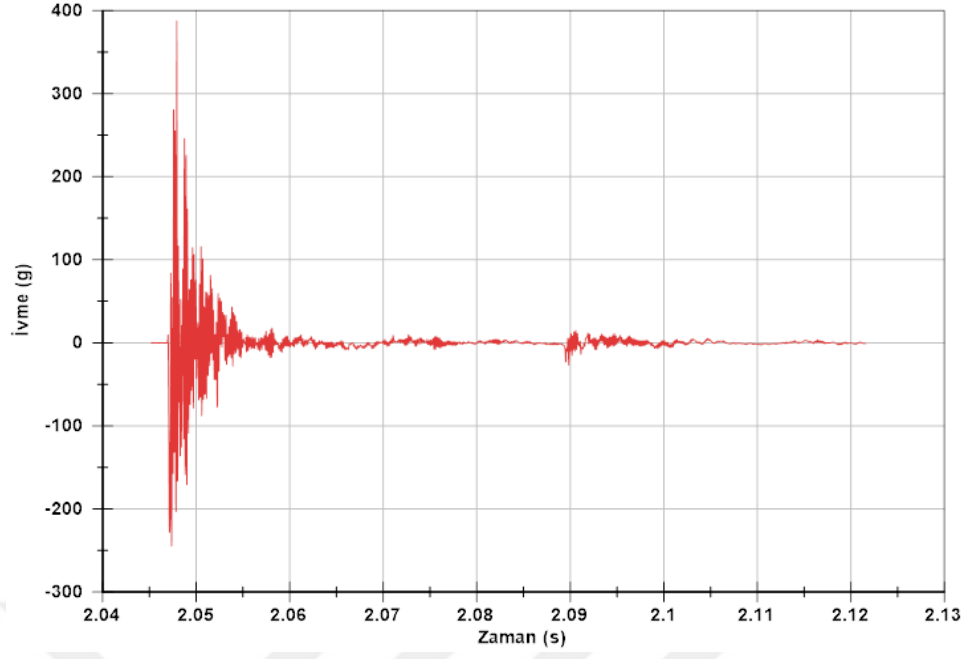
Şekil 7.85. P9-YS3 deney elemanının deney sonrası görünümü

P9-YS3 deney elemanında yapılan düşme sırasında meydana gelen ivme (g), çarpma kuvveti (N), deplasman (mm) değerleri bağlantı kabloları ile ölçüm cihazları tarafından kaydedilmiştir. Deney elemanı üzerinde sağ ve sol taraflarında simetrik olarak bulunan 2 adet ivmeölçerlerden ölçülen ivme değerleri, ilk hasar ve göçme durumunda meydana gelen deplasman ve çarpma kuvveti Tablo 7.9’da gösterilmiştir.

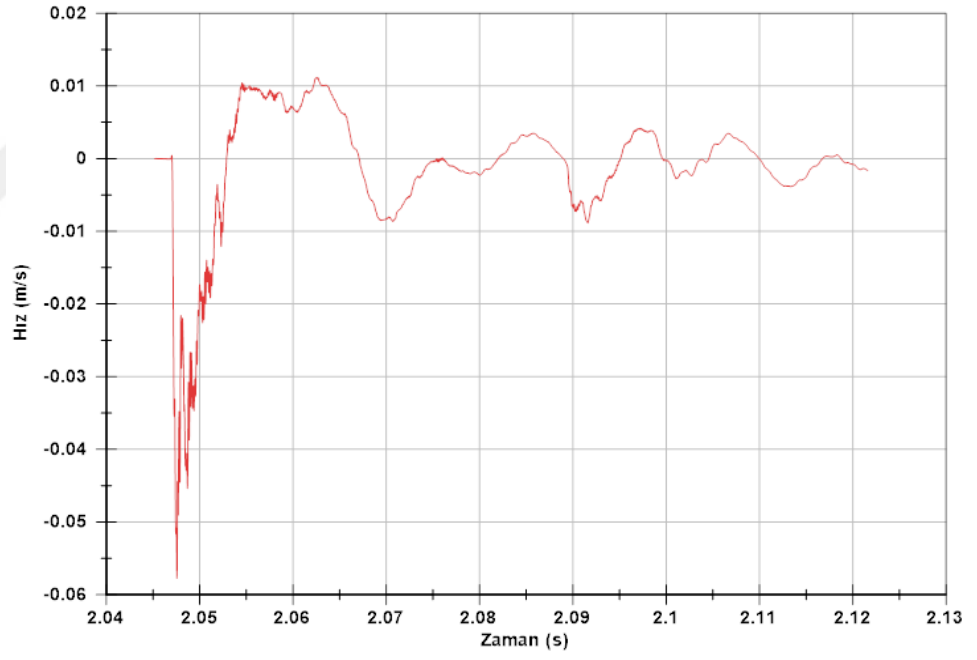
Tablo 7.9. P9-YS3 deney elemanındaki ivme, çarpma kuvveti, deplasman değerleri

		İvme Değeri (g)		Çarpma Kuvveti (N)	Deplasman Değeri (mm)
		Sağ İvme	Sol İvme		
İlk Hasar	Maksimum	387,64	322,76	41627,34	-
	Minimum	244,73	308,92	863,69	0,00013
Göçme	Maksimum	269,90	215,31	31582,17	4,82
	Minimum	336,04	221,88	779,91	0,00016

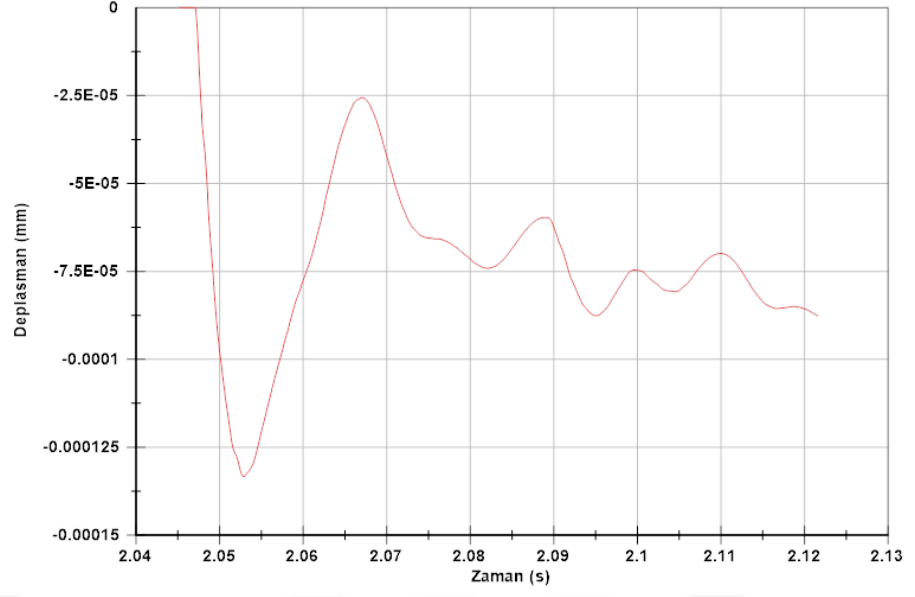
P9-YS3 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.86 – 7.88 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.86. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için ivme zaman grafiği

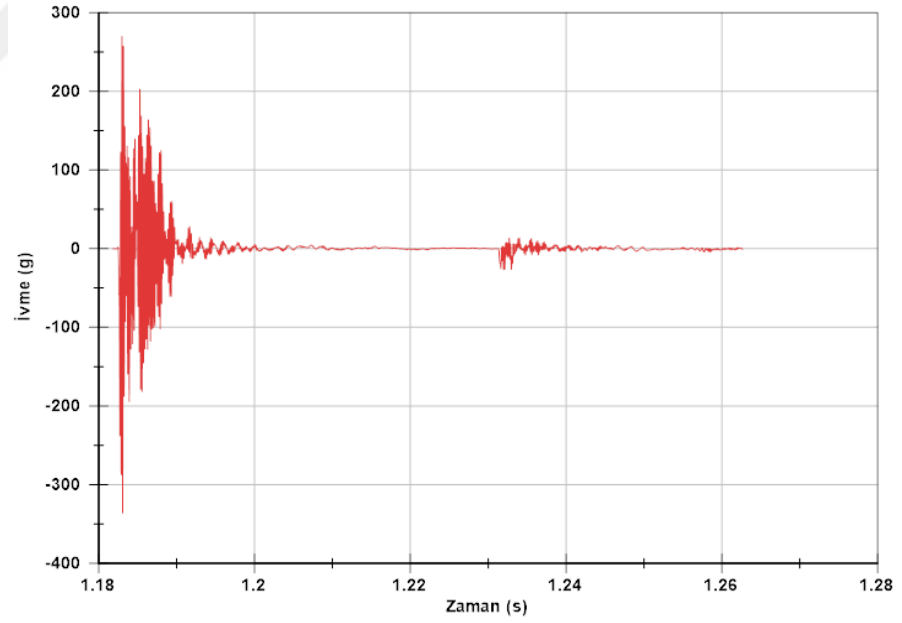


Şekil 7.87. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için hız zaman grafiği

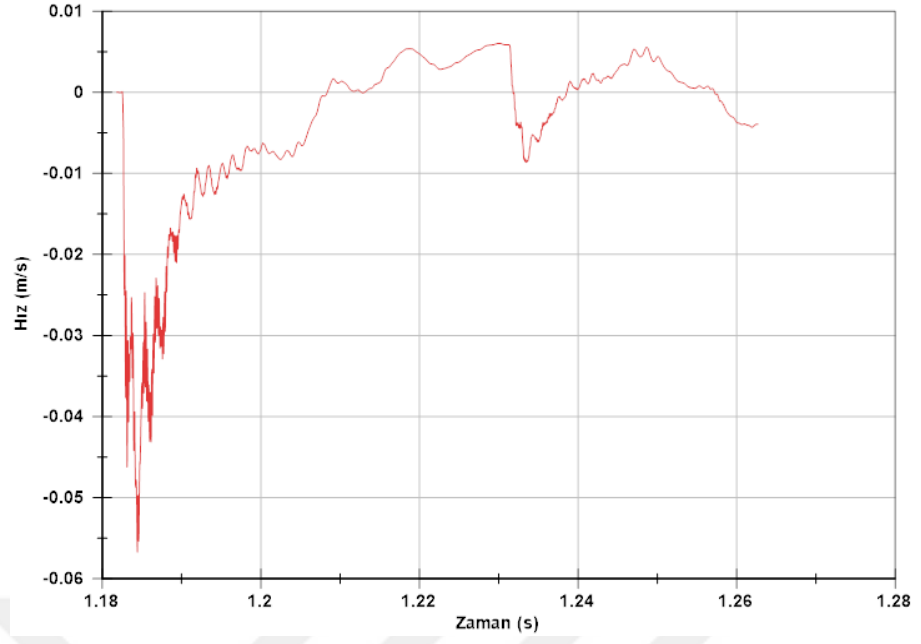


Şekil 7.88. P9-YS3 deney elemanı ilk hasar için deplasman zaman grafiği

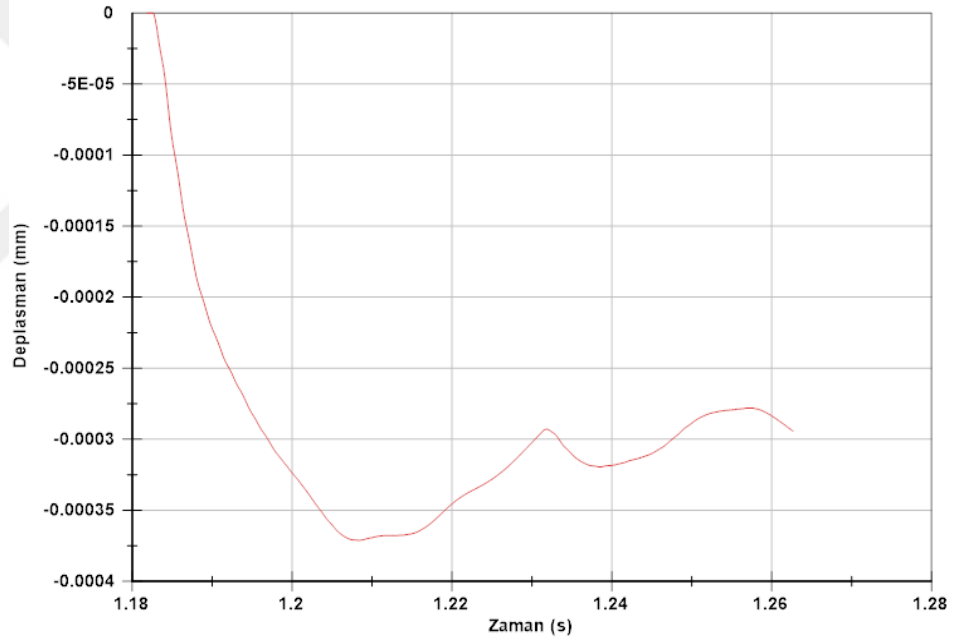
P9-YS3 deney elemanı göçme durumu için oluşturulan ivme zaman, hız zaman ve deplasman zaman grafikleri Şekil 7.89 – 7.91 arasında gösterilmiştir.



Şekil 7.89. P9-YS3 deney elemanı göçme için ivme zaman grafiği



Şekil 7.90. P9-YS3 deney elemanı göçme için hız zaman grafiği



Şekil 7.91. P9-YS3 deney elemanı göçme için deplasman zaman grafiği

8. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ

9 adet deney elemanının çarpma testi düzeneğinde deneylerinin tamamlanması sonrasında ölçüm cihazlarından alınan veriler değerlendirilmeye alınmıştır. Sabit kütleli çekiç, yüksekliği 500 mm, 400 mm, 300 mm olan 3 farklı yükseklikten deney elemanı üzerine serbest bırakılmıştır. Çarpma testi sırasında meydana gelen değerleri belirlemek için ivmeölçer, lvdt, çarpma kuvveti algılayıcısı, veri toplama cihazları kullanılmıştır. Deney elemanı üzerine ayrıca çekiç kütlelerinin çarptığı noktaya kauçuk malzeme ve çelik plaka yerleştirilmiştir.

Çarpma deneyi sırasında oluşan ivme değerleri, numune üzerinde sağ ve sol tarafında eşit aralıkla bulunan 2 adet ivmeölçer yardımıyla ölçülmüştür. İlk hasar ve göçme hasar durumunda ölçülen değerler Tablo 9.1’de gösterilmiştir.

Tablo 8.1. Deney elemanında oluşan ivme değerleri

Deney Elemanı			İvme Değeri (g)	
			Sağ İvme	Sol İvme
P1-YS1	İlk Hasar	Maksimum	172,76	89,41
		Minimum	200,75	207,23
	Göçme	Maksimum	128,32	53,44
		Minimum	166,62	97,42
P2-YS2	İlk Hasar	Maksimum	198,13	154,21
		Minimum	318,12	259,89
	Göçme	Maksimum	140,95	71,00
		Minimum	119,28	51,63
P3-YS3	İlk Hasar	Maksimum	553,64	189,65
		Minimum	415,00	248,51
	Göçme	Maksimum	181,2	303,71
		Minimum	129,04	182,02
P4-YS1	İlk Hasar	Maksimum	275,96	185,41
		Minimum	263,00	269,53
	Göçme	Maksimum	68,53	85,08
		Minimum	92,12	135,02
P5-YS2	İlk Hasar	Maksimum	223,55	246,65
		Minimum	238,54	251,25
	Göçme	Maksimum	215,35	179,11
		Minimum	213,07	228,41
P6-YS3	İlk Hasar	Maksimum	276,63	257,74
		Minimum	207,87	195,49
	Göçme	Maksimum	111,51	94,40
		Minimum	190,79	138,44
P7-YS1	İlk Hasar	Maksimum	117,17	80,36
		Minimum	86,15	116,51
	Göçme	Maksimum	173,44	26,57
		Minimum	181,29	36,15
P8-YS2	İlk Hasar	Maksimum	170,76	109,78
		Minimum	245,86	205,28
	Göçme	Maksimum	144,53	25,79
		Minimum	143,32	35,26
P9-YS3	İlk Hasar	Maksimum	387,64	322,76
		Minimum	244,73	308,92
	Göçme	Maksimum	269,90	215,31
		Minimum	336,04	221,88

Deneyin yapılması sırasında lvd't ölçüm cihazıyla ölçülen deplasman değerleri, ilk hasar ve göçme hasar durumunda ölçülen değerler Tablo 8.2'de gösterilmiştir.

Tablo 8.2. Deney elemanlarında oluşan deplasman değerleri

Deney Elemanı		Deplasman	Değeri (mm)
P1-YS1	İlk Hasar	Maksimum	1,23
		Minimum	0,00041
	Göçme	Maksimum	2,97
		Minimum	0,00025
P2-YS2	İlk Hasar	Maksimum	8,69
		Minimum	9,62
	Göçme	Maksimum	4,65
		Minimum	0,00046
P3-YS3	İlk Hasar	Maksimum	7,84
		Minimum	0,00016
	Göçme	Maksimum	1,36
		Minimum	0,00014
P4-YS1	İlk Hasar	Maksimum	5,39
		Minimum	0,00016
	Göçme	Maksimum	-
		Minimum	0,00016
P5-YS2	İlk Hasar	Maksimum	0,00015
		Minimum	0,00015
	Göçme	Maksimum	4,49
		Minimum	0,00023
P6-YS3	İlk Hasar	Maksimum	3,21
		Minimum	0,00023
	Göçme	Maksimum	6,94
		Minimum	0,00052
P7-YS1	İlk Hasar	Maksimum	2,01
		Minimum	0,00032
	Göçme	Maksimum	8,73
		Minimum	0,00016
P8-YS2	İlk Hasar	Maksimum	9,94
		Minimum	0,00015
	Göçme	Maksimum	4,82
		Minimum	0,00016
P8-YS3	İlk Hasar	Maksimum	-
		Minimum	0,00013
	Göçme	Maksimum	4,82
		Minimum	0,00016

Çekiş ucuna yerleştirilen kuvvet algılayıcısıyla ölçülen çarpma kuvveti değerleri Tablo 8.3'te gösterilmiştir.

Tablo 8.3. Deney elemanlarında oluşan çarpma kuvveti değerleri

Deney Elemanı			Çarpma Kuvveti (N)
P1-YS1	İlk Hasar	Maksimum	29475,33
		Minimum	597,73
	Göçme	Maksimum	24235,31
		Minimum	615,03
P2-YS2	İlk Hasar	Maksimum	444435,42
		Minimum	764,69
	Göçme	Maksimum	20024,87
		Minimum	556,10
P3-YS3	İlk Hasar	Maksimum	4554,00
		Minimum	1099,89
	Göçme	Maksimum	29302,72
		Minimum	879,85
P4-YS1	İlk Hasar	Maksimum	40675,48
		Minimum	998,46
	Göçme	Maksimum	24049,29
		Minimum	1205,36
P5-YS2	İlk Hasar	Maksimum	27970,47
		Minimum	604,93
	Göçme	Maksimum	26892,67
		Minimum	635,64
P6-YS3	İlk Hasar	Maksimum	36681,10
		Minimum	692,35
	Göçme	Maksimum	20914,96
		Minimum	583,78
P7-YS1	İlk Hasar	Maksimum	33251,10
		Minimum	606,41
	Göçme	Maksimum	164444,55
		Minimum	1075,37
P8-YS2	İlk Hasar	Maksimum	40117,42
		Minimum	780,71
	Göçme	Maksimum	22109,48
		Minimum	529,77
P9-YS3	İlk Hasar	Maksimum	41627,34
		Minimum	863,69
	Göçme	Maksimum	31582,17
		Minimum	779,91

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında, toplam 9 adet deney elemanı belirli miktarda yüzey sertleştirici kullanılarak üretilmiştir. Bu deney elemanlarının boyutu 450×450×60 mm boyutlarında olup 9 adedi de çarpma testi altında değerlendirilmiştir.

Çarpma testinde, serbest ağırlık düşürücü deney aleti kullanılmıştır. Değişken yüksekliklerden; 500 mm, 400 mm, 300 mm'den deney elemanı sabit çekiç kütlelerinde çarpma etkisine maruz bırakılmıştır. Deney aleti üzerinde bulunan ivme ölçer, kuvvet algılayıcı, lvdt, veri toplayıcısı gibi ölçüm ekipmanlarıyla deney anında oluşan değerler kaydedilmiştir. Bu değerler kullanılarak deney elemanının ilk hasar ve göçme durumu için ivme zaman, hız zaman, deplasman zaman grafikleri oluşturulmuştur.

Deney elemanı üzerinde simetrik olarak bulunan iki adet ivme ölçer bulunmaktadır. Çarpma testinde her bir düşme anında deney elemanında oluşan ivme değerleri ölçülüp ilk hasar ve göçme durumu için ivme zaman grafikleri tüm elemanlar için oluşturulmuştur. Verileri incelediğimizde deney elemanlarında yüzey sertleştirici miktarı arttıkça ivme değerlerinin arttığı, ilk düşme anından göçme durumuna ise ivme değerinin azaldığı görülmüştür.

Deney elemanlarının deplasman değerlerini belirlemek için lvdt ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deplasman değerleri incelendiğinde ilk hasar ve göçme durumundaki değerler karşılaştırıldığında deplasman değerinin göçme hasar durumunda olduğu belirlenmiştir. Yüzey sertleştirici miktarındaki artış deplasman değerinin daha küçük oluşmasına neden olmuştur.

Çarpma kuvveti değerlerini ise çekiç ucunda bulunan kuvvet algılayıcısıyla belirlenmiştir. İlk hasar ve göçme durumundaki değerler incelendiğinde çarpma kuvveti değerinin ilk hasardan göçme hasar durumuna doğru azaldığı görülmüştür. Ayrıca yüzey sertleştirici miktarındaki artış çarpma kuvveti değerini de arttırmıştır.

Deney elemanlarında ilk hasar durumlarında çatlak oluşumu kendini daha geç belli etmiştir. Yüzey sertleştirici olmayan yüzeylerde çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Göçme hasar durumunda çatlak gelişimi tamamen olduğu, yüzeydeki yüzey sertleştiricinin çatlak sayı ve genişliğini önlediği görülmüştür.

Yapılan bu tez çalışmasıyla deney elemanları farklı miktarda yüzey sertleştirici kullanılarak dinamik yükler altında test edilmiştir. Çarpma testi düzeneğinde çekiç düşme yüksekliği ve çekiç kütlesi değiştirilerek deney elemanları üzerinde çarpma testi yapılabilir. Buradan alınacak değerler bilgisayar ortamında sonlu analiz programında elde edilecek veriler ile karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Edgington, J., Hannant, D. J. and Williams, G. I. T., "Steel fibre reinforced concrete", Building Research Establishment Current Paper, CP 69/74, 1974.
- [2] Johnston, C. D., "Steel fiber reinforced mortar and concrete: a review of mechanical properties", Fiber Reinforced Concrete, Publication SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, 127-142.
- [3] Verhagen, A. H., "Impact testing of fibre reinforced concrete: reflection on possible test methods", Testing and Test Methods of Fibre Cement Composites, RILEM Symposium Edited by R. N. Swamy, The Construction Press Ltd., Hornby, 1978, 99-105.
- [4] Jamrozy, Z. and Swamy, R.N., "Use of steel fibre reinforcement for impact resistance and machinery foundations", International Journal of Cement Composites, Vol.1, No.2, 1979, 65- 75.
- [5] Barb, S. and Hanson, D., "Investigation of fiber reinforced breakwater armour units", Fiber Reinforced Concrete Publication SP-44, American Concrete Institute, Detroit, 1974, 415- 434.
- [6] U.S. Army Engineering Division, "Fibrous reinforcements for Portland cement concrete", Technical Report No. 2-40, Ohio River, Corps of Engineers, Ohio River Division Laboratories, Cincinnati, Ohio, 1965.
- [7]. 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.
- [8]. Barr, B., Baghli, A. A repeated drop-weight impact testing apparatus for concrete, Magazine of Concrete Research, 1988, 40(144), 167-176.
- [9]. Barr, B., Bouamrata, A. Development of a repeated drop-weight impact testing apparatus for studying fibre reinforced concrete materials, Composites, 1988, 19, 453-466.
- [10]. 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.
- [11]. Zineddin, M., Krauthammer, T. Dynamic response and behavior of reinforced concrete slabs under impact loading, International Journal of Impact Engineering, 2007, 34, 1517- 1534.
- [12]. 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.
- [13]. 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.
- [14]. Arslan, A. Mixed-Mode fracture performance of fibre reinforced concrete under impact loading, Materials and Structures, 1995, 28, 473-478.
- [15]. Breen, C., Guild, F., Pavier, M. Impact of thick CRFP laminates: the effect of impact velocity, Composites: Part A, 2005, 36, 205-211.
- [16]. 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.

- [17]. 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).
- [18]. 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.
- [19]. 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).
- [20]. 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.
- [21]. Soroushian, P., Elzafraney, M. Damage effects on concrete performance and Microstructure, *Cement and Concrete Composites*, 2004, 26, 853-859.
- [22]. 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.
- [23]. Go'mez-del Rı'ó, 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.
- [24]. 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.
- [25]. 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.
- [26]. Delhomme, F., Mommessin, M., Mougín, 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.
- [27]. 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.
- [28]. Kantar, E., Arslan, A., Anıl, Ö. Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına etkisi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 2011, 26(1), 115-126.
- [29]. Suaris, W., Shah, S. P. Properties of concrete subjected to impact, *Journal of Structural Engineering*, 1983, 109, 1727-1741.
- [30]. Yankelevsky, D. Z. Local response of concrete slabs to low velocity missile impact, *International Journal of Impact Engineering*, 1997, 19(4), 331-343.
- [31]. Kaçaran, G. Betonarme Döşemelerin Çarpışma Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2018, (Yüksek Lisans Tezi).
- [32]. Murtiadi, S. Behavior of high-strength concrete plates under impact loading, *Master Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland*, 1999.
- [33]. 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.
- [34]. Arros, J., Doumbalski, N. Analysis of aircraft impact to concrete structures, *Nuclear Engineering and Design*, 2007, 237, 1241-1249.

- [35]. Berberoğlu, M. imento Esaslı Döküm Harçları ile Üretilen Beton Plakların Dinamik Yükler Altında Deneysel Olarak İncelenmesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2019, (Yüksek Lisans Tezi)
- [36]. Çevik, R. Pozisyon Sensörleri, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/pozisyon-sensorleri-2-bolum/21990#ad-image-0>, E.T.: 01.10.2020
- [37]. Engin, Y. Beton Gevrek Bir Malzeme Midir? <https://www.betonvecimento.com/beton-2/beton-gevrek-malzeme>, E.T.: 01.10.2020.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur BAŞBÜYÜK

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta

Eğitim Durumu

Lise : Emlakbank Süleyman Demirel Anadolu Lisesi, 2011

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2017

Mesleki Deneyim

Restore Mimarlık Mühendislik İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. 2017-2017

Barankaya İnşaat Harf. Taah. Akary. Maden Gıda San. Tic. A.Ş. 2017-2018

Çınar Grup Metal ve Yapı Elemanları İnşaat Harf. Tic. Ltd Şti. 2021-.....(halen)